

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences De l'ingénierat
Département : Génie mécanique
Domaine : Science et technique
Filière : Génie mécanique
Spécialité : fabrication mécanique et productique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master
Thème:

Etude des forets hélicoïdaux et de l'usure de la partie active

Présenté par : Kermiche amel

Jury de soutenance :

| | | | |
|------------------|------------|------------|-----------|
| Lagred Ahmed | Professeur | UBM Annaba | Président |
| Ben Chiheb Salim | MCB | UBM Annaba | Encadrant |
| Mokas Nacer | MCA | UBM Annaba | Encadrant |

Année universitaire : 2020/2021

Dédicace

Je dédie ce travail:

À ma chère Mère et à mes chers frères

A tous qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail Et sur tout mon encadreur Dr. Mokas nacer

Remerciement

Au nom de Dieu et après grand merci à notre dieu, qui m'a donné la force pour réaliser ce modeste travail.

Je voudrais d'abord remercier tous mes enseignants du département de mécanique pour nous avoir donné le savoir nécessaire au cours des dernières années. Je tiens à remercier vivement mon encadreur

Dr Mokas Nacer pour m'avoir encadré.

Je tiens aussi à remercier tous mes amis sans exception, ainsi que

Tous les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Liste des figures

Chapitre I

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Exemples de trous réalisés dans des pièces issues de plusieurs secteurs de l'industrie mécanique: (a) bloc moteur et culasse (secteur automobile), (b) moteur d'avion (secteur aéronautique) et (c) plaque d'un échangeur | 8 |
| Figure 2 : Perceuse radiale | 10 |
| Figure 3 : Perceuses à colonne | 10 |
| Figure 4 : Perceuse sensitive | 10 |
| Figure 5 : Différents type de trou de perçage | 11 |

Chapitre II

| | |
|--|----|
| Figure 6 : Forets hélicoïdaux | 13 |
| Figure 7 : Géométrie des forets hélicoïdaux | 14 |
| Figure 8 : Décomposition hiérarchique d'un foret | 15 |
| Figure 9 : Mise en situation de l'outil foret dans une machine-outil | 15 |
| Figure 10 : Mise en situation des éléments du corps d'un foret hélicoïdal | 17 |
| Figure 11 : Mise en situation des éléments de la pointe d'un foret hélicoïdal | 17 |
| Figure 12 : Caractéristiques géométriques d'un foret hélicoïdal | 18 |
| Figure 13 : Différents types de goujures | 20 |
| Figure 14 : Les forets hélicoïdaux queue cylindrique et conique | 21 |
| Figure 15 : Différents types de forets à plaquettes | 22 |
| Figure 16 : Méthode de fraisage | 23 |
| Figure 17 : Méthode de roulant | 23 |
| Figure 18 : Méthode de ponçage | 24 |

Chapitre III

| | |
|--|----|
| Figure 19 : Différents mouvements de coupe | 28 |
| Figure 20 : Contrôler le diamètre du foret avec | 29 |
| Figure 21 : Montage des forets | 30 |
| Figure 22 : Vitesse de rotation et vitesse d'avance | 31 |
| Figure 23 : Sélecteur des nombres de tours et des avances | 32 |
| Figure 24 : Efforts de coupe | 34 |

| | |
|---|----|
| Figure 25 : Mécanisme d'enlèvement de la matière pendant le perçage avec un foret hélicoïdal conventionnel (a) et un foret de géométrie moderne (b)..... | 36 |
| Figure 26 : Deux copeaux de forme identique | 37 |
| Figure 27 : Trois catégories de copeaux (a) (b) (c) | 37 |
| Figure 28 : Relation entre la pression et le diamètre de l'adduction de liquide de coupe | 38 |
| Figure 29 : Vérifier le débit à la sortie du foret | 39 |
| Figure 30 : Arrosage par l'intérieur | 40 |
| Figure 31 : Arrosage par l'extérieur | 40 |
| Figure 32 : Perçage à sec | 41 |

Chapitre IV

| | |
|--|----|
| Figure 33 : Déformation plastique en bout d'outil | 44 |
| Figure 34 : Adhésion de titane | 45 |
| Figure 35 : Mécanisme d'usure par diffusion | 46 |
| Figure 36 : Mécanisme d'usure par abrasion | 46 |
| Figure 37 : Mécanisme d'usure par oxydation | 47 |
| Figure 38 : Arête rapporte sur la surface en dépouille | 49 |
| Figure 39 : Trois types de bavure de L' AISI 4118, de gauche à droite | 50 |
| Figure 40 : Affûteuse | 51 |
| Figure 41 : Supporte d affutage de foret | 54 |
| Figure 42 : Dégagement du foret | 55 |
| Figure 43 : Machine à affûter les forets hélicoïdaux OTMT DRILL GRINDER | 56 |

Liste des tableaux

Chapitre II

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Caractéristiques géométriques d'un foret hélicoïdal | 19 |
| Tableau 2 : Avantages et inconvénients du différent profil de goujures | 20 |
| Tableau 3 : Familles des matériaux des forets | 25 |

Chapitre III

| | |
|---|----|
| Tableau 4 : Zone d'usure sur la partie active de foret | 47 |
|---|----|

Sommaire :

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Général

Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

| | |
|--|----|
| I.1 - Introduction | 08 |
| I.2 - Définition de perçage | 08 |
| I.3 - les machines-outils (perceuse) | 09 |
| I.3.1 - Différents types des perceuses | 09 |
| I.3.1.3 - Les Perceuses Radiales | 09 |
| I.31.2- Les Perceuses à Colonne | 10 |
| I.3.1.1 - Les Perceuses Sensitives | 10 |
| I.4- Typologie des trous cylindriques | 11 |

Chapitre II : Les outils de perçage (foret)

| | |
|--|----|
| II.1 - Introduction | 13 |
| II.2 - Définition | 13 |
| II.3 - Géométrie des forets hélicoïdaux | 13 |
| II.4 - Décomposition hiérarchique | 14 |
| II.5 - Paramètres géométriques | 18 |
| II.6 - Déférents forme de la goujure | 19 |
| II .7 - Principaux modèles des forets hélicoïdaux | 21 |
| II.7.1 - Forets monoblocs..... | 21 |
| II.7.2 - Forets à plaquettes | 22 |
| II.8 - Méthodes de fabrication des forets de perçage | 22 |
| II.8.1 - Méthode de fraisage | 22 |
| II.8.2 - Méthode de roulant | 23 |
| II.8.3 - Méthode de ponçage | 24 |
| II.9 - Quelques matériaux utilisés pour la fabrication de forets | 24 |

Chapitre III : Techniques de réalisation des trous de perçage

| | |
|--|----|
| III .1- Déférents mouvements assurant de perçage | 28 |
| III.2 - Mise on point et réglage du système MODOP pour perce | 28 |

| | |
|---|----|
| III.2.1 - La préparation de la pièce consiste | 28 |
| III.2.2 - Le montage de la pièce | 29 |
| III.2.3 - Montage des forets | 29 |
| III.2.4 - Réglage de la machine | 31 |
| III.2.4.1- La vitesse de coupe | 31 |
| III.2.4.2 - La fréquence de rotation (N) | 31 |
| III.2.4.3 - La vitesse d'avance (Vf) | 32 |
| III.2.5 - Efforts de coupe lors des opérations de perçage | 33 |
| III.2.6 - Le perçage de l'avant-trou | 34 |
| III.2.7 - Le perçage définitif | 35 |
| III.3 -Mécanismes d'enlèvement de la matière pendant le perçage | 35 |
| III.4 - Formation du copeau | 36 |
| III.5 - La lubrification | 38 |
| III.6 - Risques d'accidents | 41 |

Chapitre IV : L'usure et rupture des forets hélicoïdaux

| | |
|---|----|
| IV.1 - Phénomène de l'usure | 44 |
| IV.1.1 - Introduction | 44 |
| IV.1.2 - Définition de l'usure | 44 |
| IV.1.3- Types d'usure | 44 |
| IV.1.3.1- Usure par déformation plastique | 44 |
| IV.1.3.2- Usure par adhésion | 45 |
| IV.1.3.3- Usure par diffusion | 45 |
| IV.1.3.4- Usure par abrasion | 46 |
| IV.1.3.5- Usure par oxydation | 46 |
| IV.1.4 - Zone d'usure sur la partie active de foret | 47 |
| IV.2 - Phénomène de l'arrête rapporte | 49 |
| IV.3- Bavure | 50 |
| IV.4 Récupération des forets usés | 50 |
| IV.4.1 - Affutage | 51 |
| IV.4.2 - Comment affûter des forets hélicoïdaux ? | 51 |
| IV.5 - Conclusion | 59 |

Introduction général

Le procédé de perçage est largement utilisé dans la productique mécanique. En effet, dans la mécanique générale environ 25 % des usinages sont des opérations de perçage. Le progrès de l'industrie mécanique connaît une grande concurrence entre les producteurs dans ce domaine, car la valeur d'une pièce produite en mécanique est définie par la quantité et la qualité du produit durant un temps bien précis. Ces facteurs ne se maîtrisent que par l'application d'une méthodologie adéquate permettant d'optimiser les conditions de travail. L'usinage par enlèvement de matière se classe parmi les procédés les plus utilisés comparativement à ceux par déformations ou autres. L'étude et l'analyse des phénomènes qui accompagnent l'usinage demeurent un domaine inévitable pour comprendre et expliquer les mécanismes physiques de la coupe. En dévoilant les secrets de ces mécanismes on pourra exploiter de façon rationnelle le système d'usinage, en adoptant les conditions les plus adéquates. Ces conditions sont en relation directe avec les paramètres technico-économiques tels que la précision macro et micro- géométrique, le coût de fabrication et la productivité du travail. Toutes ces notions s'englobent sous la notion de l'usinabilité des aciers. Cette dernière est une propriété complexe qui caractérise l'aptitude à la mise en forme par enlèvement de matière d'un matériau. La coupe est un processus thermomécanique où les déformations plastiques, la chaleur et les phénomènes de frottement jouent un rôle déterminant sur l'usure des outils. Les critères d'évaluation de l'usinabilité sont la vitesse de coupe, les efforts de coupe, la rugosité de la surface usinée et la température de coupe. Il est à noter que la vitesse de coupe est considérée comme le principal critère, alors que les autres jouent un rôle complémentaire. Étant donné, le caractère complexe du procédé de perçage, très peu de travaux ont été publiés dans ce domaine. Dans ce cas, l'outil à double tranchant (foret) travaille dans des conditions relativement plus sévères et notamment lors du perçage des trous profonds. En effet, on assiste à un dégagement de chaleur très intense au niveau de la partie active, suite à la mauvaise évacuation des copeaux et la difficulté de faire parvenir le liquide de lubrification à la zone de coupe. Ceci affecte la dureté du foret et par conséquent son usure s'intensifie et peut aller jusqu'à l'effondrement. C'est dans ce contexte que nous voulons exposer dans cet article les résultats d'une étude expérimentale pour la détermination de l'usinabilité de l'acier C18 lors des opérations de perçage. Comme paramètre d'étude nous avons opté pour l'investigation de l'usure en fonction du temps pour les différentes combinaisons du plan d'expériences.

Chapitre I
Etude et analyse
bibliographique

I.1. Introduction

L'usinage est le cœur de l'industrie, réalisés avec des opérations d'enlèvements importants de taux matière parmi les quelle on trouve le perçage. Nous présentons ci-après quelques rappels et définitions essentiels à la compréhension de l'opération du perçage et différentes géométries du foret.

I.2 – Définition de perçage

Le perçage est une opération d'usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part, on l'appelle trou débouchant ou bien ne pas la traverser, c'est alors un trou borgne. Ce trou peut être effectué par un foret, par découpe à l'aide d'un poinçon (trous débouchant), par électroérosion, par laser, par brochage, etc. Ce trou peut servir à faire passer une pièce ou un fluide, il peut être lisse ou taraudé pour recevoir un rivet ou une vis d'assemblage. L'étude est limitée au perçage de trous cylindriques lisses réalisés à l'aide d'un outil rotatif coupant appelé foret. Le perçage est l'opération d'usinage la plus courante dans l'industrie mécanique, la Figure 1 donne quelques exemples de pièces de l'industrie automobile et de l'industrie aéronautique.

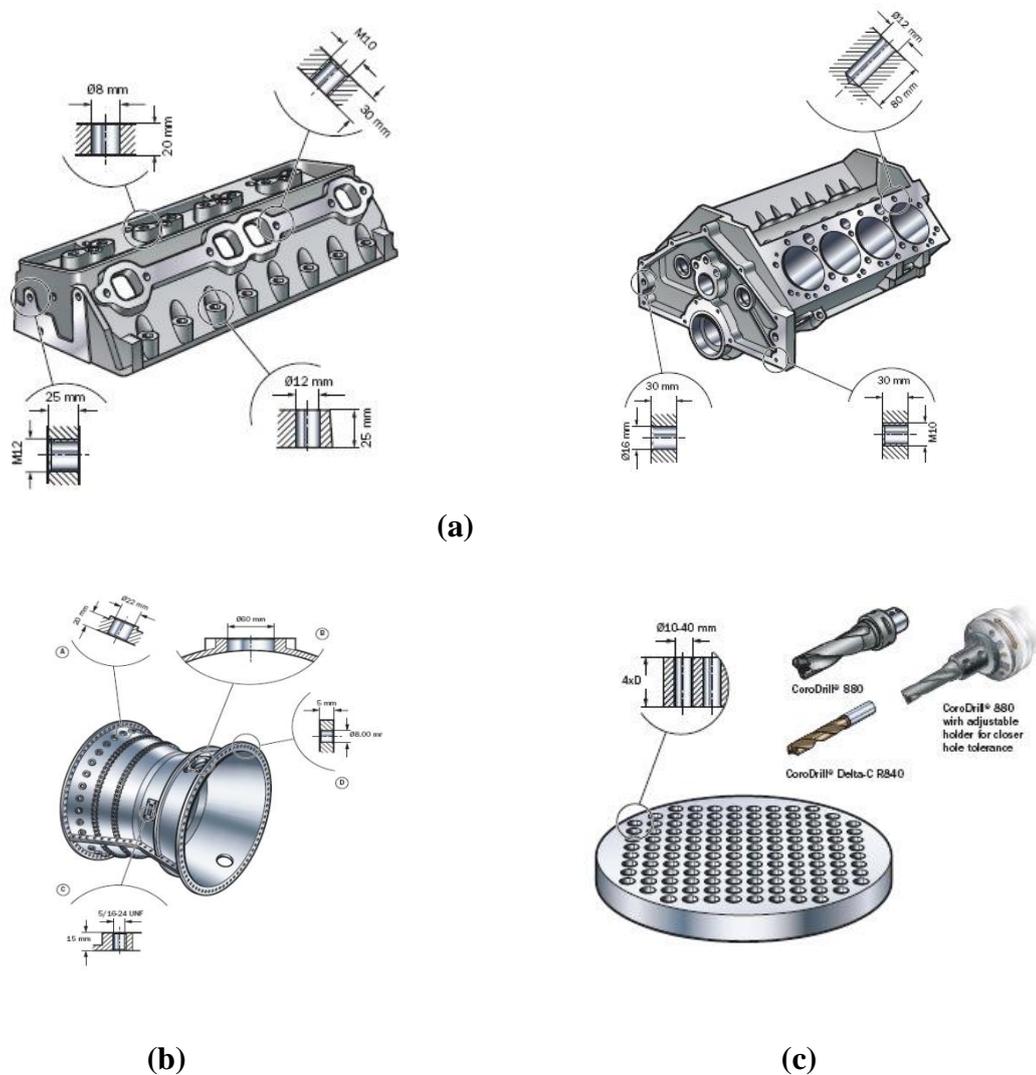


Figure 1 : Exemples de trous réalisés dans des pièces issues de plusieurs secteurs de l'industrie mécanique : (a) bloc moteur et culasse (secteur automobile), (b) moteur d'avion (secteur aéronautique) et (c) plaque d'un échangeur.

I.3 - La machine-outil de perçage (perceuse)

Une perceuse est une machine qui sert à percer des trous dans toutes sortes de matériaux.

I.3.1 - Différents types des perceuses

I.3.1.1 - Perceuse radiale

Perceuse utilisée sur des grosses pièces, pour percer des diamètres importants et pour réaliser divers travaux :

- perçage
- taraudage
- chanfreinage
- chambrage
- alésage

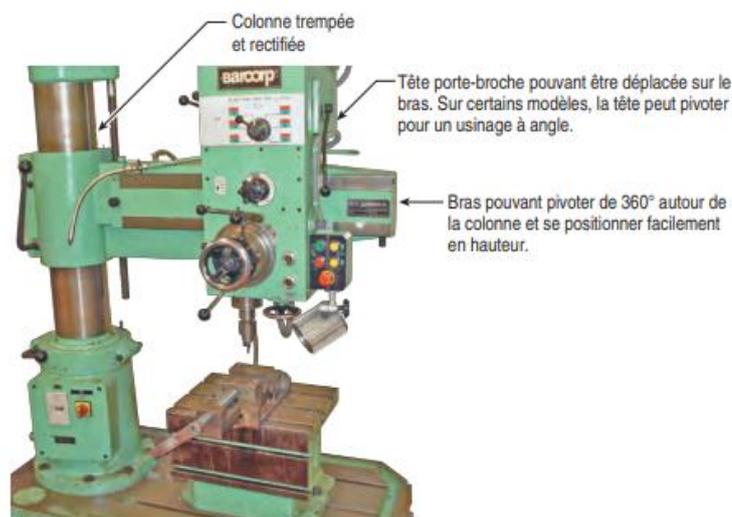


Figure 2 : Perceuse radiale

I.3.1.2 - Perceuses à colonne

Perceuses utilisées pour :

- des perçages jusqu'à 25 mm (1 po)
- des travaux exigeant une grande précision et une grande rapidité

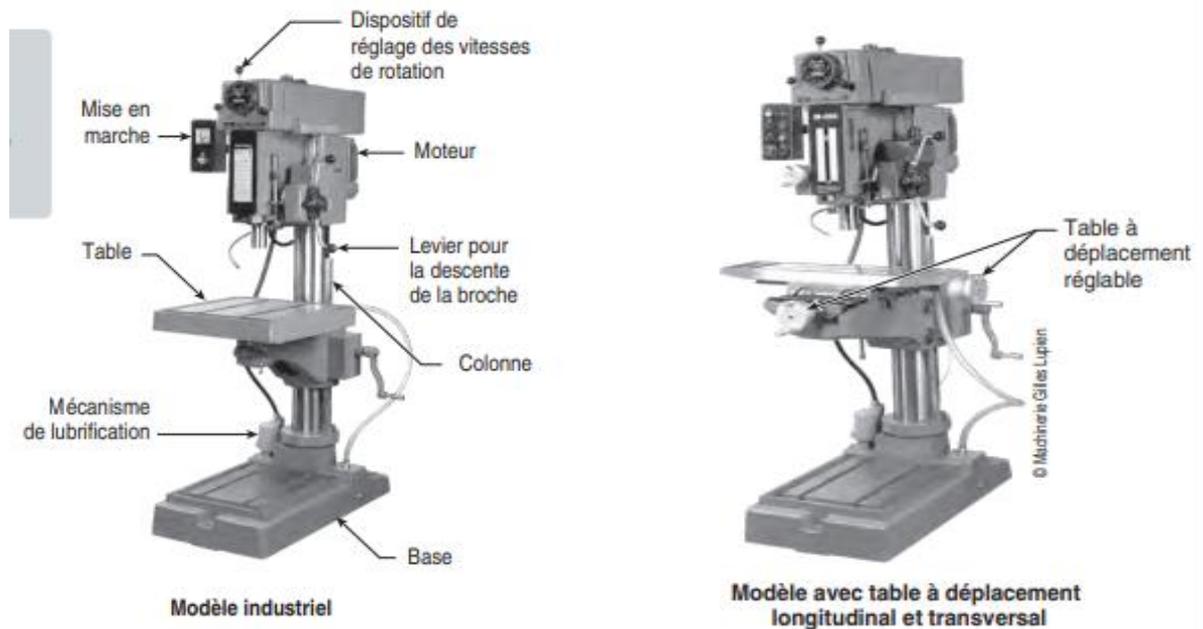


Figure 3 : Perceuses à colonne

I.3.1.3 - Perceuse sensitive

D'établi Perceuse à commande manuelle utilisée avec des forets de moins de 13 mm ($\frac{1}{2}$ po) et des outils ne nécessitant pas de rigidité ni de basses vitesses de rotation.



Figure 4 : Perceuse sensitive

I.4- Typologie des trous cylindriques

En fabrication mécanique, un trou de perçage est vu comme une entité d'usinage définie comme étant une conjonction d'une forme géométrique et d'un ensemble de spécifications. Quel que soit le procédé utilisé, différents types de trous peuvent être obtenus.

- Si $L \leq 6 D$, on parle de trou cylindrique court et la méthode utilisée sera le «perçage».
- Si $L > 6 D$, on parle de trou cylindrique long et la méthode utilisée sera le «forage».

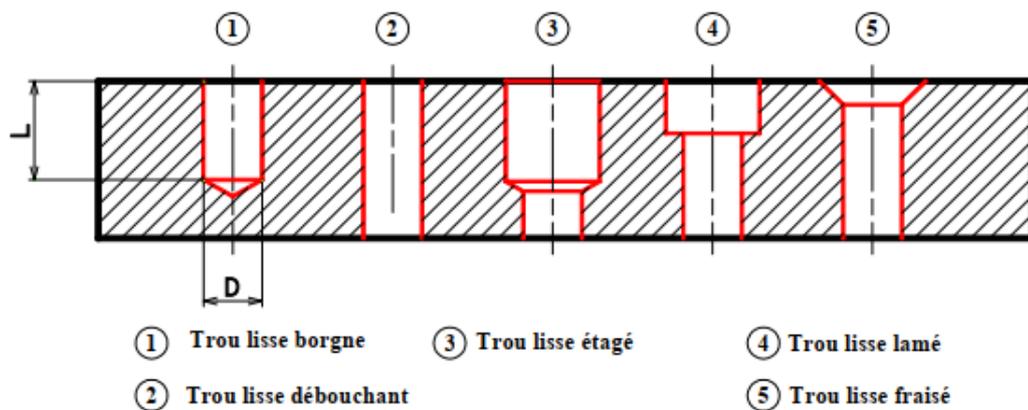


Figure 5 : Différents type de trou de perçage

Chapitre II

Généralité sur les forets hélicoïdaux

II.1 – Introduction

Le perçage est obtenu à l'aide d'un outil de coupe appelé foret. Il est animé d'un mouvement de rotation continue et d'un mouvement d'avance. Le foret utilisé pour les travaux de perçage courants est le foret hélicoïdal. C'est un corps cylindrique en acier à outil ou en acier rapide dans lequel deux rainures hélicoïdales, diamétralement opposées, sont taillées. Ces rainures, qui constituent la surface d'attaque de l'outil, servent à l'évacuation du copeau. une extrémité constitue la partie active; l'autre, la queue de fixation qui peut être cylindrique ou conique.



Figure 6: forets hélicoïdaux

II.2 - Définition du foret

Un foret est un outil qui sert à percer des trous. Il en existe de différents types suivant la géométrie du perçage à réaliser et les matériaux usinés.

II.3 - Géométrie des forets hélicoïdaux

Pour produire un trou cylindrique dans une pièce métallique en utilisant le procédé de perçage des métaux, les forets hélicoïdaux standards sont de loin les plus utilisés. Il est à rappeler qu'ils peuvent être animés d'un mouvement de rotation et la pièce à travailler devant être fixe, ou bien le contraire. Ils sont munis respectivement de deux à quatre lèvres de coupe, de deux à quatre goujures hélicoïdales et posséder une queue de forme cylindrique ou

conique. Dans ce qui suit on s'intéressera essentiellement aux forets cylindriques à deux goujures hélicoïdales

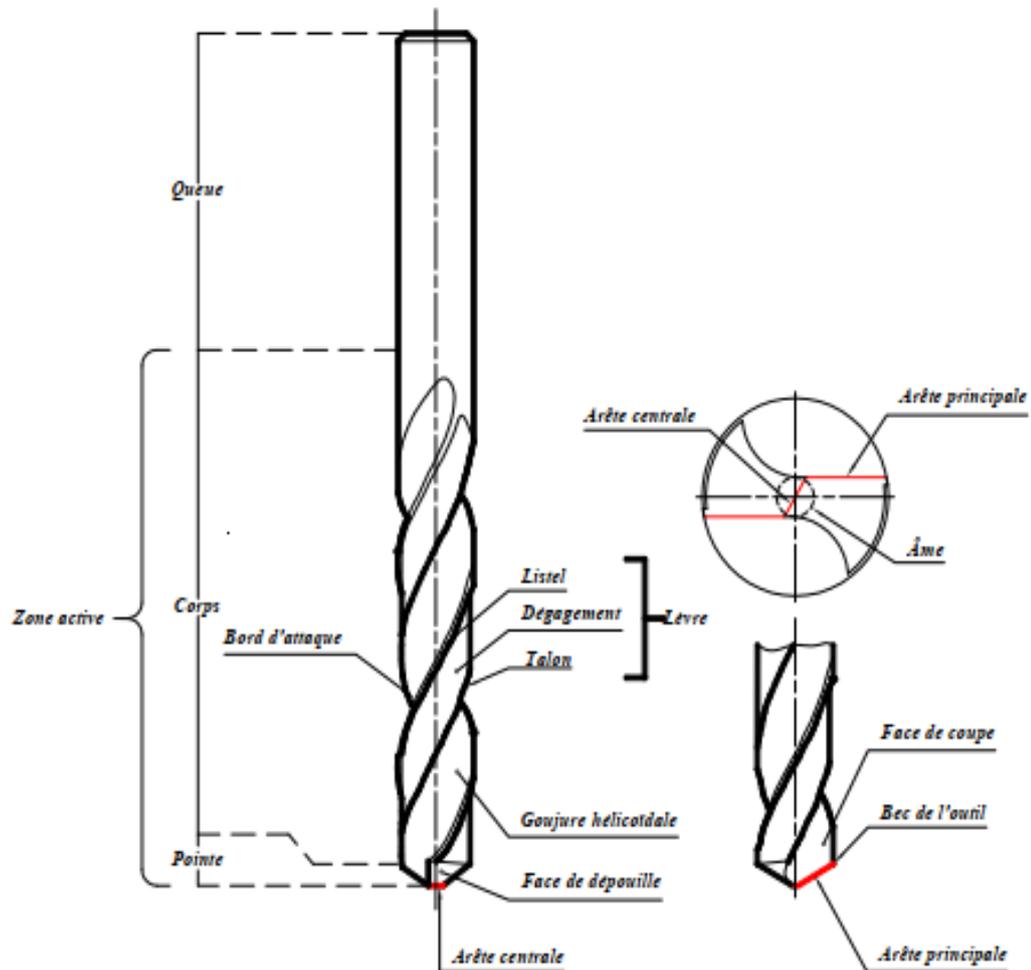


Figure 7: Géométrie des forets hélicoïdaux

II.4 - Décomposition hiérarchique

Globalement, un foret hélicoïdal se décompose d'une manière hiérarchique en trois volumes:

La queue, le corps et la pointe. Eux même décomposables en surfaces et arêtes (**figure 7**)

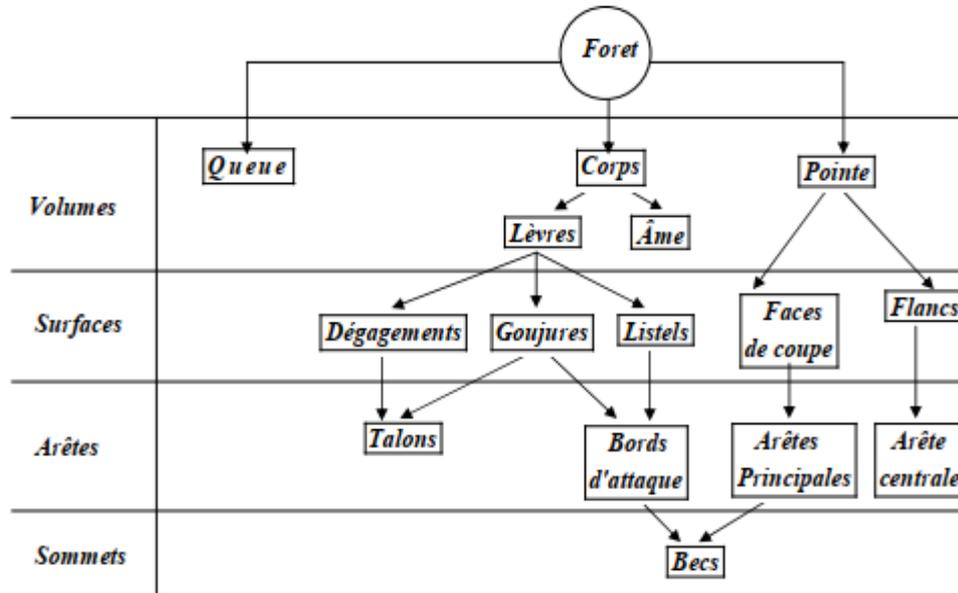


Figure 8: Décomposition hiérarchique d'un foret

1 - La queue du foret

De forme cylindrique ou conique (cône Morse), elle appartient à la zone non active du foret. de plus, étant en contact avec le porte-outil, la queue du foret doit posséder une liaison complète, rigide, démontable et directe avec celui-ci, afin d'assurer le positionnement et l'entraînement du foret lors de l'usinage.

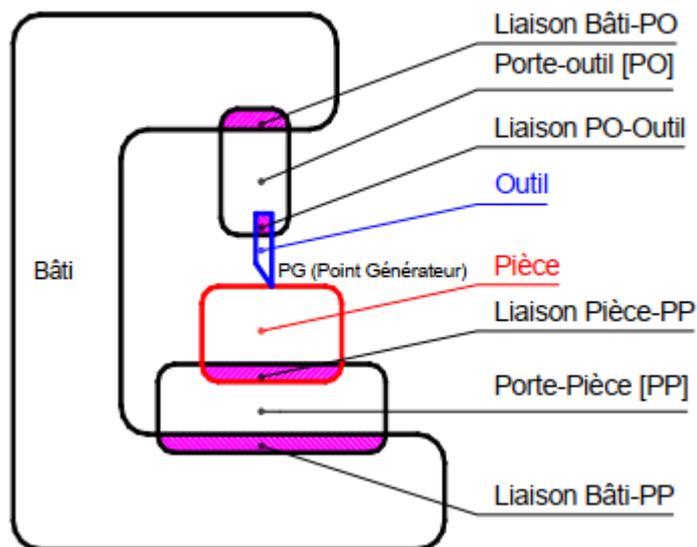


Figure 9: Mise en situation de l'outil foret dans une machine-outil

2 - Le corps du foret

Il représente la partie active du foret qui sera en contact avec la pièce à percer. Il est caractérisé par un diamètre nominal et une longueur effective. Son volume est composé d'une âme et de deux lèvres.

➤ **Âme du foret**

C'est la colonne vertébrale du corps du foret autour de laquelle s'enroulement selon une hélicoïde les deux lèvres. L'âme du foret est caractérisée par une épaisseur constante ou variable. Au niveau de sa jonction avec la queue du foret est amorcée la pénétration de l'outil meule lors du façonnage des goujures.

➤ **Les lèvres**

Elles résultent suite au façonnage par abrasion des deux goujures hélicoïdales. Elles assurent le guidage du foret lors de son évolution le long du trou formé. Elles sont généralement rectifiées. Pour éviter leurs plein contact avec le trou formé, un dégagement a été prévu et elles frottent sur la portion du trou usiné par le biais des listels. L'intersection de ce dernier avec une goujure forme le bord d'attaque, tandis que l'intersection du dégagement avec une goujure forme le talon.

➤ **Les goujures**

Ce sont des rainures hélicoïdales usinées par abrasion sur un barreau cylindrique. Elles forment la face de coupe du foret et participent à la formation du copeau. Elles servent également à évacuer celui-ci et à amener le fluide de coupe au niveau des parties actives. La forme et l'état de surface des goujures ont une grande importance pour la formation et l'évacuation du copeau.

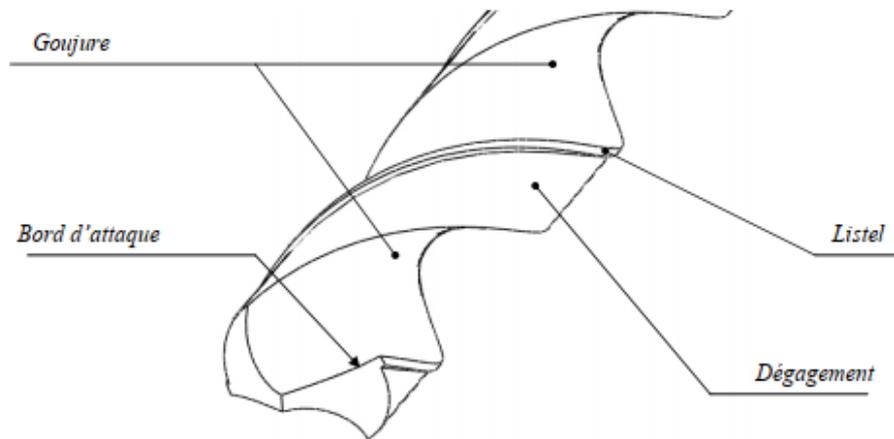


Figure 10: Mise en situation des éléments du corps d'un foret hélicoïdal

3 - La pointe du foret

Elle appartient à la zone active du foret. Etant située à l'extrémité libre du foret, elle doit assurer la formation du copeau et le centrage du foret dès l'attaque dans la matière. Son volume est enveloppé par quatre surfaces. Deux faces de coupe et deux flancs (**figure10**). Elle comprend deux arêtes actives pour la coupe: l'arête principale, résultat de l'intersection entre les faces de coupe et les flancs et l'arête centrale, résultat de l'intersection entre les deux flancs.

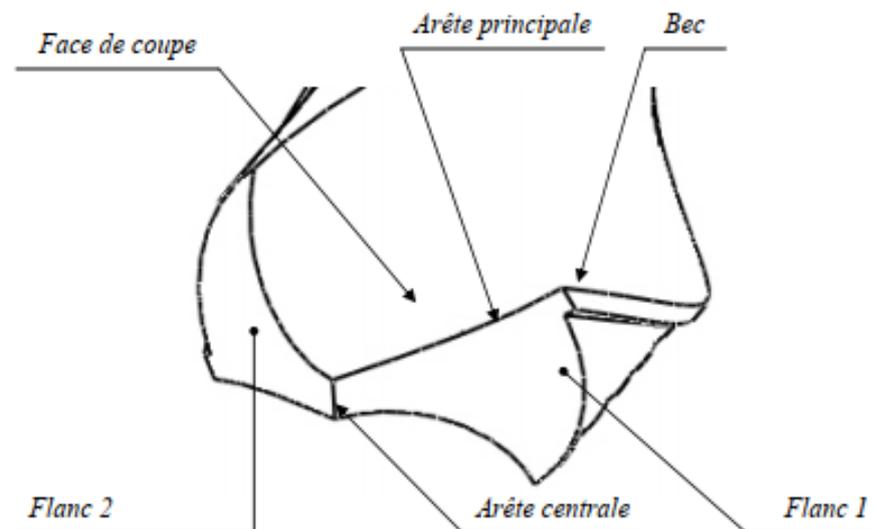


Figure 11: Mise en situation des éléments de la pointe d'un foret hélicoïdal

II.5 - Paramètres géométriques

La géométrie du foret est un élément déterminant pour la performance du perçage, la qualité de surface du trou et la durée de vie du foret. C'est aussi un facteur essentiel pour le calcul des efforts de coupe générés pendant le perçage. La géométrie du foret est construite sur celles des goujures et de la pointe. L'intersection de ces parties forme les parties actives du foret ou les arêtes de coupe. Afin de l'étudier, un foret cylindrique standard à goujures hélicoïdales, peut être décrit par un certain nombre de caractéristiques géométriques. Ces dernières, peuvent selon le cas, des paramètres de caractérisation géométrique ou bien des variables de calcul. Ces paramètres géométriques se présentent généralement sous l'aspect de dimensions linéaires, diamétrales et angulaires (**figure 12**).

En plus, la géométrie des parties actives (c'est-à-dire goujures et pointe) est déterminée par l'affûtage ; elle conditionne la qualité du travail réalisé ainsi que la tenue à l'usure du foret.

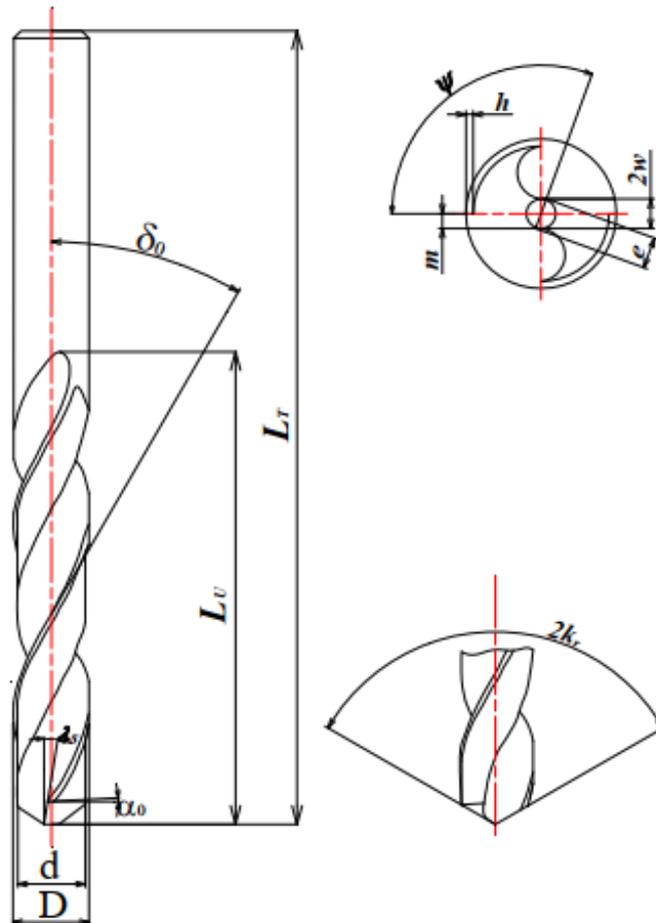


Figure 12 : Caractéristiques géométriques d'un foret hélicoïdal

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques d'un foret hélicoïdal

| Dimension | Désignation | |
|---|---|-------------------|
| D | Diamètre nominal du foret | Diamétrale |
| D | Diamètre du dégagement | |
| LT | Longueur totale du foret | Linéaire |
| LU | Longueur utile du foret / Longueur du corps / longueur de goujure | |
| M | Largeur apparente du listel | |
| H | Hauteur apparente du listel | |
| 2w | Epaisseur de l'âme du foret | |
| E | Largeur de l'arête centrale | |
| r 2k | angle de pointe | Angulaire |
| δ_0 | angle d'hélice à la périphérie du foret | |
| α_0 | Angle de dépouille arête principale à périphérie du foret | |
| s λ | Angle d'inclinaison d'arête principale | |
| ψ | Angle d'arête centrale | |

II.6 – Différents formes de la goujure

La conception du profil de goujure est importante pour l'évacuation des copeaux et la rigidité du foret. Ainsi, on peut distinguer (**figure 13** et **tableau 2**)

- 1- La goujure conventionnelle ou classique avec une épaisseur d'âme qui varie entre **0.1** et **0.25** fois le diamètre du foret. Elle se rencontre sur les forets dits classiques.
- 2- La goujure avec une épaisseur d'âme plus importante (de **0.2** à **0.35** fois le diamètre), l'âme est alors amincie sur la pointe du foret. Elle garantit une rigidité supérieure, pour le perçage de matériaux durs (alliages de titane, de nickel, aciers à haute résistance...) et l'utilisation de vitesses d'avance élevées.

3- La goujure parabolique qui facilite la formation et l'évacuation des copeaux, possède une rigidité élevée due à son épaisseur d'âme (entre **0.30** et **0.45** du diamètre du foret). Dans la suite du chapitre on s'intéresse essentiellement aux foret ayant des goujures à profil conventionnel (**figure 13**).

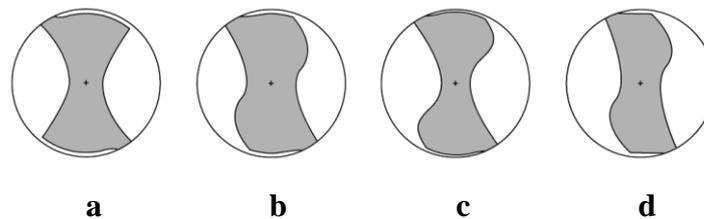


Figure 13 : Différents types de goujures (a) goujure conventionnelle, (b) goujure parabolique avec âme épaisse, (c) et (d) goujure parabolique avec âme mince.

Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients du différent profil de goujure

| Type conventionnel | Âme moyenne | Type parabolique |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Pour un usage général • Large espace pour les copeaux • Faible épaisseur d'âme $0.10 \text{ } 0.25 \text{ } D \rightarrow \times$ | <ul style="list-style-type: none"> • Grande rigidité pour les grandes avances. Un amincissement d'âme en pointe est réalisé pour diminuer les efforts de coupe axiaux • Utilisé pour les aciers et les fontes • Pour une grande efficacité de perçage et une durée de vie d'outils plus longs • Epaisseur d'âme : $0.20 \text{ } 0.35 \text{ } D \rightarrow \times$ | <ul style="list-style-type: none"> • Grande rigidité avec un enlèvement de matière facilité • Utilisé pour les alliages d'aluminium et les aciers inoxydables • Grande durée de vie de l'outil • Pour les trous profonds, pour éviter la casse ou la déviation du foret • Epaisseur d'âme : $0.30 \text{ } 0.45 \text{ } D \rightarrow \times$ |

La modélisation géométrique du corps d'un foret cylindrique hélicoïdal, se fait premièrement à travers la description et la modélisation géométrique du profil des goujures. Deuxièmement à travers la description et la modélisation géométrique du profil de sa section transversale contenue dans un plan perpendiculaire à son axe de révolution. En fin, à travers une extrusion par balayage hélicoïdal de cette section transversale suivant l'axe de révolution du foret, on obtient selon un angle d'hélice, un tronçon solide muni de deux goujures hélicoïdales.

Le profil de la goujure dépend du profil de l'outil meule qui va servir à la façonner. Pour rester dans le cas d'une goujure conventionnelle son profil doit être conçu de manière à avoir une arête principale droite lors de l'affûtage. Donc, le profil de l'outil meule dépend des spécifications géométriques du foret devant être façonné. Au lieu de décrire l'outil meule, on pourra directement considérer la section transversale du profil de la goujure.

II.7 - Principaux modèles des forets hélicoïdaux

II.7.1 - Forets monoblocs

Un foret est constitué essentiellement d'une queue cylindrique ou conique selon le modèle la queue d'un foret diffère selon son mode de fixation. On distingue le foret à queue conique qui se fixe dans le nez de la broche d'une perceuse par emmanchement conique (Cône mors) et le foret à queue cylindrique qui se fixe sur la perceuse par le serrage des mors du mandrin.



Figure 14 : Les forets hélicoïdaux queue cylindrique et conique

II.7.2 Forets à plaquettes

Avec le faible coût d'utilisation de la machine qu'il permet, le foret à plaquettes Indexables est le choix le plus économique au niveau du prix de revient par pièce, les plaquettes indexables peuvent être changées jusqu'à 40 fois au cours de la durée de vie du foret. Les forets à plaquettes indexables ne couvrent toutefois pas la plage la plus courante de diamètres de trous, ce qui explique que les forets conventionnels en acier rapide demeurent prédominants dans le domaine du perçage des trous courts.

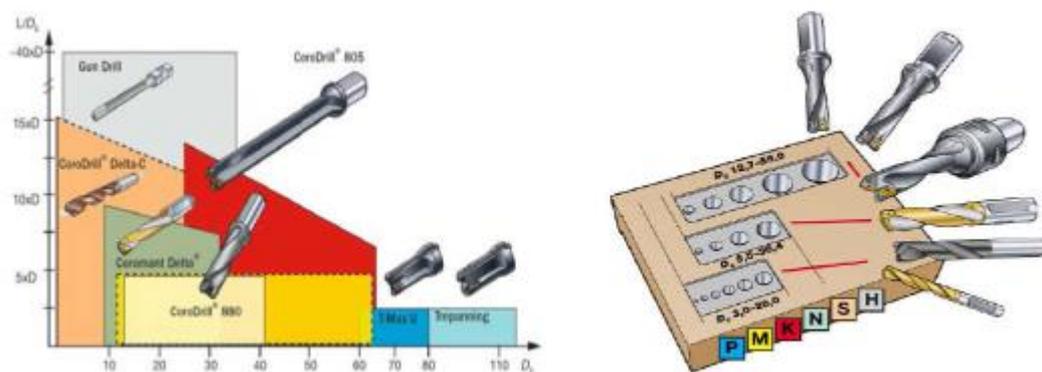


Figure 15: Différents types de forets à plaquettes

II.8 - Méthodes de fabrication des forets de perçage

Le principal processus de fabrication de forets hélicoïdaux comprend le traitement des rainures en spirale, le traitement thermique et l'affûtage de trois aspects. Étant donné que le traitement thermique et le processus de meulage ultérieur sont fondamentalement les mêmes, la principale différence réside dans la partie foret hélicoïdal du travail du processus de formage. À l'heure actuelle, pour le processus de fabrication des forets hélicoïdaux, il existe principalement les trois méthodes suivantes : méthode de fraisage, méthode de laminage, méthode de meulage.

II.8.1 – Méthode de fraisage

Fraisage de la forme souhaitée de la rainure hélicoïdale avec une fraise de formage sur l'ébauche de foret hélicoïdal non durcie. La méthode de fraisage a une large gamme de traitement de fabrication de forets hélicoïdaux, traitant principalement des forets hélicoïdaux de 2.5 à 70 mm.

L'inconvénient du procédé de fraisage est le coût élevé de l'outil, le long temps de traitement de fabrication du foret hélicoïdal et la finition de la forme finale avant le traitement thermique. Pendant le traitement thermique, il se produira des erreurs de géométrie, qui se reflètent presque toutes dans le foret fini.



Figure 16 : Méthode de fraisage

II.8.2 - Méthode de roulant

Le foret est roulé sur une ébauche chauffée avec quatre plaques en éventail pour former la forme du foret.

Par rapport à la méthode de fraisage, en utilisant la déformation plastique du fabricant de forets avec moins de précision, en outre, en raison du traitement thermique, la géométrie du foret hélicoïdal roulant changera, ce qui rendra impossible de répondre aux exigences de forage de trous de haute qualité.

Le principal avantage de cette méthode est d'économiser les matières premières pour la fabrication d'un foret hélicoïdal, avec une bonne économie.



Figure 17: Méthode de roulant

II.8.3 - Méthode de ponçage

Le plus récent type de traitement de fabrication de forets hélicoïdaux. Lorsque la vitesse de la roue atteint 100 m / s, fait que la rainure en spirale du foret hélicoïdal est meulée hors du matériau entier, le meulage à grande vitesse peut réduire la force de coupe, améliorer considérablement la qualité de la surface et réduire l'erreur de forme. Par rapport à la méthode de fraisage, la méthode de broyage peut réduire considérablement le temps de travail d'une seule pièce, de haute qualité et de stabilité.

À l'heure actuelle, le procédé de fabrication de forets hélicoïdaux de meulage ne peut fabriquer que le diamètre de 15 forets hélicoïdaux ou moins.



Figure 18 : Méthode de ponçage

II.9 - Quelques matériaux utilisés pour la fabrication de forets

Les matériaux employés pour les forets doivent satisfaire plusieurs critères :

- Stabilité mécanique, physique et chimique à des hautes températures
- Résistance à l'usure
- Ténacité à la rupture fragile.

Malheureusement, ces trois critères ne peuvent être satisfaits en même temps. Par exemple plus le matériau est réfractaire plus il est fragile.

Tableau 3 : Familles des matériaux des forets

| <i>Familles</i> | <i>Stabilité thermique</i> | <i>Résistance au choc</i> | <i>Résistance à l'usure</i> |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Acier rapide (HSS) | Augmente ↓ | Augmente ↑ | Augmente ↓ |
| Carbure | | | |
| Cermet | | | |
| Diamant | | | |

Parmi les matériaux utilisés pour la fabrication des forets on trouve:

- **Acier rapide (HSS)**

L'acier rapide (HSS ou High Speed Steel) est un acier fortement allié. Sa dureté, généralement élevée (>60 HRC), est garantie jusqu'à une température de 600°C. Sa résistance à l'usure et sa grande ténacité à haute température lui confèrent une bonne qualité de coupe. L'affûtage peut être effectué à la main.

- **Métal dur ou carbure**

Le métal dur, ou carbure, n'est pas un acier. C'est un composé fritté de carbure de tungstène (60 à 97 %), de métaux de liaison, titane (1 à 35 %) et cobalt ou de nickel (3 à 30 %). Les proportions du mélange donnent des qualités de métal dur différentes. Par exemple, un faible pourcentage de cobalt (5 %) donne un carbure plus dur, fragile, mais plus résistant à l'usure. Par contre, une augmentation du cobalt confère au métal dur une plus grande ténacité. Sa dureté de 850 à 2 000 HV30 est maintenue jusqu'à une température de 1000 °C. Comme tous les matériaux frittés, la base de fabrication est une poudre comprimée, dont la taille des grains (de 2 à moins d'un micromètre) influe également sur les caractéristiques mécaniques. Ses différentes caractéristiques permettent d'utiliser des vitesses de coupe et des avances plus élevées que celles pratiquées avec les outils en acier rapide.

- **Acier rapide et métal dur revêtus**

L'acier rapide et le métal dur revêtus sont de plus en plus utilisés dans la fabrication des outils. Un inconvénient est le fait de devoir renouveler le dépôt des différents

revêtements comme le nitrure de titane ou le carbonitrure de titane après l'affûtage. Les avantages de tels outils sont :

- une durée de vie plus longue, donc moins de réaffûtages
- une amélioration des performances en diminuant les temps d'usinage et en obtenant de meilleures qualités de surface.

Les types de revêtement sont les couches en nitrure de titane (TiN) et les couches en carbonitrure de titane (TiCN). Le revêtement TiN d'épaisseur allant de 1 à 4 microns.

• Céramique

La céramique est principalement utilisée pour l'usinage de la fonte, de la fonte trempée, des aciers de haute protection, des aciers trempés et des aciers réfractaires.

• Diamant

Le diamant est un carbone pur cristallisé, d'une très grande dureté. Le diamant n'est pas seul, mais seulement inclus dans le métal du foret ainsi "diamanté", afin de percer des matériaux très durs (par exemple des surfaces en céramique).

• Nitrure de bore

Le nitrure de bore cubique ou CBN permet d'usiner des métaux ferreux trempés ainsi que des alliages à base de nickel– inconel, etc. Il a été élaboré en 1957 par Robert H. Wentorf, Jr. (en)¹ pour General Electric qui l'a commercialisé à partir de 1969 sous le nom de marque « Borazon ».

Chapitre III

Techniques de réalisation des trous de perçage

III.1 - Différents mouvements assurant la coupe

C'est la combinaison de deux mouvements que l'on peut faire varier :

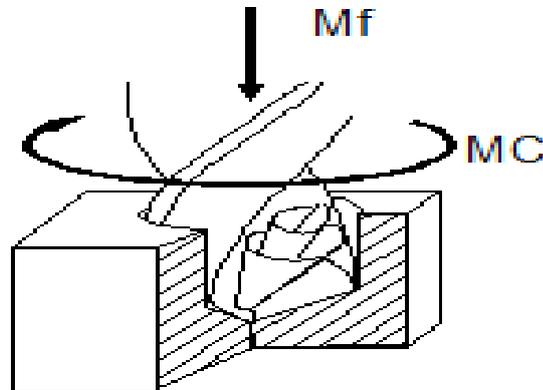


Figure 19: Différents mouvements de coupe

- Le mouvement de rotation (MC) : L'outil tourne sur lui-même, c'est la vitesse de rotation en tour par minute (Tr /min).
- Le mouvement de descente (Mf) : L'outil pénètre dans la matière, c'est l'avance en mètre par minute (m/min).

III.2 - Mise au point et réglage du système MODOP pour perce

Le travail comprend :

- La préparation de la pièce
- Le montage de la pièce
- Montage des forets
- Réglage de la machine
- Le perçage de l'avant-trou
- Le perçage définitif

III.2.1 - La préparation de la pièce consiste

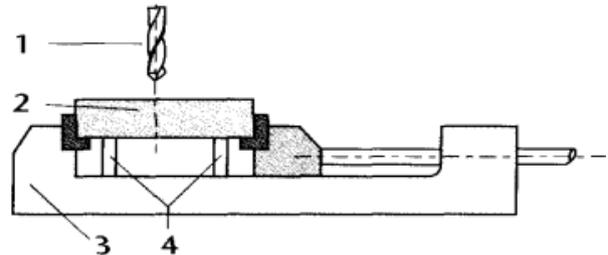
- à obtenir une surface d'attaque et une surface d'appui perpendiculaires à l'axe du trou à percer;
- à déterminer la position du trou. Cette position est définie par l'intersection de deux axes perpendiculaires Leur intersection donne le centre.

La position du centre est matérialisée par le pointage qui a pour objet d'imprimer dans la pièce une cavité conique destinée à guider la pointe du foret.

III.2.2 - Le montage de la pièce

Il est extrêmement important de bloquer la pièce soit sur l'étau bridé sur la table, soit avec des brides afin que cette dernière ne bouge pas, et en particulier ne soit pas emportée et ne tourne pas avec le foret provoquant une blessure qui peut être grave.

- 1- Foret
- 2- Pièce
- 3- Etau
- 4- Cales si les mors de l'étau n'ont pas d'épaulement



III.2.3 - Montage des forets

- 1- Contrôler le diamètre du foret.

Pour un foret à queue cylindrique, on peut mesurer le diamètre de la queue du foret à condition que la surface ne soit pas abîmée.

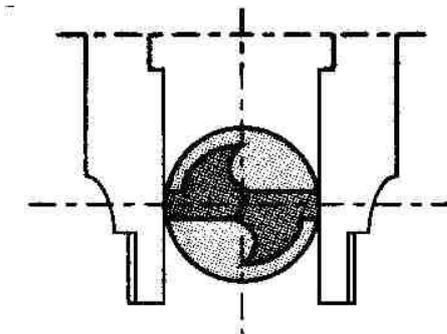
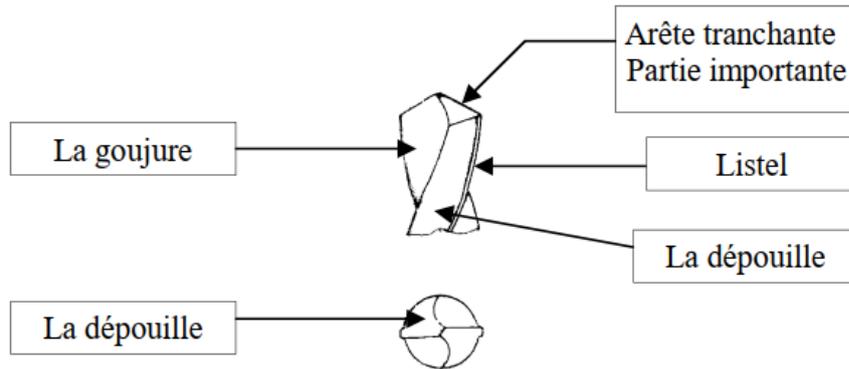


Figure 20 : Contrôler le diamètre du foret avec

- 2- Faire contrôler que le foret soit correctement affûté.



Un foret bien affute = travail rapide et soigné

3- Monter le foret dans le porte-outil :

- ♦ si le foret est à queue cylindrique, le monter dans le mandrin.
- ♦ si le foret est à queue conique il faut :
 - nettoyer le cône pour que le foret tourne rond
 - présenter le foret dans l'alésage
 - le tourner à la main jusqu'à sentir que le tenon est en face de son logement
 - enfoncer le foret d'un coup sec, il doit tenir.

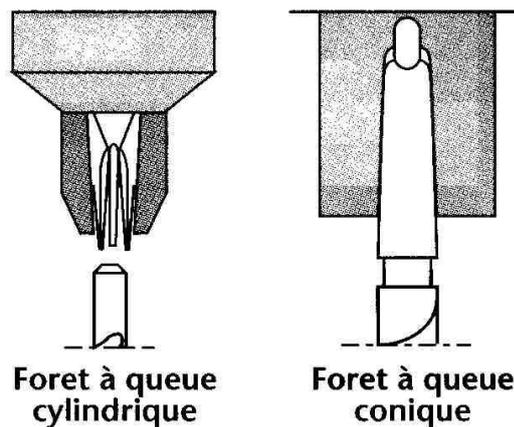


Figure 21 : Montage des forets

- ♦ Si le mandrin est à démonter :
 - descendre la broche jusqu'à la lumière ;
 - tourner le mandrin pour voir un trou ;
 - introduire le chasse-cône ;
 - frapper un coup de marteau sur le chasse-cône en retenant le mandrin qui va tomber.

III.2.4 - Réglage de la machine

Réglage de la fréquence de rotation du foret

- Si le foret tourne trop vite : l'outil va s'user très rapidement.
- Si le foret tourne trop lentement : la matière sera arrachée et l'état de surface ne sera pas acceptable.

Il faut donc travailler avec la bonne vitesse de coupe

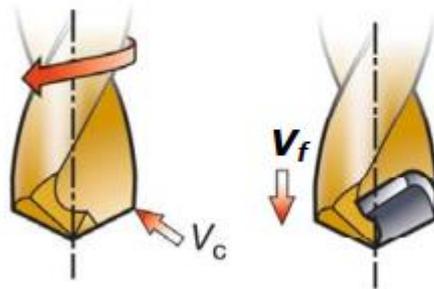


Figure 22 : Vitesse de rotation et vitesse d'avance

A) La vitesse de coupe (V_c)

La fréquence de rotation du foret, exprimée en tours par minute et notée N , on peut la déduire d'après la formule empirique (1)

$$V_c = \pi * d * N / 1000 \dots\dots\dots(1)$$

La vitesse de rotation (N) (tr/min) désigne le nombre de tours par minute accomplis par la pièce dans le mouvement de coupe. En permutant les termes de la formule précédente, on obtient (2) :

$$N = 1000 * V_c / \pi * d \dots\dots\dots(2)$$

d : diamètre outil et trou (mm)

V_c : vitesse de rotation (vitesse de coupe) (m/min)

N : la fréquence de rotation de l'outil (tr/min)

B) L'avance par tour (V_f)

L'avance exprimée en mm par tour et notée f (mm/tr), elle est calculée par l'expression suivante (3).

$$V_f \text{ (m/min)} = f \text{ (mm/tr)} * N \text{ (tr/min)} * 1000 \dots \dots \dots (3)$$

f : avance par tour en (mm/tr)

V_f : vitesse d'avance en (m/min)

Le choix définitive de la fréquence de rotation est déterminé par l'approche de la valeur calculée à elle de la machine-outil un sélecteur de nombre de tour de la manière pour le choix de la valeur de la vitesse d'avance.



Figure 23 : Sélecteur des nombres de tours et des avances

1-les fréquences de rotation disponibles sur la broche de la machine sont :

- (45 ;63 ;90 ;125 ;355 ;500 ;710 ;1000 ;1400 ;2000 ;) tr/min

2-les avances disponible sur la machine Sant comme suit :

- (0.1;0.14 ; 0.2 ; 0.28 ; 0.4 ; 0.56 ; 0.8 ; 1.12 ; 1.6) mm/tr

Si le foret possède deux arêtes principales de coupe, l'avance par arête est alors $f/2$.

Le choix des conditions de coupe (vitesse de rotation et avance) dépend du foret (de sa géométrie et des matériaux le constituant), de la matière à usiner et l'utilisation ou non de la lubrification

En ce qui concerne la productivité c'est la vitesse d'avance qui en est un des facteurs principaux car elle détermine le temps de coupe (4) :

$$T = p/Vf \dots \dots \dots (4)$$

T: le temps

P : profondeur de trou

III.2 - Efforts de coupe lors du perçage

Le foret possède deux arêtes tranchantes et à chacune et en son milieu s'applique un effort de coupe tangentiel F_c . Les deux efforts forment un couple de moment :

$$M_c = F_c \times D^2$$

La résistance des efforts de coupe s'exerçant sur une arête admet trois composantes :

- 1- **F_c** : effort tangentiel de coupe.
- 2- **F_f** : effort d'avance.
- 3- **F_p** : effort de pénétration.

Si le foret est parfaitement affûté et si le matériau de la pièce est homogène, on a :

$$F_c = F_c' ; F_f = F_f' ; F_p = F_p'$$

Les composantes **F_p**, **F_p'** égales et pratiquement opposées s'annulent.

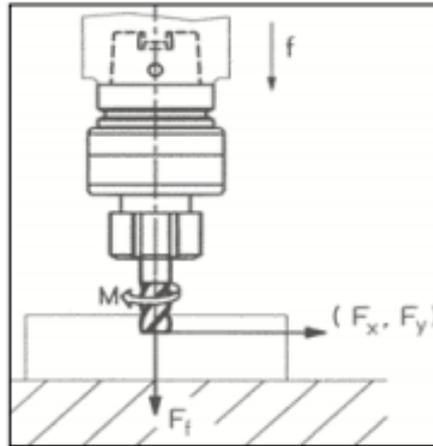


Figure 24 : Efforts de coupe

La résultante des efforts d'avance est portée par l'axe du foret:

$$\mathbf{Ra} = 2 \times \mathbf{Ff} = \mathbf{K} \times \mathbf{ftr} \times \mathbf{D}$$

Avec :

- **K** : Coefficient déterminé expérimentalement
- **ftr** : Avance par tour
- **D** : diamètre du foret en mm

III.4.3 - Le réglage comprend en général

- Le réglage en hauteur;
- La vérification de la perpendicularité de l'axe de la broche et de la surface d'attaque;
- Le réglage de l'alignement de l'axe de la broche et de celui du trou à percer;
- Le blocage en position définitive.

III.4.4 - Le perçage de l'avant-trou

La réalisation d'un perçage nécessite tous d'abord un surfaçage ensuite un pointage pour les tôles de petites épaisseur et un avant trou pour les pièces épaisses, ce dernier peut être réalisé par un outil de centrage à l'aide d'un petit foret de 3 à 5 mm de diamètre (l'arête terminale du foret doit être contenue dans le coup de pointeau du centre).

III.4.5 - Le perçage définitif

Pour effectuer un perçage correct, il est important de suivre ces étapes dans l'ordre :

- 1- Avant le perçage il faut vérifier que l'axe de perçage et l'axe du foret coïncident (voir schéma ci-contre)
- 2- le perçage Le foret pénètre dans la matière. L'arête principale, la première en contact avec la pièce à percer, coupe la matière. Les copeaux sont évacués dans les formes en creux appelés goujures. Le foret est facilement guidé grâce à ses bords de forme hélicoïdale ou listels.
- 3- Il faut ébavurer (retirer les bavures), puis contrôler la qualité et le diamètre de perçage.

III.3 -Mécanismes d'enlèvement de la matière pendant le perçage

Les mécanismes d'enlèvement de la matière pendant le perçage avec un foret hélicoïdal conventionnel sont classés en deux catégories :

- ✓ La formation des copeaux le long des arêtes principales qui est très semblable à une opération de coupe (Figure 25a).
- ✓ La formation des copeaux le long de l'arête centrale est plus complexe. En effet, au centre du foret, où la vitesse d'avance est plus importante que la vitesse de rotation, l'enlèvement de la matière est plus proche d'une indentation que de la coupe. Enfin, sur l'autre partie de l'arête centrale, la vitesse de rotation n'est pas nulle : l'enlèvement de la matière est semblable à un mécanisme de coupe avec des conditions très sévères (angle de coupe négatif).

Dans les forêts avec des géométries modernes, l'amincissement au niveau de l'arête centrale contribue à l'amélioration des conditions de coupe dans cette région en modifiant l'angle de coupe (Figure 25b). L'indentation est réduite à une zone très petite de quelque dizaine de micromètres juste au centre du foret

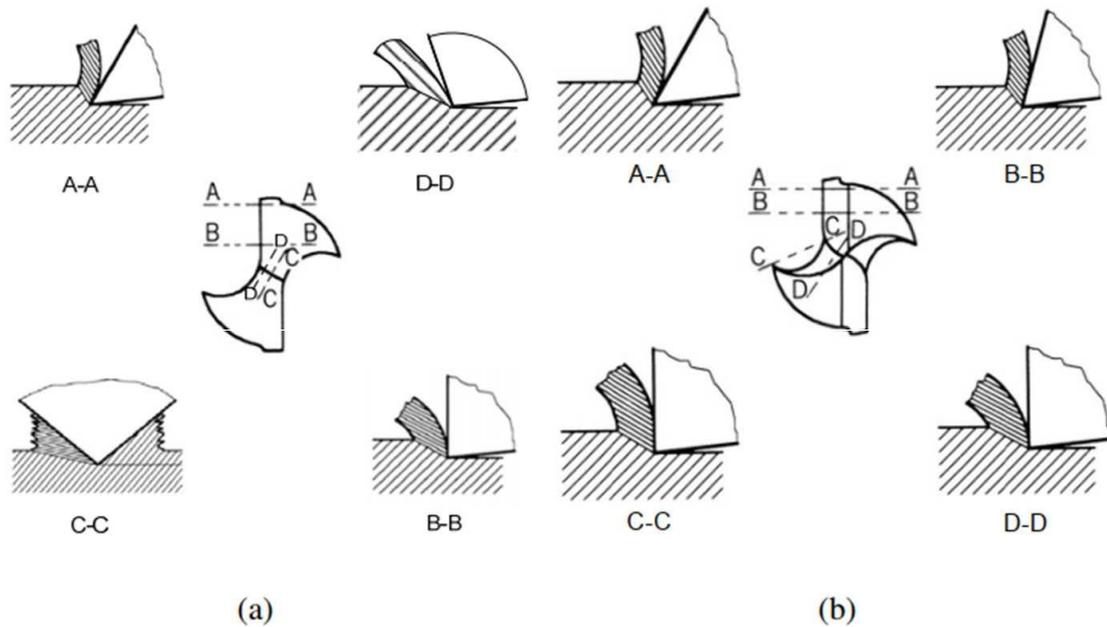


Figure 25 : Mécanisme d'enlèvement de la matière pendant le perçage avec un foret Hélicoïdal conventionnel (a) et un foret de géométrie moderne (b)

III.4 - Formation du copeau

La formation du copeau dépend directement de la variation de l'angle de pente, en outre, la vitesse de coupe décroît de la périphérie vers le centre.

Les deux phénomènes lorsqu'on perce une matière présentant un grand allongement (acier au carbone par exemple), un copeau du type continu. Au contraire, dans la zone de l'âme, le phénomène de coupe prend l'allure d'un véritable écrasement et donne naissance à un copeau du type fragmenté. On constate que, les d'arêtes tranchantes situées au voisinage de l'âme, il a copeau continu mais qui ne peut pas être évacué normalement. Il est alors cisa irrégulière, ce qui l'apparent à un copeau du type fragmenté. Percer un trou dans une chute d'acier, ne doit pas demander une pression excessive. Il doit produire deux lignes continus et symétriques et la pointe du foret doit rentrer un le contrôler retirer le foret de la machine et se conjuguent et l'on voit apparaître aux extrémités des lèvres, une le foret ne doit pas chanter, crisser ou coller et peu juste dans le percement (pour introduis la queue du foret dans le trou). Formation d'une ile de façon de copeaux.

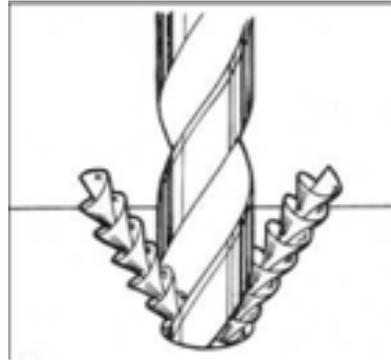


Figure 26 : Deux copeaux de forme identique

La matière à usiner, la géométrie de l'outil, la vitesse de coupe, l'avance et le choix du liquide de coupe influent sur la formation des copeaux. Une forte avance et/ou une vitesse de coupe réduite produisent des copeaux plus courts.



Figure 27 : Trois catégories de copeaux (a) (b) (c)

Voici trois catégories de copeaux pouvant être rencontrées lors d'une opération de perçage. Lorsque le foret lui-même et les paramètres de coupe sont parfaitement adaptés à l'opération en cours, c'est la **catégorie A**, sur la gauche, les copeaux sont trop longs et ils risquent de boucher dans les goujures du foret. Il convient, alors, de réduire la vitesse de coupe ou d'augmenter l'avance dans les limites recommandées.

La **catégorie B**, au centre, représente des copeaux trop minces exigeant une augmentation de la vitesse de coupe dans les limites recommandées.

Dans la **catégorie C** qui montre les copeaux optimaux.

III.5 - La lubrification

Trucs et astuces pour l'arrosage

Un arrosage correct est essentiel pour obtenir de bonnes performances en perçage. L'arrosage influence :

- Évacuation des copeaux
- Qualité des trous
- Durée de vie de l'outil

La contenance du réservoir de liquide de coupe doit être au moins 5 à 10 fois supérieure au débit par minute de la pompe. Le débit du liquide de coupe doit être suffisant.

Le débit peut être vérifié à l'aide d'un chronomètre et d'un seau de taille adaptée.

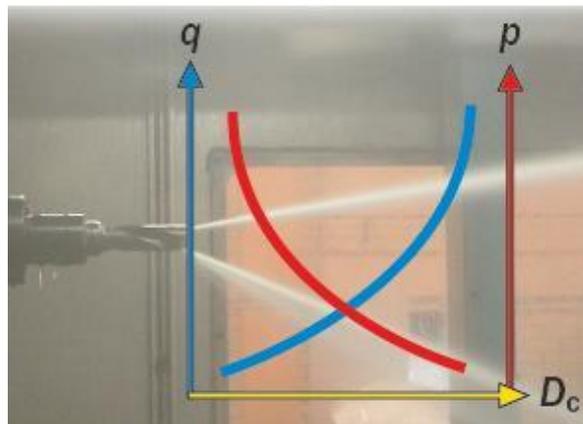


Figure 28 : Relation entre la pression et le diamètre de l'adduction de liquide de coupe (pression en rouge, diamètre en jaune, volume en bleu)



Figure 29 : Vérifier le débit à la sortie du foret

- L'huile soluble (émulsion) doit toujours être utilisée avec des additifs EP (très grande pression). La teneur en huile dans la solution doit être de 5 à 12% pour obtenir une bonne durée de vie d'outil (10 à 15% pour les aciers inoxydables et les superalliages réfractaires). En cas d'augmentation de la proportion d'huile dans le liquide de coupe, ne pas dépasser le maximum indiqué par le distributeur.
- L'arrosage par l'intérieur de l'outil est toujours à préférer, si possible, car il est plus efficace que l'arrosage par l'extérieur.
- L'huile entière améliore la lubrification, notamment dans les aciers inoxydables. Toujours utiliser des additifs EP. Les forets carbure monobloc et les forets à plaquettes index-ables fonctionnent tous deux bien avec l'huile entière.
- L'air comprimé, le brouillard d'huile ou la micro lubrification (MQL) peuvent donner de bons résultats si les conditions sont favorables, en particulier dans l'aluminium et dans certaines fontes. Il est recommandé de réduire la vitesse de coupe en raison de l'élévation de la température qui peut réduire la durée de vie de l'outil.

➤ Arrosage par l'intérieur

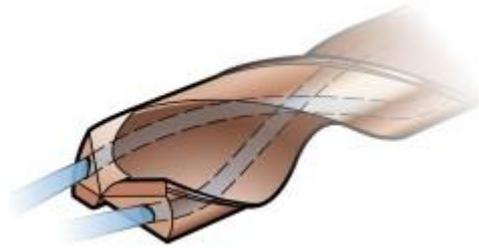


Figure 30 : Arrosage par l'intérieur

L'arrosage par l'intérieur est à privilégier pour éviter les bourrages de copeaux, surtout dans les matières à copeaux longs et les trous profonds ($>3 \times DC$). Les forets horizontaux doivent produire un jet de liquide de coupe sans gouttes sur une longueur d'au moins 30 cm (11.81 pouces)

➤ Arrosage par l'extérieur

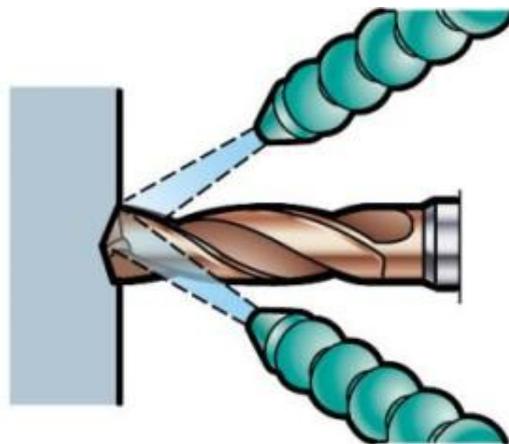


Figure 31 : Arrosage par l'extérieur

L'arrosage par l'extérieur peut être utilisé si la formation des copeaux est bonne et si le trou est peu profond. Pour améliorer l'évacuation des copeaux, une buse d'arrosage au moins (deux si le foret est statique) doit être orientée près de l'axe de l'outil.

➤ **Perçage à sec**

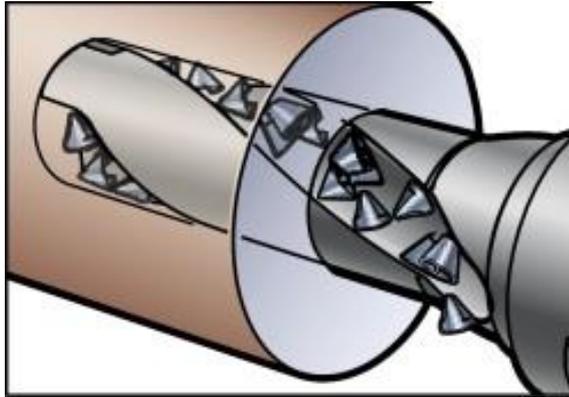


Figure 32 : Perçage à sec

Le perçage sans arrosage n'est généralement pas recommandé.

- Il peut toutefois être utilisé avec les matières à copeaux courts pour des profondeurs de trous jusqu'à 3 x diamètre.
- Applications horizontales de préférence
- Vitesse de coupe réduite recommandée
- La durée de vie d'outil sera plus courte

Le perçage à sec n'est jamais recommandé pour :

- Matières inoxydables (ISO M et S)
- Forets à embout amovible

➤ **Arrosage haute pression (~70 bars)**

Avantages de l'arrosage haut pression :

- Durée de vie d'outil plus longue car meilleur refroidissement
- Meilleure évacuation des copeaux et durée de vie d'outil prolongée dans les matières à copeaux longs comme les aciers inoxydables
- Sécurité grâce à une meilleure évacuation des copeaux
- Le débit doit être suffisant pour la pression et la taille des orifices de liquide de coupe

III.6 - Risques d'accidents

Les accidents dus au perçage ont pour causes :

- la pièce à usiner est mal fixée; elle vibre (assurez-vous de la parfaite fixation de la pièce à l'étau)
- un copeau trop long (sectionner par moment par des mouvements de débrayage).
- danger d'accrochage pour les pièces minces (ne pas les arrêter avec la main ou les pinces).
- danger de sortir le foret du trou avec force (il peut se briser).

N.B : Lubrifier souvent pendant l'opération du perçage pour éviter le chauffage et accélérer la bonne progression du foret.

Le lubrifiant = l'huile mélangée à de l'eau.

Chapitre IV

L'usure et rupture des forets hélicoïdaux

IV.1 - Phénomène de l'usure

IV.1.1 - Introduction

La dégradation d'outils coupants peut être classée en deux familles d'origines différentes :

- 1- mécanique (déformation plastique, adhésion et abrasion)
- 2- physico-Chimique (diffusion et oxydation).

Les paramètres et conditions de coupe, la définition de l'outil ainsi que la nature du matériau percé sont les trois paramètres régissant l'usure.

IV.1.2 - Définition de l'usure

Par définition, l'usure est la perte progressive de la matière de la surface active d'un corps à cause du mouvement relatif d'un autre corps sur cette surface.

IV.1.3 - Types d'usure

IV.1.3.1- Usure par déformation plastique

Les déformations plastiques se produisent sous l'effet combiné des grandes pressions et des grandes températures générées pendant l'usinage. Elles sont localisées au niveau de la pointe, de l'arête de coupe principale et du bec de l'outil. A terme, les fortes sollicitations thermomécaniques appliquées vont entraîner un effondrement des différentes des zones de coupe. Ce mode d'usure est notamment visible lors de l'usinage du titane.

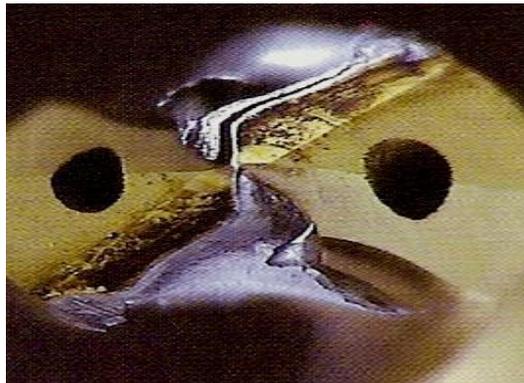


Figure 33 : Déformation plastique en bout d'outil

IV.1.3.2- Usure par adhésion

Le phénomène d'arête rapportée se manifeste par le dépôt d'un amas de matière sur la face de coupe, l'arête et le listel, modifiant la géométrie initiale, le contact outil-copeau et l'angle de coupe. Le phénomène d'arête rapportée intervient lorsque le contact outil-copeau est de type collant. La face de coupe étant intimement liée au copeau, une phase solide de nature métallurgique complexe se forme.

Comme l'arête rapportée a tendance à grossir, elle devient alors instable et finit par se briser. En se rompant, il arrive qu'une partie de l'arête se casse créant ainsi un bris d'outil. Les arêtes rapportées se forment fréquemment pendant l'usinage des alliages métalliques, comme l'aluminium et le titane.

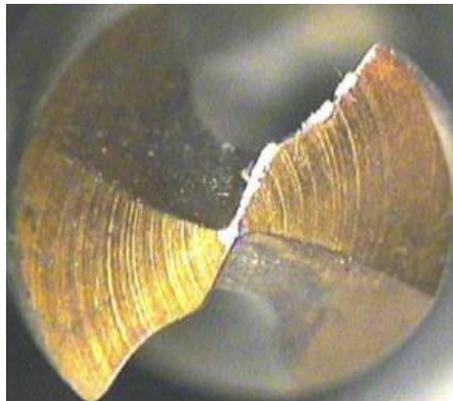


Figure 34 : Adhésion de titane

IV.1.3.3- Usure par diffusion

L'usure par diffusion apparaît au-dessus d'une température donnée. La formation d'une couche limite entre l'outil de coupe et la pièce usinée facilite la diffusion des éléments métalliques et du carbone de l'outil vers le copeau, rendant le substrat plus friable en sous-couche. De même, des éléments de la pièce usinée infiltrent l'outil et diminuent sa dureté. Ce phénomène sera bien entendu réduit par la présence d'une couche barrière aux mécanismes de diffusion.

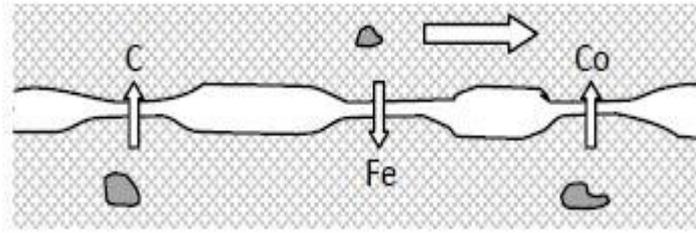


Figure 35 : Mécanisme d'usure par diffusion

IV.1.3.4- Usure par abrasion

L'usure par abrasion est due à la présence de particules dures dans la matière usinée. De micro copeaux sont ainsi arrachés à l'outil par ces éléments durs qui sont sans cesse renouvelés au cours de l'usinage. C'est le mode d'usure le plus courant à toutes les vitesses de coupe, car ces particules ne sont pas influencées par la cinématique relative outil/copeau. Par contre, l'abrasion aura d'autant plus d'effets que la température locale est grande. En effet, la hausse des températures de coupe, liée à la hausse des vitesses de coupe, entraîne une diminution de la résistance à l'abrasion des substrats (baisse de la dureté superficielle). L'effet de l'usure par abrasion est visible au niveau de la zone de coupe. Elle se traduit par l'apparition d'un cratère sur la face de coupe et de dépouille et une augmentation du rayon d'acuité des arêtes de coupe. Ce mode d'usure est caractéristique de l'usinage des composites mais aussi du titane.

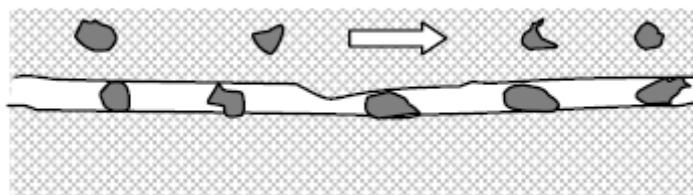


Figure 36 : Mécanique d'usure par abrasion

IV.1.3.5- Usure par oxydation

La matière de la pièce qui passe dans l'outil est constamment « régénérée » et la surface de l'outil est de même toujours renouvelée. Ces surfaces sont exposées à une oxydation permanente d'autant plus active que la température est élevée. Il en résulte un cratère régulier au niveau de la face de coupe, sans déformation plastique.

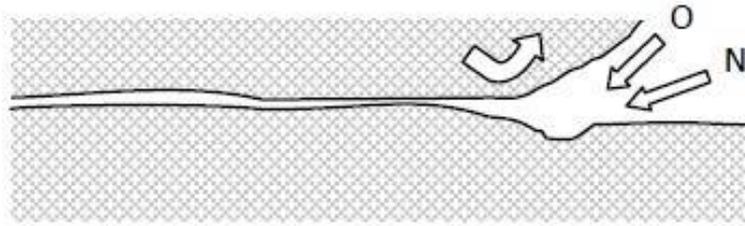
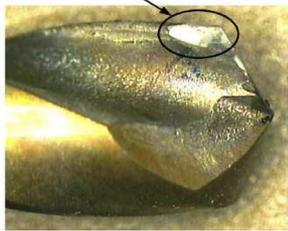
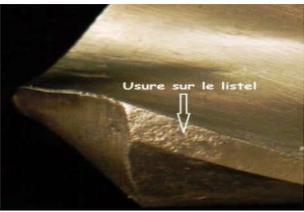
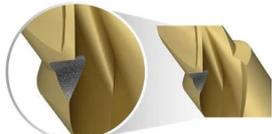


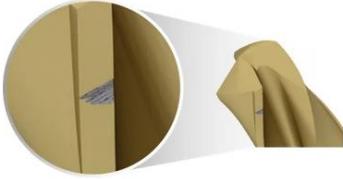
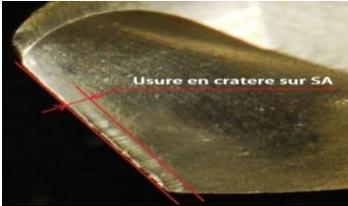
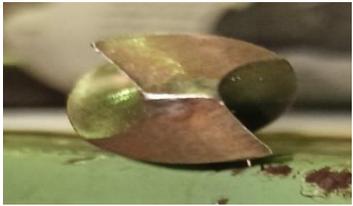
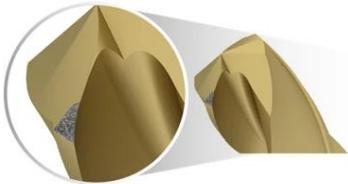
Figure 37 : Mécanisme d'usure par oxydation

IV.1.4 – Zone d'usure sur la partie active de foret

Les parties actives du foret, en contact avec la pièce ou le copeau s'usent. On peut distinguer plusieurs types d'usure des forets en HSS :

Tableau 4 : Zone d'usure sur la partie active de foret

| Usure | Figure | Causes | Remèdes |
|-----------------------------|---|---|---|
| Ecaillage des coins |  | <ul style="list-style-type: none"> -La pièce bouge lors de l'entrée du foret (ex: Serrage de la pièce non optimal) -Lubrification insuffisante -Défaut de concentricité trop important | <ul style="list-style-type: none"> -Contrôler le serrage de la pièce (vérifier le jeu de la broche) -Contrôler la lubrification centrale -Optimiser la concentricité |
| Ecaillage des listels |  | <ul style="list-style-type: none"> -Instabilité de la pièce -Erreur de manipulation | <ul style="list-style-type: none"> -Contrôler le serrage de la pièce, contrôler la stabilité de l'outil -Veiller à ne pas entrechoquer les outils lors de leur manipulation |
| Ecaillage de la zone étagée |  | <ul style="list-style-type: none"> -Stabilité d'usinage insuffisante -Force et qualité de serrage de l'outil non optimales | <ul style="list-style-type: none"> -Contrôler le dispositif de serrage -Utiliser des mandrins plus précis |

| | | | |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Rupture des listels |  | <ul style="list-style-type: none"> -La pièce bouge lorsque le foret débouche "micro vibrations" -Lubrification insuffisante | <ul style="list-style-type: none"> -Contrôler le serrage de la pièce -Vérifier la qualité de lubrification, augmenter le débit de lubrifiant |
| Rupture de l'arête principale |  | <ul style="list-style-type: none"> -Conditions d'usinage instables -Coupes interrompues -Degré maximal d'usure dépassé | <ul style="list-style-type: none"> -Optimiser le serrage de la pièce ou de l'outil -Réduire l'avance -Changer l'outil plus précocement |
| Usure en cratère |  | <ul style="list-style-type: none"> -Vitesse de coupe trop faible -Lubrification insuffisante | <ul style="list-style-type: none"> -Augmenter la vitesse de coupe -Améliorer la lubrification |
| Ecaillage de la pointe |  | <ul style="list-style-type: none"> -Avance trop faible -Foret excentré | <ul style="list-style-type: none"> -Augmenter l'avance -Concentricité < 0,02 mm |
| Usure excessive des arêtes |  | <ul style="list-style-type: none"> -Vitesse de coupe trop élevée -Avance trop faible -Lubrification insuffisante -Perçage avec coupe interrompue en sortie | <ul style="list-style-type: none"> -Réduire la vitesse de coupe -Augmenter l'avance -Améliorer la lubrification (concentration plus élevée, meilleur débit, position de la buse?) -Contrôler la sortie de perçage |
| Usure excessive de l'arête de coupe |  | <ul style="list-style-type: none"> -Vitesse de coupe trop importante -Lubrification insuffisante -Foret excentré | <ul style="list-style-type: none"> -Réduire la vitesse de coupe, augmenter l'avance -Augmenter la lubrification -Concentricité < 0,02 mm |

IV.2- Phénomène de l'arêtes rapportées

IV.2.1- Introduction

L'arête rapportée altère la géométrie de l'outil et participe à la détérioration de la micro géométrie des arêtes tranchantes. Les formes et les dimensions de celle-ci évoluent très rapidement pendant la coupe et les forces de frottements entre outil et pièce provoquent la rupture périodique. Ces particules sont écrasées sur la surface travaillée et se transforment en paillettes qui se stratifient par-dessus les arêtes et les creux des aspérités pour augmenter la rugosité finale

IV.2.1- Cause

- Vitesse de coupe trop faible et température trop basse de l'arête de coupe
- Biseau négatif trop grand

Pas de revêtement

IV.2.3- Action

- Si l'arête rapportée est au centre, augmenter la vitesse de coupe
- Si l'arête rapportée est à la périphérie, réduire la vitesse de coupe
- Arête de coupe plus vive
- Revêtement de l'arête

S'il est impossible d'éviter complètement la zone d'arête rapportée, calculer une vitesse de coupe qui la positionne sur la partie la plus résistante du foret (50% du diamètre).



Figure 38 : Arête rapportée sur la surface en dépouille

IV.3- Bavure

Comme pour la majorité des opérations d'usinage, le perçage d'un trou débouchant peut entraîner la formation d'une bavure sur la face inférieure et parfois supérieure de la pièce. Le terme bavure signifie Figure 18 un surplus involontaire de matière souvent de très faible épaisseur qui n'existe pas avant le perçage, c'est une petite lamelle de métal très déformée restant attachée au bord du trou. La plupart des problèmes liés à la bavure sont causés par la bavure inférieure. Ces problèmes sont très variables : du mauvais alignement pour les assemblages, réduction de la durée de vie en fatigue (causée par le comportement de la bavure comme un point d'initiation d'une fissure) et des sérieuses dégradations dans les pièces en mouvement. Pour ces raisons il est préférable d'éviter ou de minimiser les bavures, sinon une opération supplémentaire d'ébavurage s'avère parfois nécessaire. La forme et la taille de bavure dépend de plusieurs paramètres : par exemple la matière percée et les conditions de coupe.

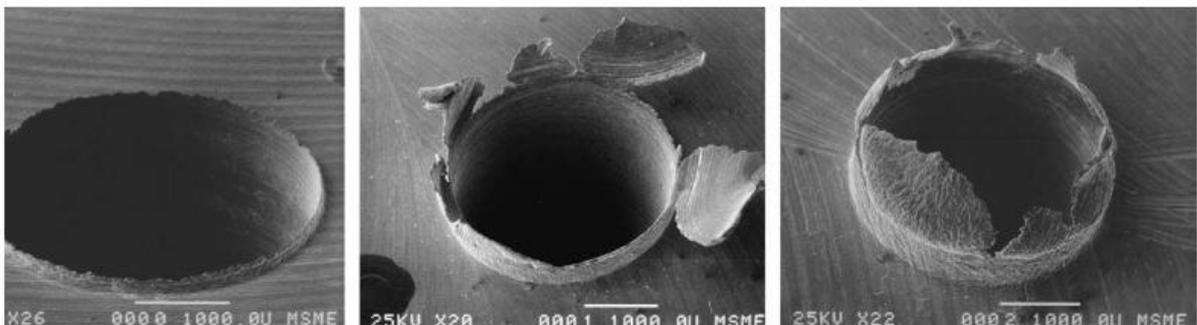


Figure 39 : Trois types de bavure de L'AISI 4118, de gauche à droite : bavure uniforme, bavure transitoire et bavure en forme d'une couronne

Plusieurs chercheurs ont étudié ce phénomène afin de comprendre et de contrôler la formation des bavures. Cependant aucun modèle analytique ou empirique n'est capable de résoudre efficacement ce problème. En effet la complexité de l'opération du perçage et les nombreux paramètres qui gouvernent la formation de la bavure rendent la modélisation difficile.

IV.4- Récupération du forets usés

Nous devons être en mesure de réaliser un affûtage d'entretien qui consiste en de légers enlèvements de matière pour corriger l'usure normale des tranchants. Cela prolonge la durée

opérationnelle de l'outil et diffère d'autant le nécessaire recours à un centre d'affûtage spécialisé.

IV.4.1 - Affûtage

L'affûtage de l'outil correspond à la géométrie de la zone centrale de l'outil où se rejoignent les différentes arêtes de coupe. Il existe de très nombreux types d'affûtages résultant des d9+85.

Différentes opérations d'usinage réalisées sur la pointe de l'outil lors de sa phase de fabrication.

IV.4.2- Comment affûter des forets hélicoïdaux ?

➤ **Affûtage manuel**

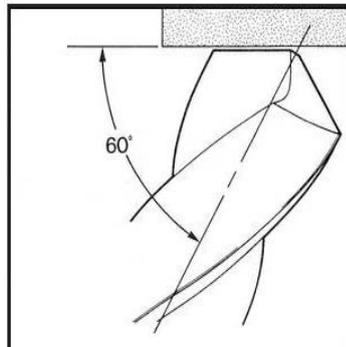


Figure 40 : Affûteuse

1- Tenez le foret de sorte que la face de coupe soit parallèle à la surface de la meule.



2 - Mettez lentement le foret en contact avec la pierre à meuler. Gardez la mèche aussi droite que possible, sans la faire tourner. Nous n'essayons pas de reproduire l'angle d'origine du tranchant d'usine. Au lieu de cela, nous créons une nouvelle face de coupe plus plate.



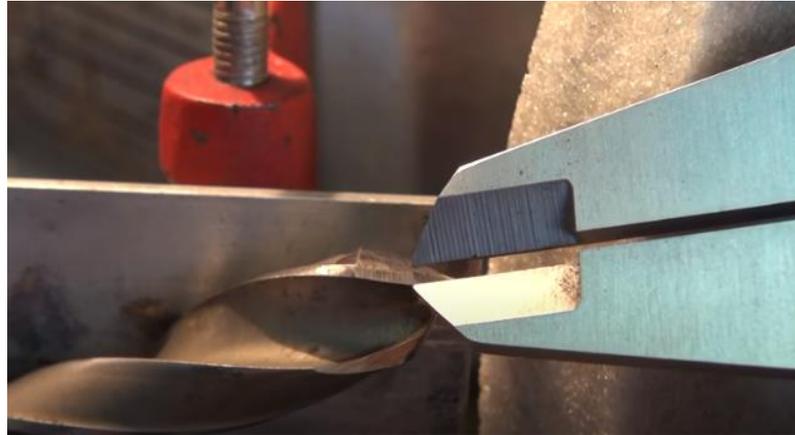
3 - Lorsque vous affûtez les forets, le métal est enlevé et l'acier commence à chauffer. Dans ce cas Trempez la mèche dans l'eau pour refroidir l'arete tranchante.



4 - Dès que l'angle devient tranchant, faites tourner le foret d'un demi-tour et commencez à affûter l'autre face de coupe. Plus vous pouvez meuler uniformément les deux bords, plus le foret sera performant.



5 - Lorsque les deux bords sont nets, vérifiez s'ils ont la même largeur. Regardez l'extrémité du foret. Les deux arêtes de coupe doivent presque se rencontrer pour former un point au centre de la pointe du foret. Il y aura une courte ligne centrée entre les deux.



➤ **Affûtage avec supporte d'affûtage de foret**



- 1- Bride
- 2 - Glissière
- 3 - Vis d'avance
- 4 - Réglage de glissière
- 5- Pivot
- 6 - Vis de tension
- 7- Rainure
- 8 - Vis de réglage d'angle
- 9 - Doigt de guidage.

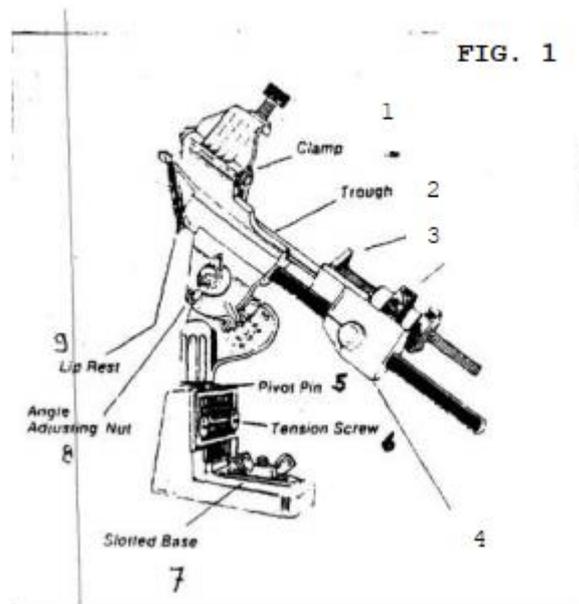


Figure 41 : supporte d Affûtage de foret

• Montage de la supporte d'affûtage de foret

Pour un montage stable est recommandé sur une table. L'affûteur est positionné au bon angle par rapport à la meule. Le nez de la glissière devra être proche la meule. Le goujon devra se situer à environ 60 mm de la face de la meule.

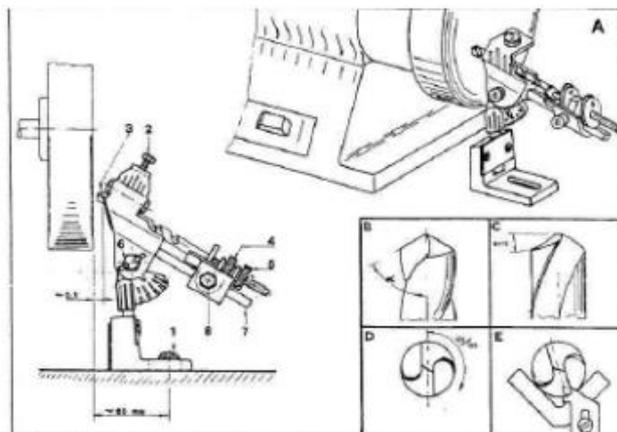
• Instructions

- 1- Pour enlever la glissière et la base, dévisser l'écran d'ajustage
- 2- Placer le foret dans la glissière, ajuster le doigt de guidage pour qu'il soit légèrement derrière l'angle de coupe de foret, (F2).
 - ✓ Ajuster l'extension, pour bien tenir le foret en position en tenant compte du dépassement du foret.
 - ✓ Serrer la bride et le doigt du guidage.

| Angle de pointe | Dégagement | Usage |
|-----------------|------------------------|-------------------------------------|
| 88° | 1.60 mm | Tôles matériaux très durs |
| 68° | 1/2 du dia du foret | Grosse production |
| 59° | 1/2 du dia du foret | Travaux courants |
| 49° | 1 fois le dia du foret | Matériaux doux (cuivre, bois...) |
| 41° | suivant demande | Lamage, bois, fibres... |

Figure 42 : dégagement du foret

- 3- Ajuster l'indicateur d'angle à l'angle de pointe désiré.
 - 4 - Utiliser la base rainurée pour déplacer l'ensemble sur une surface plane vers la meule.
 - 5- En rectification, effectuez un travail de droite à gauche grâce au pivot.
 - 6 - Donner l'avance au foret grâce à la vis d'avance.
 - 7- Pour affûter l'autre lèvre du foret pivoter l'attache, desserrer la bride, tourner le foret jusqu'à ce que l'arête de coupe repose sur le doigt de guidage, et resserrer la bride.
 - 8 - Ne pas changer les réglages quand vous effectuez l'autre lèvre du foret.
- Pour l'affûtage de mèches de 3 à 18 mm de diamètre à l'aide d'une meule verticale :



- 1) Placée l'ouverture d'angle au moyen de l'écrou à ailette (6)
- 2) Libérer la vis (2)

- 3) Dégager le guide (8) au moyen de la vis et laisser le contre écrou (4) entièrement libre
Placer la mèche de manière à ce que la pointe se pose au-delà de l'extrémité (3) (vo Fig. □
Fixer la vis (8) et serrer la vis (2) d'une manière à ce que la mèche puisse encore être engagée vers l'avant.
- 4) Monter l'affûteuse sur l'établi à une distance de 0.5 mm de la meule.
- 5) L'écrou de blocage (5) étant entièrement dégagé, faire tourner la meule. Avec l'écro réglable (4) tourner lentement la mèche contre la meule, ensuite actionner en tourner l'axe mobile alternativement vers la gauche et vers la droite. Dès lors engager la mèche plus avant en tournant lentement à l'aide de l'écrou réglable (4) (jusqu'à ce que la mèche soit affûtée correctement). Tout ceci doit être exécuté très lentement de façon à éviter i surchauffe de la mèche.
- 6) Fixer l'écrou (5) la vis (2) dégagée, enlever la mèche et desserrer le contre écrou (4)
Répéter l'opération décrite ci-dessous sans touches l'écrou de blocage (5). De cette manière la mèche sera affûtée correctement des deux côtés.

➤ **La machine OTMT DRILL GRINDER**



Figure 43 : machine à affûter les forets hélicoïdaux OTMT DRILL GRINDER

• Mode de fonctionnement

A - Comment utiliser le porte-pince ER

- 1) Monter la pince ER dans l'écrou de blocage.
- 2) Insérer le foret dans la pince ER.
- 3) Assembler l'écrou de blocage portant la pince avec le porte-pince ER.

• Positionnement du foret pour affûtage

- 1) Déterminer le diamètre du foret
- 2) Régler la molette de l'indicateur sur le diamètre du foret
- 3) Insérer le porte-pince dans le système de vérification. Le méplat du porte-pince se positionnera par rapport à la goupille du système.
- 4) Tourner le porte-pince vers la droite.
- 5) Pousser le foret en butée. Tourner le foret vers la droite. Serrer l'écrou de blocage.
- 6) Retirer le porte-pince et s'assurer que l'âme du foret est bien parallèle avec les méplats du porte-pince.?

• Comment affûter la pointe du foret

- 1) Insérer le porte-pince (sur lequel on aura préalablement monté la pince et le foret) dans le dispositif d'affûtage de la pointe. Le méplat du porte-pince se positionnera par rapport aux 2 goupilles.
- 2) Pousser le foret afin qu'il entre délicatement en contact avec la meule CBN.
- 3) Affûter la pointe du foret en le faisant pivoter à gauche et à droite jusqu'à arrêt des bruits de meulage.
- 4) Retourner le porte-pince afin d'affûter l'autre côté de la pointe comme décrit ci-dessus.

• Comment amincir l'âme du foret

- 1) Insérer le porte-pince (sur lequel on aura préalablement monté la pince et le foret) dans le dispositif pour amincir l'âme. Le méplat du porte-pince se positionnera par rapport aux 2 goupilles.

- 2) Pousser le foret afin qu'il entre délicatement en contact avec la meule CBN.
- 3) Affûter le foret en le faisant pivoter à gauche et à droite. Vérifier.
- 4) Retourner le porte-pince afin d'amincir l'autre côté de l'âme. Attention : il n'est pas nécessaire d'affûter la pointe des forets dont le diamètre est inférieur à 3 mm.



Sens de montage de la pince dans le porte pince composé de deux parties (en noir)



Pince montée dans le porte pince



Placer le foret correspondant au diamètre de la pince utilisée et reserrer les deux parties du porte foret



Réglage du diamètre de foret à affûter



Positionnement du foret avant affûtage



Réglage d'angle et affûtage de la pointe du foret

IV.5- Conclusion

Quoi que l'étude du phénomène de l'usure des outils de coupe soit pavée d'une grande complexité par l'intervention de plusieurs phénomènes qui en régissent, il demeure d'un énorme intérêt par les résultats intéressants qu'il porte à la technologie de la coupe des métaux.

Cette étude nous a permis d'enrichir nos connaissances et contribuer à donner un plus dans ce domaine.

Après une recherche bibliographique, nous sommes arrivés à définir et à décrire les méthodes ainsi que les critères permettant d'évaluer et de caractériser le phénomène de l'usure des outils de coupe et comme cas particulier celui des forets hélicoïdaux au quel nous sommes intéressés.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Foret>

<https://www.rocdacier.com/cours-sur-le-percege/>

Mohamad JRAD, Modélisation du perçage à grande vitesse : Approches analytique, numérique et expérimentale 9 Novembre 2007

R. LOUD WEIL : Optimisation des opérations d'usinages à l'aide de modèles Journée d'études. Pp 26-30 1971.

http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/bahloul_elhachemi/files/tp_n_3_percege.pdf

le livre de : la machine outil III.AR.METRAL par Y.Renard

Sandvik Coromant ; "Perçage"; Techniques de l'ingénieur ; 2001 ; pp. BM 7 088-1, BM 7 088-20

<http://metaluver.wifeo.com/documents/Le-perage.pdf>

<https://www.ajol.info/index.php/srst/article/view/135874/125370>

<https://www.4mepro.com/content/240-tout-sur-le-foret-de-percege-modeles-affutages-matieres-normes>

<https://123bricolage.fr/comment-affuter-un-foret/>

<http://www.ideesmaison.com/Bricolage/Fiches-bricos/Bois/Techniques-et-methodes/Le-percege-du-bois/Affutage-entretien-1-2.html>

<https://www.tormek.com/france/fr/connaissance-inspiration/affutage-des-forets/>