



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE «Abbès LAGHROUR» DE KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE



Département de Génie Mécanique

N° de série :

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité: Génie Mécanique

Option: Génie Des Matériaux

Etude des paramètres de coupe d'un alésoir cylindrique

Réalisé par : - Bourakba amina
- farid djeffali

Dirigé par : Dr. Chermime Brahim

Membres de jury :

- M. fellah mamoun MCA Président
- M. Himeur Nabile . MAA Examineur
- Chermime Brahim MCB Encadreur

Présenté le : 21 juin 2018

SOMMAIRE :

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : LES ALESOIRS

Introduction I. 1.....	4
------------------------	---

I.2 Les types d'alesoirs.....	4
-------------------------------	---

I.2.1. Comment bien choisir un alésoir ?.....	4.
---	----

I.2.2 alésoirs machine.....	6
-----------------------------	---

I.2.3 alésoirs carbure offrent les avantages suivants	6
---	---

I.2.4 Alésoirs avec forme spéciale.....	6
---	---

I.2.5 Précautions de rangement.....	6
-------------------------------------	---

I.2.6 Coupe interrompue.....	8
------------------------------	---

I.2.7 Alésoirs réglables et expansibles.....	8
--	---

I.2.8 Précision de positionnement d'alésage.....	8
--	---

I.3 Les matériaux pour l'outils de coupe	9
--	---

I.3.1.1 Aciers rapides au tungstène.....	9
--	---

II.3.1.2 Aciers rapides au molybdène.....	9
---	---

I.3.1.3 Aciers rapides surcarbures	11
--	----

I.3.1.4 Aciers rapides resulfurés.....	13
--	----

I.3.1.5 Aciers rapides élaborés par métallurgie des poudres	13
---	----

I.3.2 Traitements de surface (diffusion et revêtements durs)	14
--	----

I.3.2.1 Nitruration.....	15
--------------------------	----

I.3.2.1.1 Nitruration en bain de sels (parfois appelés cyanuration)....	15
---	----

I.3.2.1.2 Nitruration ionique.....	16
------------------------------------	----

I.3.2.2 Steam Homo.....	16
-------------------------	----

I.3.2.3 Revêtement dur	17
I.3.2.3 Essais en laboratoire sur la capacité de cupe	18
I.3.2.4 Applications	19
I.3.3 Carbures métalliques :	19
I.3.3.1 Carbures métalliques sans revêtement	19
I.3.3.2 Carbures métalliques avec revêtement	20
I.3.4 Céramiques	21
D'autres céramiques sont également employées	21
I.3.5 Cermets	23
I.3.6 Diamant	24
I.6.1 Diamant naturel	24
I.3.6.2 Diamant synthétique	24
I.3.6.3 Mise en œuvre des diamants	25
I.3.6.4 Utilisation dans l'usinage	26
I.4. Conditions de coupe	26

CHAPITRE II : REALISATION DES ALESAGES

Introduction II.1	28
II.2.Réalisation d'un alésage	28

II.2.1. Définition des termes	28.
II.2.2.-Alesage trop grand.....	28
II.2.1.3.-Alesage trop petit.....	29
II.2.1.4.-Alesage devient conique.....	29
II.2.1.5-Etat de surface de mauvaise qualité.....	29
II.2.1.6.-Erreur d'alignement.....	29
II.2.1.7-Alesage avec des facettes.....	29
II.2.1.8-L'outil se grippe et se casse.....	30
II.2.1.9-L'alesage est rayé.....	30
II.1.3. Avant perçage	30
II.1.3.1 Le mode opération	31
II.3. Le perçage.....	31
II.3.1. Le foret.....	33
II.3.1. Les caractéristiques nominales du foret sont	36
II.3.2. Différents types des forets monoblocs.....	38
II.3.3. Éléments de la géométrie du foret.....	40
 Chapitre III traitement thermique	
Introduction III.1.....	45
III.2. Traitement thermique :.....	45
III.2.1. Gamme de traitements thermique Prétraitements.....	47
III.2.1.1 Recuit complet.....	47
III.2.1.2 Recuit de détente.....	48
III.2.1.3. Pré trempe.....	48
III.2.1.4. Recuit d'homogénéisation.....	48
III.2.2. Traitements de durcissement Austénitisation : montée en température.....	49
III.2.2.1. En four à moufle.....	49

III.3.2.2.En bain de sel.....	50
III.2.2.3.En four sous vide.....	50
III.2.2.4.En lit fluidisé.....	50
III.3.Austénitisation : température et temps de maintien.....	50
III.3.1.Trempe : milieux de refroidissement.....	51
III.3.1.1.La trempe à l'air.....	51
III.3.2.La trempe en four sous vide	51
III.3.3.La trempe à l'eau ou à l'huile	52
III.3.4La trempe par étape en bain de sel ou en lit fluidisé	52
III.4.Revenu.....	54
III.5.Traitement par le froid.....	55
III.6. Traitements superficiels.....	55
III. 7. Traitement de détente.....	59
III. 8.Problèmes posés par les déformations.....	60
III.9.Moyens d'action sur les changements de forme.....	60
III. 10.1Contraintes résiduelles.....	60
III. 10.2.Dans les équipements de chauffage.....	60
III. 10.3.Limitation des gradients thermiquesMoyens d'action sur	
les changements de volume.....	61
III.1.10.4.Tapures.....	64
III.2.Technique de Sablage.....	66
III.2.1. Procéder	66
III.2.2.Procédés de sablage	67
III.2.3Domain d'application	67
III.2.4.Dangers potentiels	67
III.2.5.Supports	67
III.2.6Agents de sablage	67
III.2.7.Granulations	67
III.2.8.Conditions cadre.....	67

III.2.9.Réception	68
III.3.Contrôle de dureté	69
III.3.1Mesure de la dureté	69
CONCLUSION GENERALE	73
RESUME	75

Liste des figures :

CHAPITRE I

Figure .I. 2 : Alésoir à main conique	5
Figure .I. 3: Alésoir Expansible	5
Figure. 4: Alésoir à lames, à réglage rapide.....	5
Figure.I.5 : Alésoir machine à plaquettes carbure rapportées	6
Figure.I.6: Alésoir machine à coupe descendante	7
Figure.I.7: Alésoir machine à coupe frontal	7
Figure.I.8: Alésoir machine, avec ébaucheur à plaquettes CW rapportées	7
Figure.I.9 : Comparaison de matériaux de coupe	7
Figure.I.10 : Dureté des matériaux constituant l'arête de coupe	10
Figure.I.11 : Dureté de quelques aciers rapides sur carbures en fonction de température.....	10
Figure.I.12 : Outils à plaquettes amovibles (document safety).....	11
Figure.I.13 : Céramiques.....	21

CHAPITRE II

Figure.II.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	32
Figure .II.2. Vitesse de rotation et d'avance	33
FigureII. 3. Foret hélicoïdal classique ou conventionnel à queue conique, sa pointe est caractérisée par deux arêtes principales et une arête centrale rectilignes, l'exemple choisi est un peu ancien, on n'utilise plus ce genre de foret.....	34
Figure II.4. Angle au sommet ou de pointe $2p$ et angles d'hélice à différents points de l'arête de coupe.....	35
Figure II.5. Différents types de forets	36
Figure II.6. Evaluation de coût des pièces avec les différents types de forets.....	37

Figure II.7. (a) Différents types de foret , (b) Les opérations réalisées avec des forets étagés	39
Figure II.8. Différents types de la goujure : de gauche à droite on aperçoit la goujure conventionnelle, la goujure avec une épaisseur d'âme importante puis deux exemples de la goujure parabolique.....	40
FigureII. 9. Foret avec une pointe conventionnelle, avec angle réduit et à double angle.....	41
Figure II.10. Quelques exemples de pointes du foret.....	43

CHAPITRE III

FigureIII. 1 – Limites de température à atteindre en chauffage continu pour obtenir une austénite homogène avec un acier du type Y 42 CD 4 à partir de différents états structuraux.....	53
FigureIII. 2 Temps de refroidissement nécessaire pour atteindre 500 °C dans le cas de cylindres en acier de différents diamètres, trempés à l'air à partir de 1 000 °C.....	53
FigureIII.3 Durée de maintien nécessaire pour homogénéiser la température de cylindres en acier de différents diamètres, lors de la trempe par étape en bain de sel à 200 et 500 °C depuis environ 1 000 °C.....	54
FigureIII.4 Déformée d'un cylindre en acier peu allié à 0,15 % de carbone de 200 mm de long et de diamètre 90 mm après trempe à l'eau Incidents au traitement thermique et remèdes.....	63
FigureIII.5 Représentation schématique de l'état des contraintes à l'intérieur d'un bloc d'acier après trempe à l'eau pour obtenir l'effet de durcissement.....	65
Figure.III.6 : Principaux indenteurs	69

Liste des tableaux :

Tableau I. 1 : Composition chimique des principe des matériaux.....	12
Tableau I.2 : Comparaison des caractéristiques d'emploi des nuances les plus courantes d'aciers rapides (en unités arbitraires).....	13
Tableau I.3 : Composition chimique moyenne des principales nuances d'aciers rapide sélaborés par la métallurgie des poudres commercialisées en France.....	14
Tableau I.4 : Comparaison des propriétés de certains revêtements.....	22
Tableau I.5 : Comparaison des propriétés physiques et du ratio $N/(C+N)$ des cermets et des carbures de coupe	21
Tableau I.6 : Céramiques utilisées pour les outils de coupe	22
Tableau N°7 : Comparaison des propriétés physiques et du ratio $N/(C+N)$ des cermets et des carbures de coupe	25
Tableau.III .1 – Opérations de fabrication des outils en acier.....	44
Tableau.III.2 – Problèmes posés par les déformations au traitement thermique des aciers à outils : principaux paramètres et moyens d'action.....	59

Introduction Générales

L'usinage à grande vitesse tient une part prépondérante dans l'industrie et la recherche scientifique mondiale. La mise en forme des métaux par usinage représente en moyenne 3 % du PIB des pays développés. Elle concerne de nombreux domaines d'activités tels que l'automobile, l'aéronautique, ou l'électronique. L'usinage s'impose naturellement comme un axe majeur de recherche puisque chacun des composants de l'usinage (machine, outil, matière à usiner) est en constante évolution.

D'un côté, les sidérurgistes développent des aciers ayant des résistances mécaniques de plus en plus élevées. Ces aciers à très haute résistance permettent, par exemple, aux industries automobiles de réduire les épaisseurs utiles et ainsi de diminuer le poids des véhicules et la consommation d'essence. Parallèlement, de nouvelles problématiques / axes de recherche apparaissent. En effet, pour mettre en forme, découper ou souder ces nouveaux aciers, il est nécessaire de développer de nouvelles machines plus puissantes ou des outils plus résistants.

Alors que le maître mot dans l'économie actuelle est « réduction des coûts », il n'est pas concevable que chaque industriel voulant utiliser de nouveaux aciers ait besoin de réaliser des campagnes d'essais se révélant très onéreuses. Pour palier à ces besoins, les chercheurs de tous domaines développent ce que l'on appelle des modèles prédictifs. Dans le domaine de l'usinage, ces modèles permettent, entre autres, de déterminer les conditions de coupe optimales pour un couple outil-matériau, de prédire l'énergie nécessaire à la découpe, ou encore l'usure des outils en fonction des paramètres matériaux et procédés. Trois différentes approches ont été développées depuis une soixantaine d'année afin de modéliser les procédés de coupe : l'approche mécanistique, les méthodes numériques et les modèles analytiques.

L'approche mécanistique est utilisée pour définir des modèles simples basés sur des observations expérimentales. Les lois physiques sont dans ce cas remplacées par des considérations phénoménologiques, calibrées à partir d'essais expérimentaux. Il s'avère en outre que ce type d'approche (dans le cas de l'usinage) est intrinsèquement lié au couple outil-matière étudié et nécessite de nombreux essais expérimentaux.

Notre travail est axé sur les conditions de coupes à respecter pour un alésoir cylindrique, ceci pour éviter l'usure de l'outil.

Le contenu de ce travail est divisé en quatre chapitres répartis comme suit :

- le premier chapitre consacré aux types des alésoirs.
- le deuxième chapitre sur les opérations réalisées par les alésoirs.
- dans le troisième chapitre nous avons entamé les traitements thermiques des alésoirs.

INTRODUCTION GENERALE

Perspective :

Pour entourer le sujet des alésoirs, nous proposons dans le futur de faire une étude tribologique de l'alésoir.

Les approches numériques modélisant les procédés de coupe sont de plus en plus utilisées ces dernières années. L'évolution permanente des machines de calcul, le développement de méthode numériques avec remaillage automatique ou sans maillage, permettent de réduire considérablement les temps de calcul pour des opérations de coupe simples. Néanmoins, des problématiques subsistent toujours, telles que la prise en compte du frottement à l'interface outil-copeau ou la modélisation de procédés industriels complexes.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction I. 1

Dans ce chapitre nous avons présenté les types des alésoirs et les propriétés de chaque type, et aussi nous avons présenté les matériaux utilisés pour les alésoir, chaque un avec ces propriétés, enfin on a déterminé les conditions de coupe pour cette outil.

I.2 Les types d'alésoirs

L'alésoir est le plus commun des outils de finition, utilisé pour obtenir une bonne géométrie avec une tolérance serrée et un état de surface de qualité supérieure. L'état de surface obtenu est généralement d'un niveau de qualité „finition“ ou „finition fine“ d'environ Ra 0,2 à 6,5 μm suivant DIN 4766. Toutefois Ra 0,5 μm est déjà un bon résultat. La valeur de tolérance est généralement IT 7, mais des tolérances comme IT 6 ou même IT 5 peuvent être réalisées avec des alésoirs spécialement rectifiés pour des cas particuliers ou lorsque les conditions d'usinage permettant d'obtenir de telles qualités sont respectées.

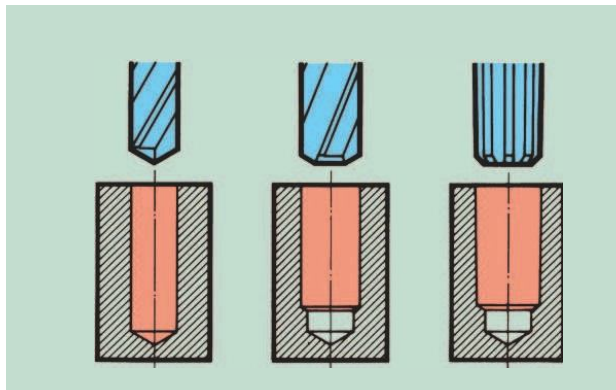


Figure 1.1 : dessin peuug

Avant d'aléser, il faut percer un trou avec un foret et en suite usiner avec le foret aléseur afin de pouvoir terminer l'alésage avec l'alésoir (fig 1). Les perçages obtenus en forage sont difficiles à aléser car la matière est superficiellement écrouie. D'autre part les perçages réalisés par le forage, c'est-à-dire avec des forets 1 lèvre sont déjà de qualité supérieure et ne nécessitent plus un alésage supplémentaire. Nous pouvons vous donner plus de renseignements à ce sujet. N'hésitez pas à nous contacter.

I.2.1.Comment choisir un alésoir ?

En fonction de leurs applications, nous distinguons les :

- alésoirs à main

CHAPITRE I : LES ALESOIRS

- alésoirs machine
- alésoirs à main

Alésoirs à main sont entraînés manuellement par leur carré d'entraînement dans les perçages à aléser, avec un tourne-à-gauche où il est nécessaire d'exercer des forces axiales afin de faire pénétrer l'alésoir. (fig 2) Ces alésoirs sont en HSS, à cause de leur faible valeur de coupe. Pour assurer un meilleur guidage de l'outil, l'entrée de ces alésoirs est assez longue par rapport aux alésoirs machine. Il existe des alésoirs à main cylindriques et coniques.

Les alésoirs expansibles au milieu suivant DIN 859 peuvent être réglés jusqu'à la limite de l'élasticité des aciers rapides, c'est-à-dire environ jusqu'à 1 % du diamètre, par ex : 0,10 mm pour un alésoir de 10 mm de diamètre. Ces alésoirs sont assez fragiles, c'est pourquoi il faut éviter les chocs et débloquer la vis de réglage après l'alésage.

Les alésoirs à réglage rapide peuvent se dilater jusqu'à plusieurs mm. Pour plus de précisions, il est nécessaire de les régler à l'aide d'une bague étalon.

Règle de base pour les alésoirs à main : ne tourner que dans le sens de la coupe, par conséquent jamais dans le sens contraire comme par exemple les tarauds, car les arêtes de coupe se détérioreraient tout de suite.



Figure . I.2 : Alésoir à main conique



Figure. I.3 : Alésoir expansible



Figure.I.4 : Alésoir à lames, à réglage rapide

I.2.2 Les alésoirs machine

Les alésoirs machine, comme leur nom l'indique, ne peuvent être utilisés que sur des machines. Selon les conditions de coupe, les alésoirs sont en acier rapide, carbure monobloc ou carbure à plaquettes rapportées (fig. 5). Ici aussi et sans exception, le choix de l'alésoir dépend de la matière à usiner.



Figure .I.5 : Alésoir machine à plaquettes carbure rapportées

I.2.3 Les alésoirs carbure offrent les avantages suivants :

- Vitesse de coupe et d'avance supérieures
- Usinage économique des matières > 1200 mm² de résistance.
- Longévité de l'outil supérieure à celle des alésoirs en HSS-E.

I.2.4 Les Alésoirs avec forme spéciale

Les Alésoirs avec forme spéciale et tolérances spéciales sont de plus en plus demandés. Leur fabrication demande un grand savoir-faire et des machines modernes. Nous avons

Les machines et le savoir-faire pour fabriquer les outils, même les plus complexes, de manière économique. Nos ingénieurs sont là pour vous aider, pour solutionner votre cas d'usinage particulier avec un outil de conception optimale.

Une autre différence pour les alésoirs à main comme pour les alésoirs machine est la géométrie de la partie coupante. Les plus usuels et standardisés sont :

- alésoirs à goujures droites
- alésoirs à goujures hélicoïdales, à gauche
- alésoirs à coupe descendante (45°) goujures à gauche

Les alésoirs à goujures hélicoïdales à droite sont assez peu utilisés, ils dégagent les copeaux vers l'arrière, ce qui donne un état de surface de l'alésage insatisfaisant.

Les alésoirs à goujures droites s'utilisent surtout pour les alésages borgnes, car les copeaux n'ont pas de place au fond du perçage et restent dans les goujures avant d'être retirés

CHAPITRE I : LES ALESOIRS

de l'alésage. Pour tous les autres cas d'usinages spécialement pour les coupes interrompues (rainures de perçage perpendiculaires, inclinées ou autres) il est conseillé d'utiliser des alésoirs à goujures hélicoïdales à gauche qui poussent les copeaux vers la sortie. D'ailleurs ces alésoirs s'utilisent pour les trous débouchant comme pour les trous borgnes, s'il y a assez de place au fond de l'alésage



Figure.I.6: Alésoir machine à coupe descendante



FigureI.7: Alésoir machine à coupe frontale

Les alésoirs à goujures hélicoïdales à 45° à gauche (fig. 6) sont conçus pour les matières à copeaux longs. Vitesse de coupe et avance plus élevées que pour les autres alésoirs. Pour obtenir un positionnement exact et une rectitude parfaite des alésages profonds, il est conseillé d'utiliser les alésoirs à coupe frontale suivant norme usine (fig. 7). Grâce à la coupe frontale, l'alésoir ne suit pas le perçage mais il le redresse, toutefois cet alésoir doit être guidé par un canon de perçage.



Figure.I.8: Alésoir machine, avec ébaucheur à plaquettes CW rapportées

Pour obtenir un état de surface de qualité supérieure et une géométrie parfaite, nous conseillons l'utilisation des alésoirs d'ébauche et de finition. Les alésoirs machine avec ébaucheur combinent partie ébauche et finition (fig. 8) et assurent l'alésage en une seule opération.

Le cône trop usé des alésoirs coniques, peut facilement être réaffûté ; toutefois il faut détailler chacune des arêtes de coupe.

I.2.5 Précautions de rangement

Les alésoirs sont des outils de finition, ils sont donc très fragiles. Il faut donc absolument les conserver dans leur emballage d'origine pour les transporter et les entreposer. Vous pourrez alors obtenir de bons résultats d'alésages, une longue durée de vie et un Alésages borgnes ou débouchant.

En principe, lorsqu'il s'agit d'aléser des perçages borgnes, l'on utilise des alésoirs à goujures droites. Ainsi, leur géométrie de coupe favorise, à contresens de la coupe, la bonne évacuation des copeaux, en arrière, vers l'extérieur de l'alésage. Toutefois, pour les alésages débouchant, il est recommandé d'utiliser des alésoirs à goujures hélicoïdales à gauche qui elles, évacuent les copeaux vers l'extérieur de l'alésage dans le sens de la coupe.

I.2.6 Coupe interrompue

Lorsqu'il s'agit de perçages à coupe interrompue, il est recommandé d'utiliser des alésoirs à goujures hélicoïdales qui eux, par rapport aux alésoirs à goujures droites, résistent mieux aux interruptions de la coupe car leur taux de portance est plus élevé et ils ont moins tendance à s'accrocher dans les rainurages ou dans les perçages transversaux. Lorsque le diamètre du perçage transversal est $> 0,25 \times D$, il est aussi possible d'utiliser des alésoirs à goujures hélicoïdales dans les alésages borgnes.

Valeur de la surépaisseur dans le perçage avant l'alésage Lorsque la valeur de la surépaisseur du perçage avant l'alésage dépasse la valeur moyenne de 0,20 à 0,30 mm, il est recommandé d'utiliser, ou les alésoirs à coupe descendante, ou les alésoirs de chaudronnerie, voire les alésoirs machine en ce pourvusse bonne tenue de coupe. D'un ébaucheur. Avec ces outils, il est possible d'aléser des perçages avec une surépaisseur beaucoup plus forte, toutefois, de par leur longueur d'entrée très importante et leur grand angle de goujures, il faut éviter leur utilisation dans les alésages borgnes.

I.2.7 Alésoirs réglables et expansibles

Le diamètre des alésoirs expansibles ne peut qu'augmenter. Si le diamètre d'alésage à réaliser est trop important, il n'est plus possible de le diminuer en desserrant la vis de réglage car la précontrainte ne serait plus assurée. Dans la plupart des cas, sans précontrainte, l'outil se casse systématiquement. Ci – des- sous, nous vous démontrons le fonctionnement et les effets de

réglage. Lorsque la précontrainte sur l'álesoir est éliminée, il faut absolument de nouveau ajuster et réctifier l'álesoir.

I.2.8 Précision de positionnement d'álésage

De par la géométrie optimisée de son entrée, l'álesoir à coupe frontale est très souvent la solution idéale pour assurer un alignement précis d'álésage. Ce type d'álesoir ne suit pas le perçage réalisé avant l'álésage. En plus, les álesoirs à coupe frontale sont très souvent utilisés afin de corriger les erreurs d'alignements entre les perçages réalisés et les álésages à réaliser. Sur demande, la Société Hartner réalise des álesoirs à coupe frontale en CW.[1]

I.3 Les matériaux pour l'outils de coupe

Le mérite de l'invention des aciers rapides revient aux Américains Taylor et Whites en 1903, Il est important de souligner que pour chaque nuance d'acier rapide, il existe une limite à la qualification à la matière (par exemple, un outil de fraisage en nuance HS 6-5-2 ne pourra pas usiner dans des conditions d'usinage industriellement viable un acier de dureté supérieure à 350 HB). Malheureusement, il est très difficile d'établir des règles par défaut car ces valeurs dépendent du type d'outil (foret, fraise, álesoir ...) entre autres ; seuls les essais couple outil/matière peuvent mettre en évidence ces limites.

I.3.1 Aciers rapides au tungstène

Le tungstène a été le premier élément d'addition principal utilisé. L'acier de base HS 18-0-1 a été longtemps le plus employé.

C'est en 1912 que l'Allemand Becker proposa l'addition de 5 % de cobalt et créa la nuance HS 18-1-1-5. Le rôle du cobalt est de stabiliser les carbures à chaud. La dureté à chaud s'en trouve donc améliorée et, par conséquent, la capacité à supporter les vitesses de coupe plus élevée.

II.3.2 Aciers rapides au molybdène

Bien que découverts vers 1910, les aciers rapides au molybdène n'ont connu leur développement qu'à partir de 1945, en raison de la pénurie de tungstène durant la seconde guerre mondiale.

CHAPITRE I : LES ALESOIRS

Ce développement tardif est dû au risque de décarburation et de démolibdénisations de ces aciers, tant au cours de leur fabrication qu'au cours des traitements thermiques, ainsi qu'à leur susceptibilité à la surchauffe due à un domaine de température d'austénitisation très étroit.

Alors que les aciers rapides au tungstène peuvent être traités dans des fours à air, les aciers rapides au molybdène nécessitent des traitements thermiques en bains de sel ou en four sous vide.

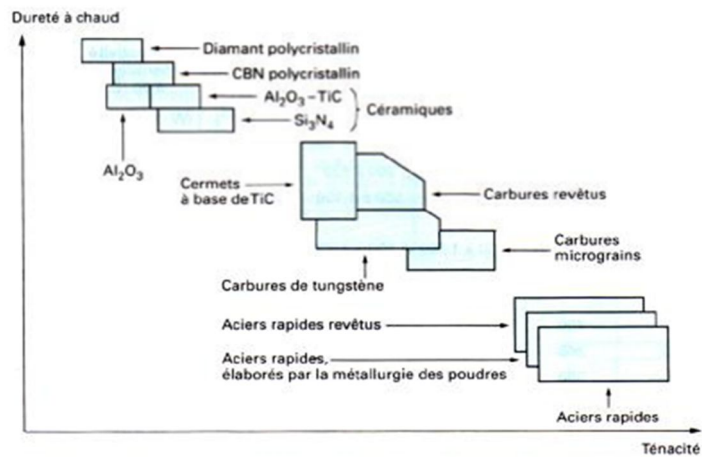


Figure I.10 : Comparaison de matériaux de coupe

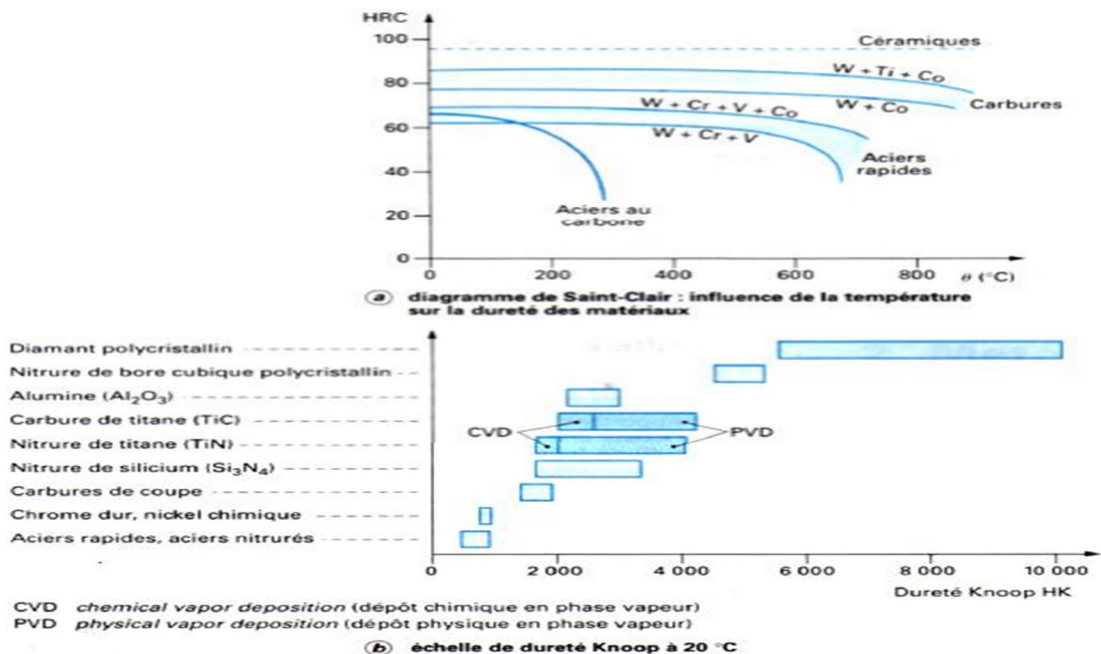


Figure I.11 : Dureté des matériaux constituant l'arête de coupe

CHAPITRE I : LES ALESOIRS

Les avantages des aciers rapides au molybdène par rapport à ceux au tungstène sont importants :

- le molybdène est plus abondant dans la nature que le tungstène;
- le molybdène a une influence double de celle du tungstène sur les capacités de coupe de l'acier: 1 % de molybdène remplace 2 % de tungstène;
- il est possible d'obtenir des duretés plus élevées avec les aciers au molybdène et, à dureté égale, leur résistance aux chocs est supérieure à celle des aciers au tungstène;
- le prix de revient des aciers au molybdène est sensiblement inférieur à celui des aciers au tungstène.

La nuance HS 2-9-1-8 est, actuellement la plus employée des nuances d'aciers rapides à l'exception des outils pour opérations axiales (foret, taraud) pour lesquels la nuance HS 6-5-2-5 est également très employée.

I.3.3 Aciers rapides surcarburés :

Les aciers rapides sur carburés, c'est-à-dire ceux dont la teneur en carbone est supérieure à 1%, permettent d'obtenir des duretés allant jusqu'à 70 HRC soit environ 1035 HV (figure 4). La limite de dureté des matériaux usinables a par suite été reculée. C'est ainsi que l'on peut usiner des aciers jusqu'à 52 HRC (soit environ 550 HV).

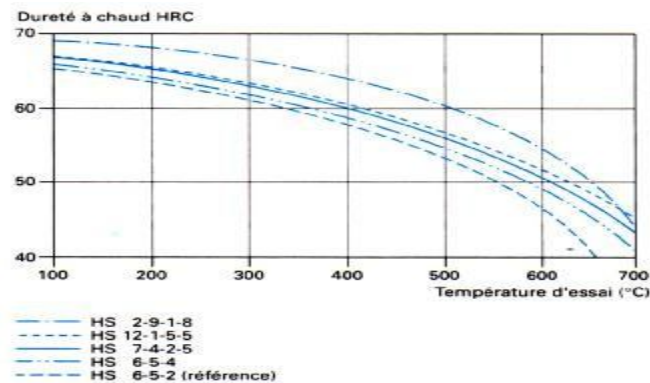


Figure I.12 : Dureté de quelques aciers rapides surcarburés en fonction de la température

Parmi les nuances d'aciers rapides surcarburés les plus employées, citons : HS 6-5-4 ou M4 (AISI) HS 7-4-2-5 ou M41 (AISI) HS 2-9-1-8 ou M42 (AISI) HS 12-1-5-5 ou T15 (AISI).

CHAPITRE I : LES ALESOIRS

A noter que les aciers à teneur en vanadium supérieure à 3% (HS6-5-4 et HS 12-1-5-5) sont très difficiles à rectifier ou à affûter. Les meules au nitrure de bore (type Borazon) se révèlent toutefois efficaces dans ce cas.

Tableau N° 1 : Composition chimique des princi

Désignation de la nuance	Composition chimique (%)						
	AISI	C	Cr	W	Mo	V	Co
EN 10027-1							
Aciers de base							
HS 18-0-1	T1	0,80	4	18	5	1,1	
HS 6-5-2	M2	0,85	4	6	8	2	
HS 2-8-1	M1	0,85	4	2	9	1,2	
HS 2-9-2	M7	1,00	4	2		2	
Aciers surcarburés							
HS 6-5-3	M3	1,20	4	6	5	3	
HS 6-5-4	M4	1,30	4,5	6	5	4	
Aciers au cobalt							
HS 18-1-1-5	T4	0,80	4	18	0,8	1,3	5
HS 18-0-2-10	T5	0,80	4	18	5	1,5	10
HS 6-5-2-5	M35	0,85	4	6		2	5
Aciers au cobalt à haute teneur en carbone							
HS 7-4-2-5	M41	1,10	4	7	4	2	5
HS 2-9-1-8	M42	1,10	4	1,6	9	1,1	8
Aciers sur carburés au cobalt							
HS 12-1-5-5	T15	1,60	4,5	12	0,8	5	5
HS 10-4-3-10	-	1,30	4	9,5	3,6	3,2	10
HS 7-6-3-12	M44	1,30	4	7	6	3,2	12

Le tableau N°1 fournit les compositions chimiques moyennes des principales nuances d'aciers rapides normalisées en France.

Le tableau N°2 compare les propriétés d'emploi des nuances d'aciers rapides les plus courantes. Avec l'aide du tableau 1, on observe l'influence sur les propriétés de l'acier des divers éléments d'alliage, notamment du cobalt et du vanadium.

Tableau N°2 : Comparaison des caractéristiques d'emploi des nuances les plus courantes d'aciers rapides (en unités arbitraires)

Désignation de la nuance (en 10027-1)	Résistance à l'usure	Ténacité	Dureté à chaud	Aptitude au meulage
HS 6-5-2	5	7	4	8
HS 6-5-4	8	5	7	2
HS 6-5-2-5	5	5	7	6
HS 2-9-1-8	8,5	5	9	5,5
HS 18-0-1	4	6,5	4	8
HS 18-1-1-5	5	4	7	6
HS 12-1-5-5	9	2,5	8	1
La caractéristique considérée est notée de 1 (médiocre) à 10 (excellente).				

I.3.4 Aciers rapides resulfurés :

Alors que le soufre résiduel est considéré comme une impureté et maintenu à des teneurs inférieures à 0,03% dans les aciers de base, il peut parfois être ajouté dans certaines nuances d'aciers rapides pour en améliorer l'aptitude à l'usinage et au meulage. Il s'agit, en général, d'une addition comprise entre 0,10 et 0,20%. Cette désulfuration permet d'améliorer considérablement l'état de surface après usinage des outils. En revanche, la ténacité s'en trouve défavorablement affectée, surtout dans le sens transversal au fibrage.

Les aciers rapides resulfurés sont utilisés pour la fabrication d'outils à profil constant, pour lesquels un bon état de surface est exigé sans rectification (molettes de tournage, fraises mères à denture non rectifiée, fraises pour entrées de denture, etc...)

I.3.5 Aciers rapides élaborés par métallurgie des poudres :

Cette technique permet d'obtenir des compositions chimiques et des finesses de structure non réalisables par les méthodes d'élaboration conventionnelles.

Ce type d'acier rapide est actuellement largement développé. Certaines nuances surcarbureés fortement alliées en cobalt et en vanadium comblent le domaine d'application qui sépare les aciers rapides conventionnels des carbures de coupe.

Par rapport aux nuances conventionnelles, les aciers rapides élaborés par la métallurgie des poudres présentent les avantages suivants :

- moindre déformation au cours du traitement thermique en raison de l'absence totale de ségrégation :
- très bonne aptitude à la rectification grâce à la finesse de la structure, notamment des carbures ;
- grande résistance à l'usure et haute dureté à chaud par la possibilité de réaliser des nuances à haute teneur en vanadium et en cobalt impossibles à élaborer ou à transformer par les procédés conventionnels ;
- très bonne ténacité et bonne isotropie, même pour des produits de forte section, grâce à la finesse et à l'homogénéité de la structure.

Tableau N°3 : Composition chimique moyenne des principales nuances d'aciers rapide sélaborés par la métallurgie des poudres commercialisées en France

Appellation	Désignation type						
		C	Cr	W	Mo	V	Co
ASP 23 (2)	HS 6-5-3	1,30	4	6	5	3	
ASP 30 (2)	HS 6-5-3-9	1,30	4	6	5	3	9
ASP 60 (2)	HS 7-7-7-11	2,30	4	6,5	7	6,5	10,5
CPM REX M4	HS 6-5-4	1,35	4,2	6	4,5	4	
CPM REX T15	HS 12-1-5-5	1,55	4	12		5	5
CPM REX 76	HS 10-5-3-9	1,50	3,7	10	5,2	3,1	9
S 390	HS 11-2-5-8	1,60	4,7	11	2	5	8
S 690	HS 6-5-4	1,35	4	6	4,5	4	

Le tableau 3 résume les compositions chimiques moyennes des principales nuances d'aciers rapides élaborées par la métallurgie des poudres actuellement disponibles. Ces nuances sont désignées par leurs appellations commerciales car, à ce jour, elles ne font l'objet d'aucune norme particulière.

I.3.2 Traitements de surface (diffusion et revêtements durs) :

Différents types de traitement des surfaces sont applicables aux outils en aciers rapides. Ces traitements consistent généralement à accroître la dureté superficielle de l'outil soit par diffusion d'un élément durcissant l'acier, soit par dépôt d'un matériau dur. Ils se pratiquent toujours sur des outils entièrement finis d'usinage.

Le but des traitements de surface est d'améliorer les performances des outils et donc d'abaisser le prix de revient des pièces usinées :

- soit par une meilleure tenue de l'outil permettant de réaliser davantage de pièces entre affûtages ;
- soit par un accroissement de la productivité en augmentant les conditions de coupe (avance, vitesse) tout en conservant une même tenue d'outil ;
- soit en diminuant l'usure, ce qui, à nombre de pièces usinées égal, permet un plus grand nombre de raffûtages en réduisant la quantité de matière enlevée à chaque affûtage.

Nous citons ici des traitements de surface qui représentent 95% des applications industrielles.

I.3.2.1 Nitruration

C'est un traitement thermochimique de diffusion consistant à enrichir, superficiellement l'acier en azote. L'azote diffuse dans l'acier et forme, avec les éléments d'alliage, des nitrures très fins qui produisent un durcissement structural. La dureté de base des aciers rapides, généralement de l'ordre de 800 à 900 HV, s'accroît alors superficiellement pour atteindre des valeurs supérieures à 1200 HV.

Les propriétés des couches nitrurées dépendent dans une large mesure de leur épaisseur et, pour conserver une ténacité convenable aux outils en aciers rapides, il ne faut pas que la profondeur durcie excède 50 μm .

Les deux principaux procédés de nitruration appliqués aux outils en aciers rapides sont la nitruration en bain de sels et la nitruration ionique.

I.3.2.1.1 Nitruration en bain de sels (parfois appelés cyanuration)

Ce procédé consiste à plonger les outils à nitrurer dans un bain à base de cyanures alcalins fondus à la température de 560°C. Ce traitement provoque la formation d'une couche extrême de combinaison de quelques micromètres d'épaisseur, riche en nitrures et en carbonitrures, et d'une couche sous-jacente de diffusion d'azote. La couche formée possède une excellente résistance à l'usure, au collage de copeaux et au grippage.

Des procédés brevetés, dérivés du principe général mentionné ci-dessus, ont pour appellation commerciale : Tenifer ou TF1 (Leybold Durferit), Sulfunuz ou Sursulf (Hydromécanique et Frottement), etc.

I.3.2.1.2 Nituration ionique

Ce procédé consiste à développer autour des pièces à traiter un plasma contenant des ions d'azote actifs qui viennent bombarder la surface des pièces. Ce bombardement ne se traduit pas un double effet :

- chauffage des pièces par dissipation de l'énergie cinétique des ions en énergie calorique ;
- implantation d'ions dans l'acier, fournissant l'azote nécessaire à la formation des nitrures métalliques.

Les avantages de la nituration ionique par rapport à la nituration en bain de sels, pour le traitement d'outils coupants en aciers rapides, résident surtout dans la possibilité de traiter des outils de très grandes dimensions (certaines installations de nituration ionique permettent de traiter des pièces jusqu'à 6 m de longueur), et de conserver l'état de surface initial des outils, même les plus fins (poli spéculaire par exemple).

Par ailleurs, il est possible, par le procédé de nituration ionique, d'éviter la formation de la couche de combinaison fragile en surface.

I.3.2.2 Steam Homo

C'est un traitement d'oxydation superficielle dans la vapeur d'eau surchauffée. Pour les outils en aciers rapide, ce traitement se pratique à une température d'environ 560°C. A cette température, il se forme à la surface de l'acier, par réaction avec la vapeur d'eau, une couche adhérente d'oxyde de fer magnétique (Fe_3O_4) d'environ 2 μm d'épaisseur, conférant une couleur bleu noir aux outils.

Ce film d'oxyde (Fe_3O_4) peut améliorer la tenue des outils par deux effets :

- les microporosités de la couche d'oxyde qui produisent une rétention de liquide de coupe.
- La nature particulière de cet oxyde qui favorise le glissement du copeau et évite son adhérence sur l'outil.

Le traitement Steam Homo peut aussi se pratiquer sur des outils nitrurés. Il produit dans ce cas, outre ses caractéristiques propres décrites ci-dessus, une diffusion complémentaire de la nituration.

I.3.2.3 Revêtement dur

Vers 1980 se développent les techniques de dépôt ionique permettant de déposer des couches dures de 2000 à 4000 HV tel que le nitrure de titane (TiN). Depuis, les méthodes de déposition de ces couches dures ont évolué ainsi que la nature des dépôts.

Il existe trois types majeurs de dépositions.

Procédé CVD (chemical vapor depositions)

Ce procédé, peu onéreux, s'effectue à haute température (de 950 à 1050°C). On réalise la déposition sur un substrat de molécules présentés dans un gaz mis dans une enceinte chauffée (figure 5). Une grande variété de revêtement est déposable, avec un bon accrochage sur le substrat. Compte tenu des températures élevées, tous les outils ne peuvent pas être revêtus par procédé CVD. Par exemple, il est impossible de mettre des outils en aciers rapides dans un four de dépôt CVD. Ce procédé génère des couches épaisses, de l'ordre de 4 à 8 μm d'épaisseur.

Procédé PVD (Physical vapor disposition)

Ce procédé, deux à trois fois plus cher que le CVD, s'effectue à basse température de (200 à 400°C). Des molécules présentes dans un plasma vont se déposer électriquement sur un substrat (figure 6). Ce procédé permet l'obtention de couches minces, de l'ordre de 1 à 2 μm d'épaisseur. Le revêtement des carbures et des aciers rapides est possible (basse température).

Procédé MTVD (medium temperature vapor deposition)

Afin de réunir les avantages des deux techniques précédentes, on a dû procéder à une combinaison de ces deux dernières pour créer le procédé MTVD. Par exemple, le cycle de revêtement d'une plaquette de coupe en carbure se déroule de la façon suivante : la surface de la plaquette est d'abord enrichie en cobalt, puis on réalise un dépôt de carbonitride de titane (TiCN) par CVD suivi d'un dépôt de nitrure de titane (TiN) par PVD. Ce procédé, permet, notamment, d'augmenter la ténacité des plaquettes en carbure.

D'autres types de revêtements, tel l'alumine (Al_2O_3), peuvent également être déposés. Le tableau 5 donne, pour les principaux revêtements utilisés aujourd'hui, les duretés et épaisseurs de couches possibles.

De nouveaux revêtements sont en plein développement (par exemple MoS₂, connu sous le nom commercial de MOVIC, Ti₂N, Ti₂CN).

Tous les types d'outils sont susceptibles de voir leurs performances améliorées par un revêtement. La nature du revêtement sera choisie en fonction de l'application (perçage, fraisage, tournage ...) et de la matière usinée. La démarche COM a mis en évidence qu'il n'y avait pas de règles préétablies pour le choix d'un revêtement. Seuls les essais permettent de vérifier l'adéquation du revêtement à l'application. De plus, la comparaison des performances entre un outil non revêtu et un outil revêtu ne doit être réalisé qu'après vérification que les paramètres sont équivalents, donc comparables.

Exemple : la figure 7 montre qu'une telle comparaison qui n'a pu être menée après s'être assuré que le point $V_c = 25 \text{ m. min}^{-1}$ (vitesse de coupe) et $f = 0,1 \text{ mm. tr}^{-1}$ (avance) était autorisé pour tous les produits testés.

I.3.2.3 Essais en laboratoire sur la capacité de coupe

Mathon [33] a comparé la capacité de coupe de huit aciers rapides suivant la méthode par dressage accéléré qu'il avait imaginée pour déterminer l'usinabilité des aciers de construction (NF A 03-654).

Cet essai "Mathon" est aujourd'hui beaucoup trop restrictif par rapport aux applications industrielles des outils. De plus, cela est très dangereux, les paramètres de coupe étant figés, rien ne garantit qu'ils soient autorisés pour l'outil testé. La seule méthode fiable de comparaison de performance des aciers rapides est la méthode couple outils / matière, une comparaison ne sera efficace que si elle est réalisée avec des données comparables. Par exemple, un des paramètres du COM est V_{cmin} , c'est-à-dire la vitesse de coupe (m.min^{-1}) en dessous de laquelle il ne faut pas descendre sous peine d'un mauvais fonctionnement de l'outil. L'expérience montre que ce V_{cmin} dépend, entre autres, du couple nuance de coupe-matière usinée. Ce qui veut dire que deux nuances d'acier rapide n'auront pas le même V_{cmin} dans la même matière usinée. La comparaison de ces deux nuances ne pourra donc s'effectuer qu'aux vitesses de coupe supérieures à la plus grande des deux vitesses minimales de coupe.

Il est donc impératif, avant d'effectuer des essais comparatifs de deux nuances d'aciers rapides, de s'assurer que les comparaisons seront réalisées dans des zones communes à l'emploi des deux nuances.

I.3.2.4 Applications

Aussi bien en fraisage que pour les opérations axiales (foret, taraud, alésoir), les aciers rapides représentent encore l'essentiel des ventes. Mais on constate depuis 1997 environ une augmentation de l'utilisation de carbure métallique monobloc. Cependant, certains outils en acier rapide ne peuvent pas être remplacés pour l'instant, tels que les forets série extralongue, ou les fraises à hauteur de coupe très importante (série longue, extralongue et au-dessus), utilisées dans l'aéronautique par exemple.

I.3.3 Carbures métalliques :

Les premières applications des carbures de coupe se sont faites sous forme de plaquettes à braser sur des corps d'outils en aciers ordinaire, la partie active de ces outils étant raffûtée au fur et à mesure de son usure.

Vers 1958 ont été créés les outils à plaquettes amovibles (figure 8). Ce type d'outil a été rapidement adopté car les avantages des plaquettes amovibles sont nombreux :

- suppression de l'affûtage ;
- absence de brasure, donc une nuance plus dure peut souvent être utilisée (risque de crique éliminé);
- conditions de coupe plus sévères;
- indexage (repérage mécanique) de la plaquette, pour remplacer une arête usée ou un changement de nuance plus rapide que le changement d'un outil brasé ;
- affilage d'arête recommandé dans le tournage de l'acier, exécuté d'une façon automatique par le fabricant de plaquettes alors que, pour l'outil brasé, il est réalisé à la main par l'opérateur.

I.3.3.1 Carbures métalliques sans revêtement :

La dureté des carbures métalliques (environ 1500 à 2500 HV), très supérieure à celle des aciers rapides non surcarburés (HRC 66 soit environ 865 HV), jointe à une résistance importante (résistance à la flexion de 800 à 2.200 Mpa) (tableau 1) explique qu'ils sont plus utilisés. Leur dureté à chaud permet l'usinage jusqu'à une température de 1000°C.

La symbolisation des carbures a fait l'objet de la recommandation NF E 66-3.4 (ISO 513), les nuances y sont divisées en trois grandes catégories : P : métaux ferreux à copeaux longs ; M : métaux ferreux à copeaux courts, à copeaux courts et métaux non ferreux.

K : métaux ferreux à copeaux courts, métaux non ferreux et matières non métalliques.

Dans chaque catégorie, un nombre allant de 01 à 50 indique la ténacité croissante et la diminution de la résistance à l'usure.

Les nuances modernes de carbures étant, de plus en plus, polyvalentes et performantes, il devient difficile de les classer ainsi. Cela implique des difficultés croissantes pour établir des équivalences directes entre fabricants. La notion COM est là encore indispensable pour classer et comparer les performances des différents carbures.

Il est important de noter que l'emploi de nuance de carbure non revêtu a quasiment disparu pour certaines technologies telles que les plaquettes amovibles de tournage.

Par contre, les carbures métalliques non revêtus sont de plus en plus employés pour certains types d'outils en remplacement de l'acier rapide. On peut citer : forêt en carbure monobloc, forêt à insert rapporté en carbure, alésoir à plaquettes, alésoir monobloc, taraud insert brasé pour les outils de décolletage ...

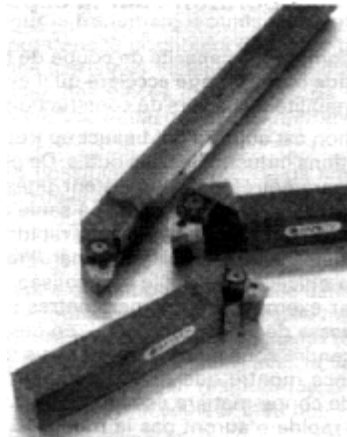


Figure I.13 : Outils à plaquettes amovibles (document safety)

I.3.3.2 Carbures métalliques avec revêtement

A partir de 1959 apparaît un nouveau type de matériau de coupe : le carbure revêtu constitué par une plaquette en carbure métallique recouvert par un film mince (3 à 10 μm) d'un matériau de coupe (2000 à 3000 Knoop).

Les couches les plus usuelles sont le carbure de titane, le nitrure de titane, le carbonitrure de titane et l'alumine (tableau 6). Chacune de ces couches apporte à l'outil une amélioration dans un domaine particulier (résistance à l'usure, à l'oxydation, au frottement, etc.). Aussi des

dépôts multicouches ont-ils été réalisés afin de combiner leurs différents avantages. Des revêtements à base de nitrure d'hafnium et de carbure de chrome ont été également commercialisés.

Matériau de revêtement	Résistance à l'usure	Résistance chimique	Résistance thermique	Résistance au frottement
TiC	+	+	+	+
TiN	+	+	-	+
Ti (C, N)	+	+	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	+	-
HfN	+	-	-	-
Indique la valeur la plus faible et indique la valeur la plus forte.				

Tableau 5 : Comparaison des propriétés de certains revêtements

Ces couches sont obtenues généralement par CVD dans des fours entre 800 et 1100°C, ce qui permet d'obtenir des dépôts de très bonne adhérence.

Pour certaines applications comme le fraisage, ces dépôts sont parfois réalisés à basse température par PVD afin de fragiliser le moins possible le substrat carbure.

Les nouvelles générations de plaquettes amovibles en carbure revêtu sont généralement très complexes. Le substrat est dit enrichi au cobalt, ce qui signifie que le taux de cobalt est différent au cœur et en périphérie de la plaquette. Cela permet d'améliorer la résistance à l'usure d'où une meilleure résistance aux fortes vitesses de coupe tout en conservant une ténacité acceptable. Ensuite, le substrat est revêtu. Le nombre de couches varie d'un fabricant à l'autre. Il peut aller de deux à dix en moyenne, généralement réalisées par procédé CVD ou MTVD. Contrairement aux premiers carbures, il est maintenant impossible de dissocier le substrat du revêtement. Les substrats sont en effet conçus pour recevoir certains types de revêtements, ou au contraire pour être non revêtus.

1.3.4 Céramiques

Les céramiques (figure 9) sont des matériaux frittés sans liant métallique. Elles sont très dures et donc sensibles aux chocs thermiques et mécaniques. Les céramiques couramment utilisées pour les outils de coupe sont réunies dans le tableau 7.

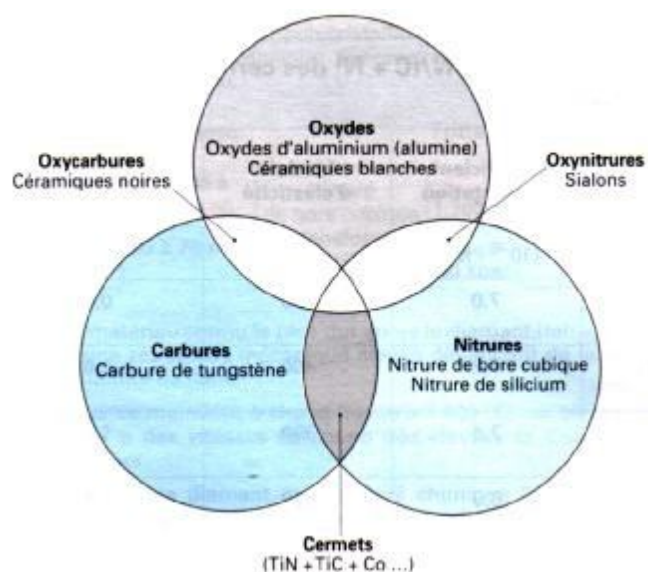


Figure I.13 : Céramiques

Céramiques oxydées	Céramiques mixtes		Céramiques non oxydées
Céramiques blanches Au début : Al_2O_3 Actuellement : $Al_2O_3 + ZrO_2$	Céramiques mixtes noires Al_2O_3-TiC (30%) $Al_2O_3-TiN-TiC$ Al_2O_3-WC, TaC	Céramiques renforcées vertes (whiskers) Al_2O_3 -fibres SiC	Salon gris Base Si_3N_4
Ténacité			

Tableau N° 6 : Céramiques utilisées pour les outils de coupe

La céramique la plus courante est l'oxyde d'aluminium ou alumine Al_2O_3 . L'apparition de ce matériau sur le marché remonte aux années 1960. Dès l'origine, il s'est révélé intéressant pour la finition des fontes, à condition de disposer de machines robustes et à grandes vitesses.

Le tableau 1 et le diagramme de la figure 6 donnent quelques propriétés physiques de ce matériau et leur comparaison avec celles des aciers rapides et des carbures métalliques.

Jusqu'aux années 1980, l'alumine a été utilisée pour l'usinage de fontes dont la dureté ne dépassait pas 250 HB, mais il est possible maintenant d'usiner de l'acier jusqu'à HRC 60 (environ 700 HV) ; c'est le matériau de coupe qui résiste le mieux à la cratérisation.

D'autres céramiques sont également employées.

Les céramiques noires sont des mélanges de Al_2O_3 et de carbure métallique (TiC ou WC) ou de zircon (ZrO₂). Elles sont beaucoup moins sensibles que les céramiques Al_2O_3 aux brusques changements de température et permettent l'emploi de liquides de coupe.

Le nitrure de silicium Si_3N_4 permet dans certains matériaux des vitesses de coupe une fois et demie à deux fois supérieures à celles des autres céramiques, ce qui impose des machines plus performantes (plus puissantes, plus rigides ...) il s'emploie à sec.

Les céramiques renforcées par des whiskers (bâtonnets de fibres monocristallines de carbure de silicium entrelacées) qui leurs confèrent une plus grande ténacité, permettent un travail au choc ou dans les matériaux réfractaires

Les céramiques sont employées avec des machines rigides et puissantes. Un arrosage continu est nécessaire. Les surfaces doivent être préparées (chanfrein en début de passe).

Les outils en céramique peuvent être revêtus. Le revêtement le plus utilisé est le nitrure de titane TiN.

I.3.5 Cermets

Cermet, un terme formé de deux syllabes : *cer* vient de céramique et *met* de métal. Ce sont des matériaux élaborés par la métallurgie des poudres, constitués par des particules de composés métalliques durs (carbures, nitrures, carbonitrures) liées par un métal (généralement du nickel). Actuellement, les cermets sont composés de TiC, TiN, Mo₂C, WC, VC, TaC, NbC, Ni et Co (tableau 1).

Les propriétés d'utilisation des cermets dépendent pour une grande part des proportions des différents composants cités ci-dessus, notamment des teneurs en TiC, TiN, et TiCN et du rapport $N/(C+N)$ qui, dans la dernière génération de cermets, est supérieur à 0,3. Le tableau 8 montre l'influence du rapport $N/(C+N)$ sur les propriétés des cermets.

La taille des particules dures a également une grande influence sur les propriétés des cermets. Des grains fins améliorent la ténacité et la résistance aux chocs thermiques.

Les cermets présentent, en outre, une grande inertie chimique réduisant les phénomènes de cratérisation et d'arête rapportée. Leur bonne résistance à l'usure et leur grande ténacité permettent de travailler en coupe positive, d'où de moindres efforts de coupe, de bon états de surface et une grande précision dimensionnelle des pièces usinées. Les cermets ne nécessitent pas obligatoirement de lubrification, elle est réalisée uniquement lorsque la précision de la finition l'exige.

I.3.6 Diamant

I.6.1 Diamant naturel

Le diamant naturel est issu de la transformation, du carbone sous très haute pression (environ 7 GPa) et à température élevée (environ 2000 °C). Sa haute dureté et sa faible réactivité chimique expliquent qu'il ait pu se conserver à travers les siècles.

Les propriétés remarquables du diamant naturel en tant qu'outil de coupe (tableau 1) sont les suivantes :

- C'est le plus dur des matériaux connus
- Sa résistance à la compression est très supérieure à celles des autres matériaux
- Son coefficient de dilatation thermique ($3,1 \times 10^{-6} \cdot K^{-1}$), plus faible que celui des autres matériaux d'outils, lui confère une excellente résistance aux chocs thermiques
- Sa conductivité thermique, la plus élevée de tous les matériaux 600 à 2000 W. m⁻¹.K⁻¹ facilite l'évacuation de la chaleur de la zone de coupe si bien qu'un diamant qui vient d'usiner paraît froid au toucher.

Par contre, sa résilience est faible, ce qui le rend très sensible aux chocs mécaniques. Sa haute dureté, liée à sa structure atomique particulière, n'est pas la même dans tous les plans. Il se clive suivant quatre directions, ce qui le rend fragile.

I.3.6.2 Diamant synthétique

Les premiers furent réalisés en Suède en 1953 par Von Platen, puis en 1954 par Hall aux Etats-Unis, en soumettant du graphite à des températures et pressions très élevées. Les cristaux obtenus étaient petits (< 0,5 mm) et servaient à la fabrication de meules en diamant synthétique.

Tableau N°7 : Comparaison des propriétés physiques et du ratio N/(C+N) des cermets et des carbures de coupe .

Propriétés	Teneur en azote N/(C+N)	Conductivité thermique à 20°C W.m ⁻¹ .K ⁻¹	Résistance à la flexion (Mpa)	Coefficient de dilatation 10 ⁻⁶ .K ⁻¹	Module d'élasticité (Gpa)	Résistance relative aux chocs thermiques
2 ^e génération	0	8	1500	7,0	390	0,4
3 ^e génération	0,22	11	1650	7,2	400	0,6
4 ^e génération	0,44	18	2000	7,4	390	1,2
P 10		35	1500	6,0	550	1,2

La production est actuellement forte : de 22 t/an en 1986, elle a peu évolué jusqu'en 1995, date à laquelle la production semble s'être accélérée.

Pour obtenir des cristaux plus grands, les durées de production sont excessives (> 50 h de synthèse pour créer un monocristal de 1 carat), le diamant naturel est alors plus rentable.

Aussi préfère-t-on réaliser des compacts polycristallins (PCD) en effectuant un frittage à haute pression et 1400°C pour agglomérer, sous forme de plaque, les grains de diamant.

I.3.6.3 Mise en œuvre des diamants

Diamants naturels

Ils sont utilisés sertis (brasage), en concrétion (frittage simple avec matrice métallique abondante), ou à l'état libre (poudre broyée ou boart).

Compact polycristallin (PCD)

A partir des plaques issues du frittage, on peut par usinage obtenir la plupart des formes courantes.

Selon les marques et les nuances, la taille des grains de diamant est centrée sur 1,10 et 30 m.

Les fabricants de revêtements travaillent de plus en plus sur le revêtement diamant. Encore cher et à l'état de prévalidation industrielle, il fait également l'objet d'études dans les centres universitaires de recherche.

I.3.6.4 Utilisation dans l'usinage :

A base de carbone, les diamants (naturels et synthétiques) ont, de ce fait, une forte affinité pour les matériaux ferreux et sont donc, généralement, exclus pour leur usinage.

Les utilise, particulièrement pour les métaux tendres : aluminium, cuivre, magnésium, zinc et leurs alliages, ainsi que pour les matériaux antifricition.

Le diamant sert aussi à l'usinage des métaux précieux (or, platine), des matières plastiques chargées ou non, du bois.[2]

I.4. Conditions de coupe :

Après les calculs préalables des conditions de résistance à la coupe de l'outil (à la rupture et la déformation) et par suite, calcul approximatif de l'effort de coupe. On détermine la puissance absorbée durant la coupe pour ne pas enfoncer notre machine. De cette manière, on peut modifier les paramètres de coupe sans dépasser la puissance disponible à la broche Les essais ont été réalisés à sec. Le critère d'usure retenu est $V_B = 0.3\text{mm}$ pour la finition et 0.6mm pour ébauche selon la norme ISO 3685-1977 (F). Cinq résultats des tests sont obtenus. Les paramètres de coupe sont affichés pour chaque courbe. [3]

Introduction II.1

Le chapitre .II présente les opérations réalisées par les différents alésoirs ,les défauts techniques rencontrés.

II.2.Réalisation d'un alésage

En alésage, il faut absolument respecter les vitesses de coupe, les vitesses d'avance et assurer une lubrification parfaite. Il ne faut pas oublier que tous les alésoirs, à part les alésoirs à coupe frontale et les alésoirs très petits, ont tendance à suivre le perçage réalisé avant l'alésage. Ainsi, les alésoirs n'éliminent en aucun cas les erreurs d'alignement. Les erreurs d'alignement entre l'axe de la broche et le perçage peuvent éventuellement être corrigées en utilisant un appareil d'alésage flottant, surtout lorsque le diamètre réalisé a tendance à être un peu trop fort voire, hors tolérance. Ci-dessous, nous vous décrivons quelques incidents typiques rencontrés lors des opérations d'alésages, leur provenance et des conseils afin d'y remédier.

II.2.1.Définition des termes :

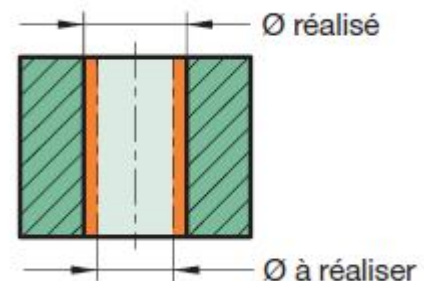
Dim. théoriques :

- Dim. de l'alésage à réaliser.
- Dia. max. et diamètre min de la zone de tolérance de l'alésage à réaliser

Dim. effectives :

- Dim. mesurées sur l'alésage réalisé

Alésage : Alésage réalisé avec l'alésoir, après le perçage

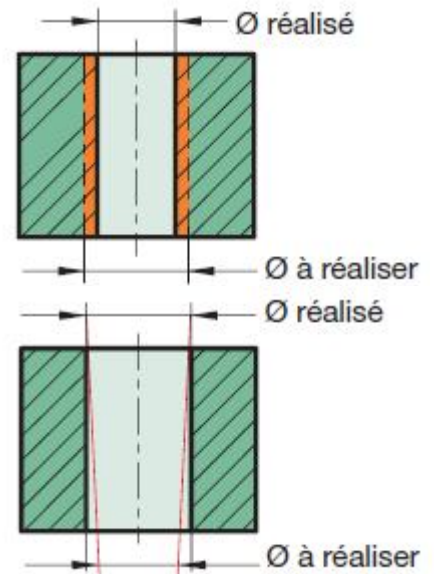


III.2.2.-Alesage trop grand

- Le diamètre de l'alésoir est trop grand
- Les vitesses de coupe sont trop élevées
- Erreur de battement de la broche
- Entrée sur l'alésoir trop courte ou irrégulière
- Collage provenant des conditions de coupe incorrects oder schlechte Schmierung
- Lubrifiant mal approprié, alésage trop grand à cause d'une l'huile entière

II.2.1.3.-Alesage trop petit

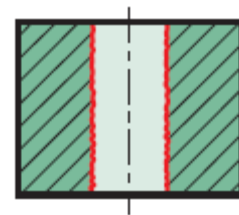
- L'outil ne coupe plus, mais racle seulement
- Les vitesses de coupe sont trop basses
- Paroi de la pièce à aléser trop fine, se retracte
- Trop peu de surépaisseur, l'alésoir refuse la coupe
- De par des contraintes, déformation de la cylindricité

**II.2.1.4.-Alesage devient conique**

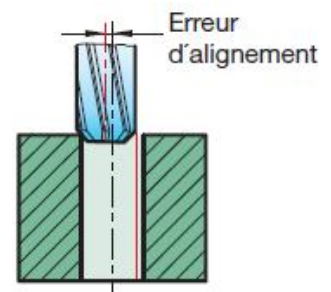
- Erreur de battement de l'outil sur son attachement
 - Entrée asymétrique
 - Erreur d'alignement entre l'outil et le perçage.
- Utiliser un appareil d'alésage flottant surtout sur les tours
- Préparation du perçage avant l'alésage, non conforme

II.2.1.5-Etat de surface de mauvaise qualité

- Les vitesses de coupe sont trop basses
- Mauvaise lubrification ou insuffisante, collage
- Outil abîmé par ex. arêtes de coupe ébréchées
- Erreur de battement de la broche de la machine
- Mauvaise évacuation des copeaux

**II.2.1.6.-Erreur d'alignement**

- Perçage décalé
- Erreur de battement de la broche de la machine
- Eventuellement, utiliser un appareil d'alésage flottant
- Si nécessaire, piloter afin de corriger l'erreur de positionnement du perçage pilote

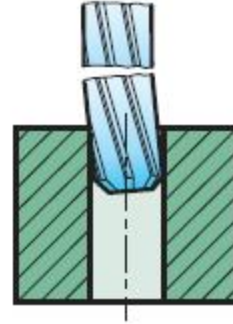
**II.2.1.7-Alesage avec des facettes**

- Avance trop faible
- Collage sur les arêtes de coupe
- Mauvaise qualité de graissage du lubrifiant
- Témoin cylindrique trop faible
- Trop peu de surépaisseur
- Outil mal serre
- Erreur de battement ou jeu sur la broche d'alésage



II.2.1.8-L'outil se grippe et se casse

- Erreur de positionnement du perçage – pilote
- Trop peu de conicité arrière
- Témoin cylindrique trop large
- Diamètre de perçage trop petit
- Entrée usée ou mal affûtée
- Avance trop importante
- Blocage de copeaux – Augmenter l'avance afin d'obtenir des copeaux courts



II.2.1.9-L'alesage est rayé

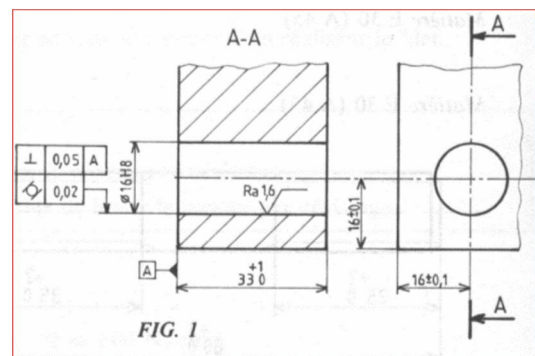
- Les vitesses de coupe sont trop basses
- Arêtes de coupe usées
- Arêtes de coupe ébréchées
- Collage sur les arêtes de coupe
- Erreur de positionnement du perçage –pilote
- Insuffisance de la lubrification



II.1.3.Avant perçage

Sur la figure l'alesage est caractérisé par

Ø16H8 et l=33⁰⁺¹ ,
 1.6√ la rugosité ,
 cotes et tolérances de
 position :



Le perçage ou foret permet obtenir en générale

- une précision H11 à H9 sur les diamètre .
- une rugosité Ra de 3.2 à 6.4

Les tour plus précis doivent subir une opération de finition appelée : alésage

L'opération d'alésage effectuée sur machine chaque fois que ci possible pour des raisons de rapidité et la qualité dans le travail

L'outil utilisé et l'alésoir machine

L'alésage manuelle est réservé à des travaux unitaires de retouche ;il est réaliser à l'aide d'un outil appelée alésoir a main

II.1.3.1 Le mode opération

- le mouvement circulaire est cuminique à l'outil par l'inter médiaire d'un tourne à gauche
- un léger effort de pénétration est nécessaire pour assurer l'avance
- il faut veiller en début d'opération à aligne l'axe de l'alésoir avec celui du trou
- l'alésoir suit l'axe de trou préalablement percé ,il ne corrigé donc pas les erreur de position
- la lubrification est indispensable , on utilisée l'huile de coupe ou la suif
- Les coupeaux remplissent rapidement les internent et s'évacuent mal ,il faut donc dégager l'alésoir par intermittence pour le nettoyage.[4]

II.3. Le 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 débouchants), 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.

Parmi les perçages à l'outil tournant coupant (foret), on peut distinguer : le perçage de trous courts, traité dans cette étude et le perçage de trous profonds appelé forage. Les trous courts sont caractérisés par un faible rapport entre la profondeur et le diamètre : de l'ordre de 5 à 6 pour les diamètres inférieurs à 30 mm et de 2 pour les diamètres supérieurs. Ce rapport entre la profondeur et le diamètre du trou est limité par la technologie disponible, de sorte qu'il peut évoluer au rythme du développement de nouveaux outils. Les trous courts, de diamètre généralement compris entre 10 et 20 mm, sont les plus répandus

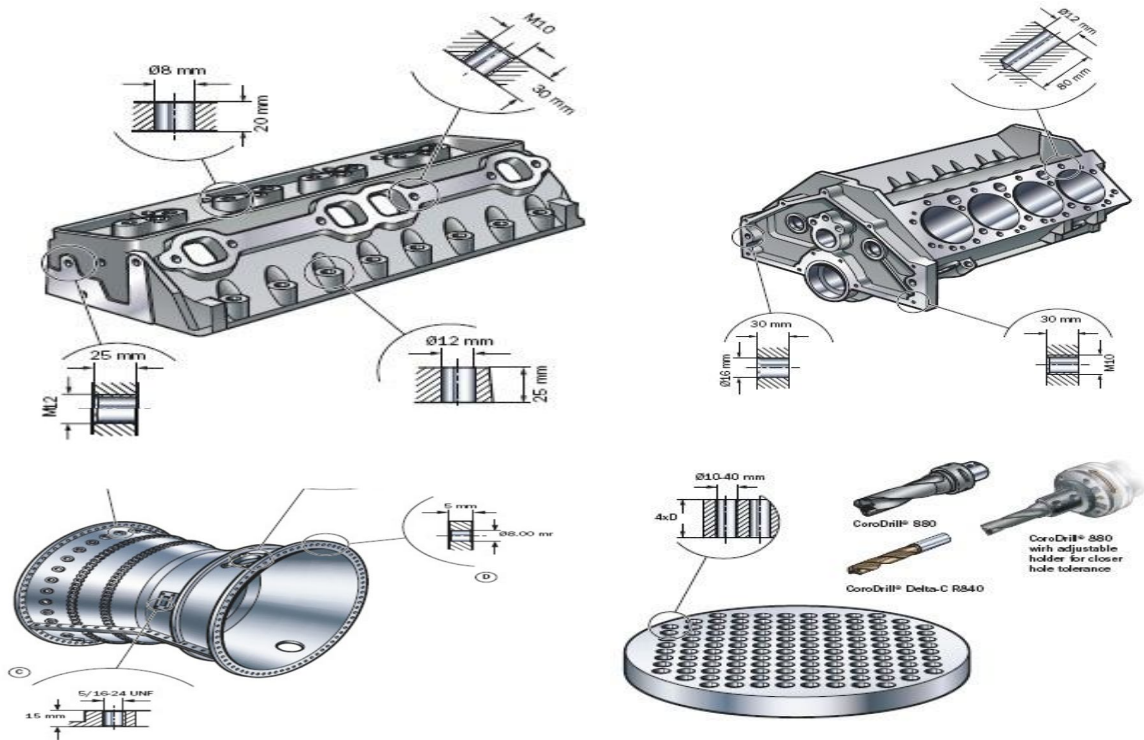


Figure.II.1Exemples de trous réalisés dans des pièces issues de plusieurs secteurs de l’industrie mécanique : (a) bloc moteur et culasse (secteur automobile), (b) moteur d’avion (secteur aéronautique) et (c) plaque d’un échangeur [1].

Le perçage avec un foret combine deux mouvements : une rotation et une translation, Figure 2. Ces deux mouvements sont caractérisés par :

- la vitesse de rotation du foret, exprimée en tours par minute et notée N , à la périphérie du foret elle correspond à une vitesse ;

$$V_f (m/min) = f (mm/tr) \times N (tr/min) \times 1000$$

- l’avance exprimée en mm par tour et notée $f (mm\ tr)$, elle correspond à une vitesse d’avance.

$$V_f (m/min) = f (mm/tr) \times N (tr/min) \times 1000$$

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.

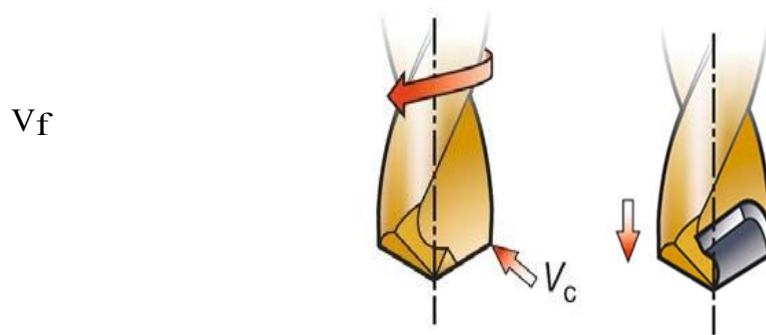
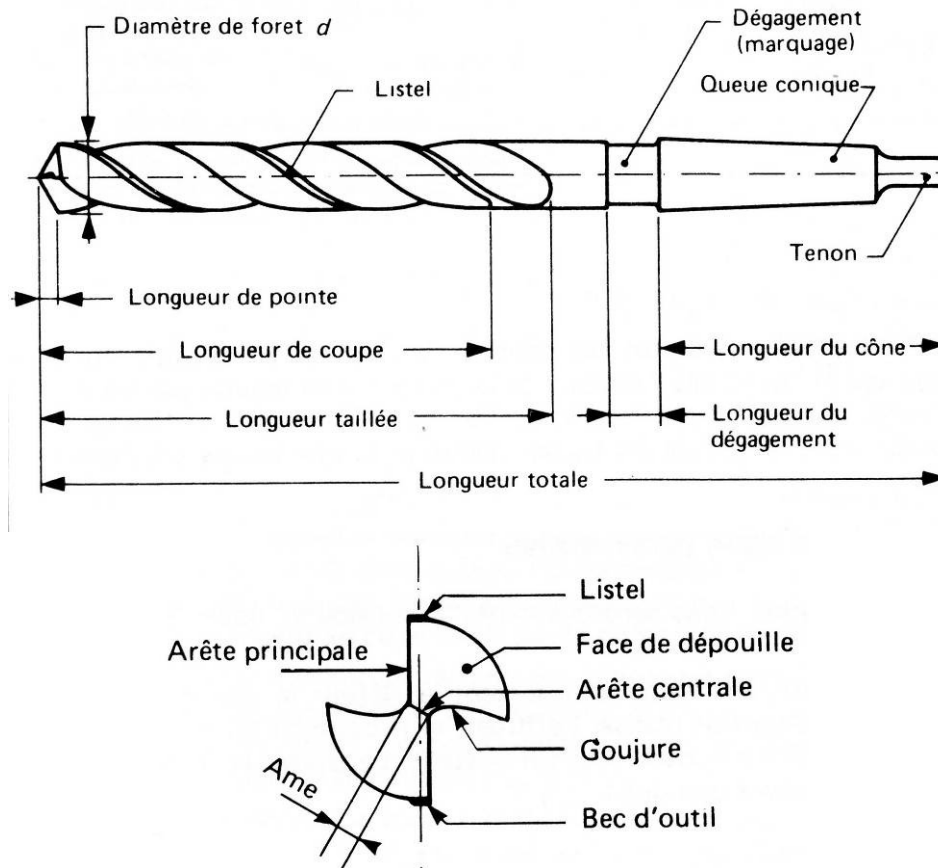


Figure .II.2. Vitesse de rotation et d'avance .

Le perçage peut être réalisé sur un tour à commande numérique, le mouvement de rotation est alors donné à la pièce et le mouvement d'avance correspond au déplacement du chariot porte outil. Plus couramment, il est réalisé sur des centres d'usinage verticaux ou horizontaux, les mouvements d'avance et de rotation sont alors imposés au foret. Le développement des machines et l'amélioration des forets ont radicalement modifié l'opération de perçage, des trous courts de grande qualité dimensionnelle et d'état de surface peuvent aujourd'hui être réalisés sans pré-trou de centrage, usinage préliminaire, et sans usinage consécutif pour obtenir la qualité requise.

II.3.1. Le foret

Le foret, Figure 3, est un outil qui sert à produire un trou dans une pièce. C'est un outil rotatif muni de deux ou plusieurs arêtes de coupe, de deux ou plusieurs goujures hélicoïdales ou rectilignes.



FigureII. 3. Foret hélicoïdal classique ou conventionnel à queue conique, sa pointe est caractérisée par deux arêtes principales et une arête centrale rectilignes, l'exemple choisi est un peu ancien, on n'utilise plus ce genre de foret.

Les parties essentielles d'un foret sont les suivantes :

- **La queue** : elle assure le positionnement et l'entraînement du foret.
- **Les parties actives** : arêtes de coupe : elles assurent la formation du copeau et le centrage du foret dès l'attaque dans la matière. La géométrie des parties actives est déterminée par l'affûtage ; elle conditionne la qualité du travail réalisé ainsi que la tenue à l'usure du foret.

- **Les goujures** : elles forment la face de coupe de l'outil 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.
- **Les listels** : ils frottent sur la portion du trou usiné, ils assurent le guidage de l'outil, ils sont généralement rectifiés.

II.3.1. Les caractéristiques nominales du foret sont :

- Le diamètre du foret D ,
- L'angle au sommet ou de pointe $2p$ Figure 4 : c'est l'angle compris entre les projections des arêtes de coupe sur un plan parallèle à celles-ci et contenant l'axe de l'outil,
- L'épaisseur d'âme $2w$,
- L'angle l'hélice δ_0 à la périphérie du foret Figure 4. Notons que cet angle varie le long de l'arête de coupe.

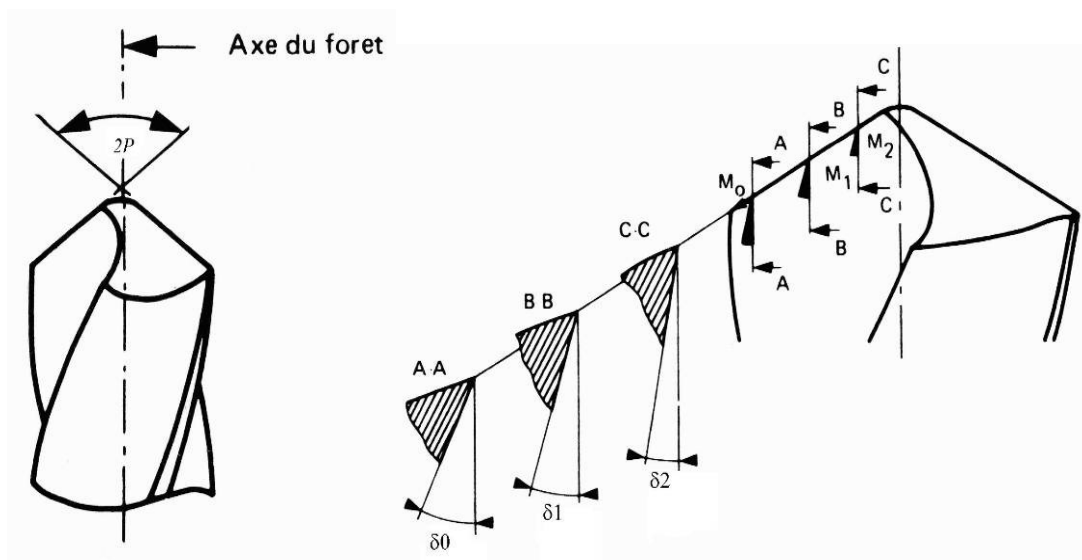


Figure II.4. Angle au sommet ou de pointe $2p$ et angles d'hélice à différents points de l'arête de coupe.

- Les forets pour le perçage de trous courts sont caractérisés par leur extrémité (pointe du foret) qui permet d'assurer le centrage du foret, obtenir une parfaite symétrie des arêtes de coupe et équilibrer les efforts de coupe. Les forets pour trous courts peuvent être classés en deux grandes catégories Figure 5 :

- les forets monoblocs (réalisés en un seul matériau : acier rapide ou carbure de tungstène) ou brasés (inserts en matériau dur au niveau des parties actives brasés dans un corps en acier ou en carbure de tungstène), ils peuvent être revêtus, ils sont réaffûttables, enfin ils sont utilisés pour les trous de petits diamètres (étudiés dans ce mémoire)

- et les forets à plaquettes indexables pour les trous de grands diamètres. Le corps du foret est en acier et les plaquettes en carbure de tungstène revêtues ou non Figure 5.

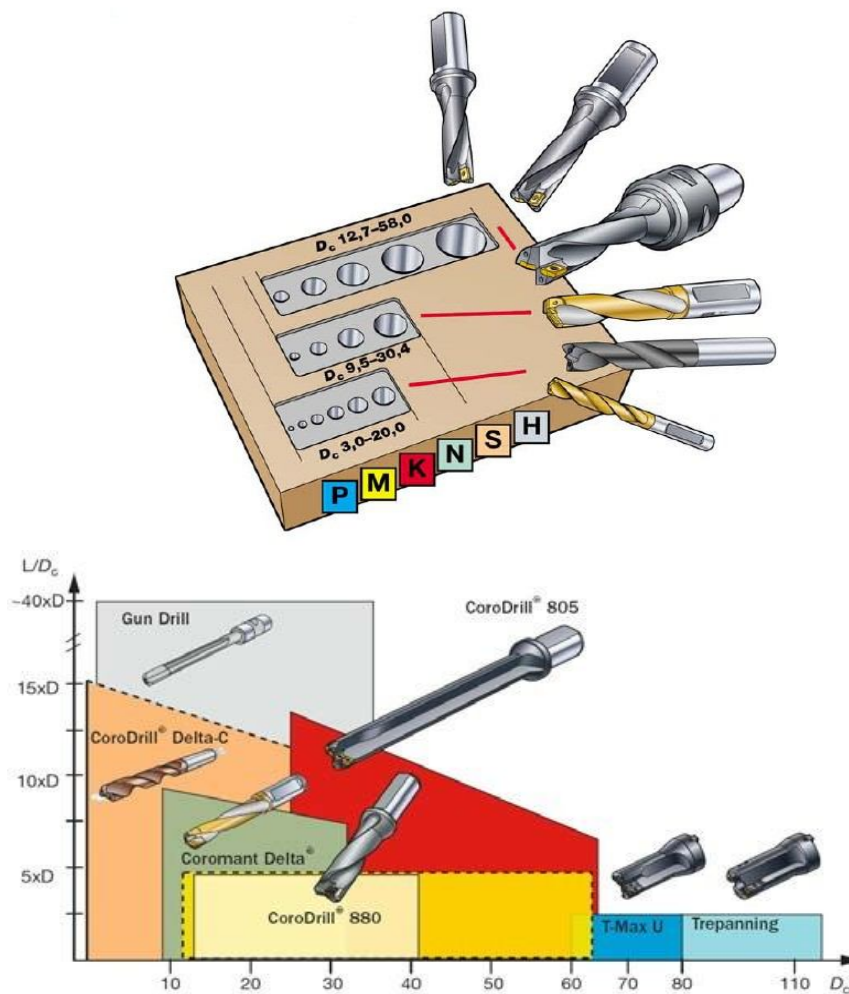


Figure II.5. Différents types de forets .

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.

Sur les machines modernes d'un coût horaire élevé, ces forets en : acier rapide ne satisfont pas aux critères de performances permettant d'atteindre un niveau de rentabilité satisfaisant. Il est en effet nécessaire, dans la plupart des applications, de perdre un temps précieux en pré-perçage et finition. C'est pourquoi, l'utilisation de forets réaffûttables à géométries modifiées a augmenté au rythme de l'apparition de machines dont le coût horaire est élevé Figure 6.

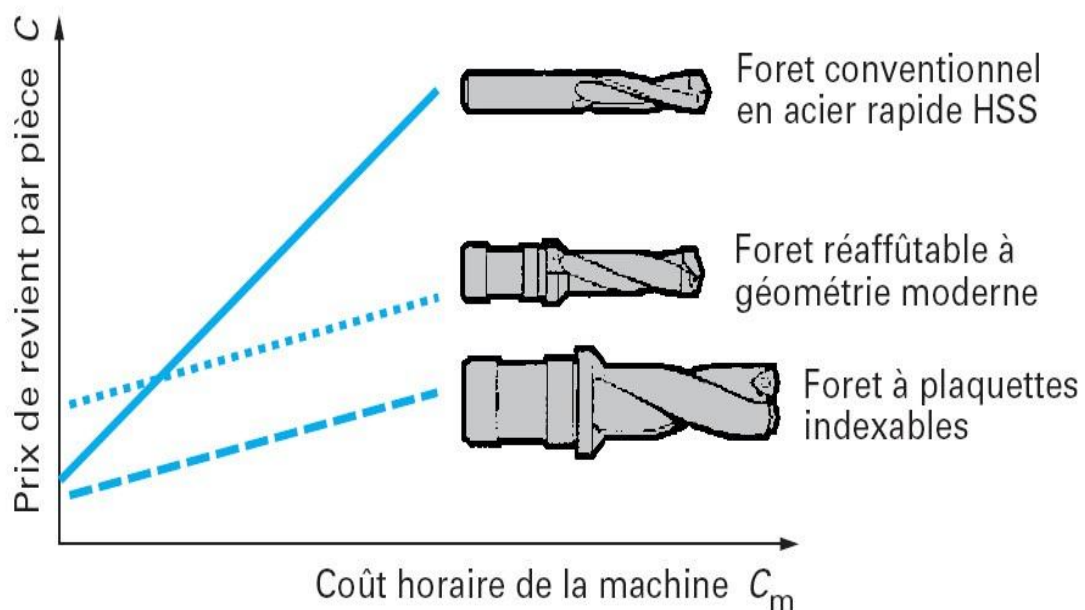


Figure II.6. Evaluation de coût des pièces avec les différents types de forets [2].

II.3.2. Différents types des forets monoblocs

Pour les petits trous de 2,50 à 12,7 mm de diamètre, on utilise principalement des forets monoblocs ou brasés réaffûttables. Une différenciation doit cependant être effectuée entre les forets en acier rapide (HSS) classiques ou conventionnels, les forets en carbure également classiques et les forets en carbure à géométrie de coupe modifiées : définies par une pointe non forcément conique, des arêtes principales parfois incurvées et un amincissement de l'âme.

Cette géométrie modifiée a radicalement transformé les conditions de perçage des trous courts. Sa propriété d'auto-centrage, qui rend inutile l'exécution d'avant-trous et les tolérances étroites qu'elle respecte, en combinaison avec des matériaux de coupes modernes, permettent un usinage rentable en une seule opération, jusqu'à la classe de tolérance IT9 et avec un fini de surface $Ra\ 1\ \mu m$. Avec ces outils, on remarque des évolutions au niveau de l'arête centrale du fait de l'amincissement de l'âme du foret. Cela permet d'éliminer les problèmes liés aux efforts axiaux élevés et à l'inefficacité de la coupe à proximité de la pointe du foret. Cela, joint aux taux nettement plus élevés d'enlèvement de matière, signifie que les temps d'usinage sont de 3 à 4 fois plus courts par rapports aux forets hélicoïdaux classiques.

Plusieurs familles de forets monoblocs existent pour effectuer les différents types de trous (différents diamètres et profondeurs). La matière de la pièce usinée peut jouer un rôle dans le choix du type du foret, mais elle influence d'avantage la géométrie de la pointe du foret. On peut donc distinguer plusieurs types Figure 7 :

- Le foret hélicoïdal Figure 3 conventionnel ou classique : Ce type du foret était le plus couramment utilisé ;
- Le foret étagé Figure 7 : foret à diamètres étagés utilisé pour réaliser des trous avec deux diamètres différents ou avec un chanfrein ;
- Le foret avec trous de lubrification (deux trous de lubrification débouchent sur la face en dépouille et amènent au fond du trou le lubrifiant) : le lubrifiant refroidit l'arête de coupe, chasse les copeaux dans les goujures et lubrifie les

surfaces. Il est employé pour augmenter la vitesse d'avance et la profondeur du trou percé et avec certain matériau dur ;

- Le foret à trois ou quatre goujures : caractérisé par une rigidité et une stabilité remarquable, il est employé pour le perçage de précision, de la fonte et de l'aluminium ;
- Le foret à goujure rectiligne : utilisé pour le perçage à très grande vitesse, souvent avec une lubrification centrale à haute pression pour évacuer les copeaux.

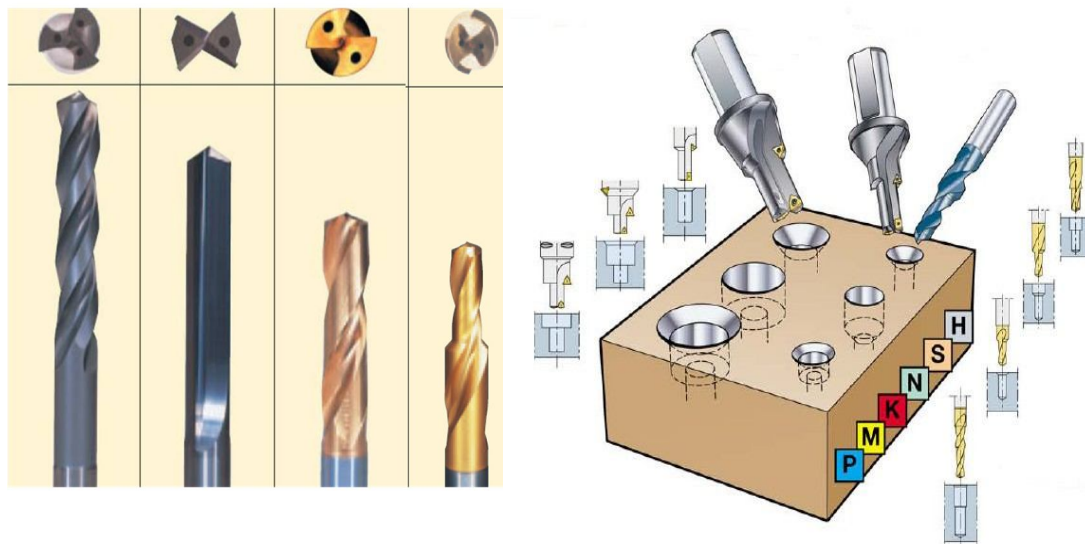


Figure II.7. (a) Différents types de foret [3], (b) Les opérations réalisées avec des forets étagés [1].

Les outils disponibles aujourd'hui incluent une grande diversité de produits permettant de nombreuses combinaisons. En vue de parvenir à des résultats optimaux dans chaque contexte d'usinage particulier en perçage, il est indispensable de préciser les paramètres suivants avant de passer au choix de l'outil et des conditions d'usinage:

- diamètre et profondeur du trou ;
- tolérances à respecter ;

- coût machine ;
- forme de la pièce ;
- matière à usiner ;
- puissance et stabilité de la machine.

II.3.3. Éléments de la géométrie du foret

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 un paramètre essentiel pour le calcul des efforts de coupe générés pendant le perçage. La géométrie du foret peut être décomposée en deux parties essentielles : la goujure et la pointe. L'intersection de ces parties forme les parties actives du foret ou les arêtes de coupe.

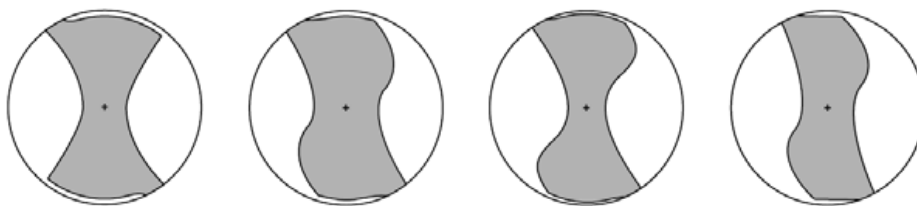


Figure II.8. Différents types de la goujure : de gauche à droite on aperçoit la goujure conventionnelle, la goujure avec une épaisseur d'âme importante puis deux exemples de la goujure parabolique.

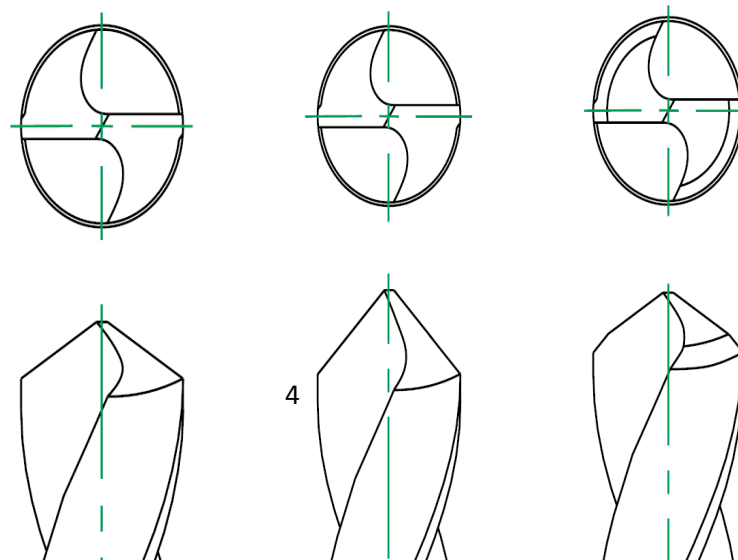
Le choix de la goujure Figure 8 est important pour l'évacuation des copeaux et la rigidité du foret. On peut distinguer :

- 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 ;
- 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;
- 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).

La pointe est la partie active du foret. C'est elle qui donne la forme finale aux arêtes de coupe. Les paramètres nominaux du foret comme l'angle au sommet et l'angle de dépouille ne suffisent pas pour définir la pointe. On peut distinguer plusieurs types d'affûtages qui définissent la forme des faces de dépouille et celle de l'âme. Différents types d'amincissements peuvent également être effectués au niveau de l'âme pour améliorer les performances du foret. Parmi le grand nombre des pointes disponibles sur le marché nous présentons ci-dessous les plus courantes.

La pointe conventionnelle ou classique Figure 9 : les faces de dépouille sont des portions de deux cônes symétriques par rapport à l'axe du foret. L'intersection des deux portions de cône forme l'arête centrale pratiquement rectiligne. L'angle de coupe obtenu sur cette arête centrale est très négatif, en outre sa forme linéaire réduit l'auto-centrage du foret et détériore en conséquence la précision du trou obtenu. Plusieurs variantes de cette pointe existent comme à titre d'exemple le foret avec un angle de pointe réduit et le foret à double angle. La première modification réduit la surface de coupe à la périphérie, et par conséquent les fissures et le broutement quand le foret débouche (trou débouchant). Elle est utilisée souvent avec les matériaux plastiques ou les matériaux tendres non ferreux. Le foret à double pointe a été développé pour les fontes et les matériaux abrasifs. L'objectif est de diminuer l'usure des périphéries et des listels du foret. Ce qui améliore non seulement la tenue à l'usure mais la qualité, la tolérance du trou et la fragmentation des copeaux. Ce type de pointe peut être utilisé également dans le cas des matériaux non durs afin d'éviter les bavures.



FigureII. 9. Foret avec une pointe conventionnelle, avec angle réduit et à double angle.

La pointe hélicoïdale Figure 10 : l'arête centrale droite du foret conventionnel est modifiée. Une autre arête centrale en forme de S est employée. Cette forme particulière a pour propriété essentielle d'augmenter sensiblement l'angle de dépouille vers le centre du foret. Cette modification de l'arête centrale aide à améliorer l'auto-centrage du foret.

La Pointe avec des faces de coupe réduite Figure 10 : elle est obtenue en altérant la face de coupe pour obtenir une surface plane dans une zone proche des arrêtes de coupe (de la périphérie jusqu'aux arêtes centrales). Ceci permet de diminuer les angles de coupe, d'améliorer la rigidité des arêtes et la fragmentation des copeaux.

La pointe « crankshaft » Figure 10 : Elle a été développée pour effectuer les trous profonds de lubrification dans le vilebrequin des voitures, d'où l'origine de son nom. Elle est caractérisée par une contre dépouille et un amincissement au niveau de l'âme du foret. Par la suite, son utilisation a été étendue à des diverses applications. Avec un angle de sommet de 118° et 135° ses avantages sont nombreux : réduction des efforts axiaux, formation des copeaux fragmentés et évacuation facilitée grâce aux deux faces positives de coupe.

La pointe « Racon » Figure 10 : Avec ses arêtes de coupe de forme incurvées, le foret a un angle de pointe variable le long des ces arêtes. Cette géométrie particulière, des arêtes de coupe (plus longues que les arêtes conventionnelles) génèrent des efforts de coupe par unité de longueurs moins élevées, ce qui implique une génération de la chaleur moins importante. Comme pour les forets avec double angles de la pointe, la périphérie du foret doit être conçue pour réduire l'usure des listels. La pointe Racon permet de réduire la bavure dans le cas des trous débouchants, et d'augmenter la durée de vie du foret avec les matériaux abrasifs. Mais elle possède un auto-centrage réduit d'où le besoin de l'utilisation du canon de guidage.[6]

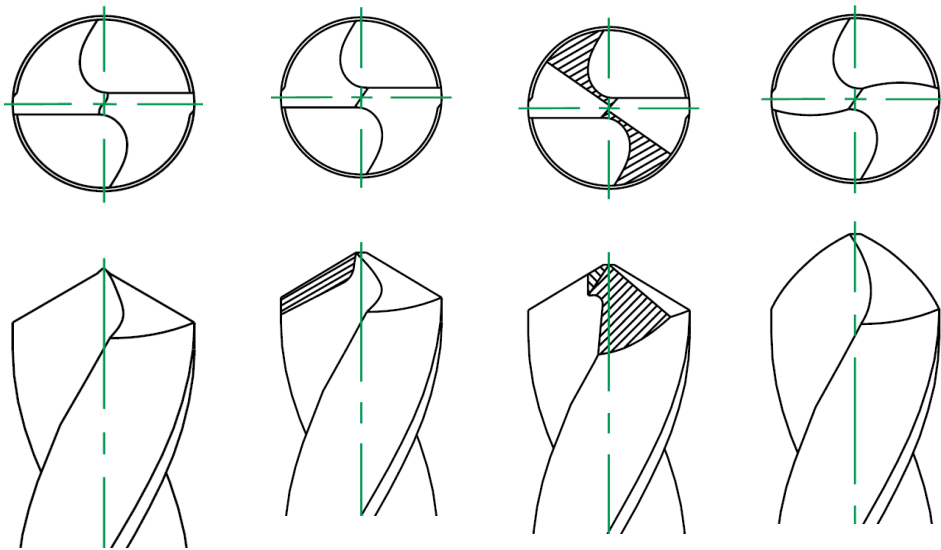


Figure II.10. Quelques exemples de pointes du foret.

Introduction III.1

Le chapitre III est consacré à l'étude des traitements thermiques, l'application des normes des traitements de chaque matériau, ceci dont le but d'obtenir la dureté voulue, et d'éviter le problème d'usure de l'outil.

III.2.Traitement thermique :

La tenue des outillages, qui peut se chiffrer par la durée de vie ou la fréquence entre réaffûtages, ou le ratio consommation d'aciers à outils sur quantité de produits mis en œuvre, est conditionnée par un certain nombre de facteurs parmi lesquels on peut citer :

- le dessin et la conception de la pièce ;
- la nature et la qualité du matériau choisi ;
- les qualités de l'usinage et de la finition (rectification par exemple) ;
- le traitement thermique et le traitement superficiel ;
- les conditions d'utilisation en service.

Tous ces facteurs influent sur l'état des contraintes liées d'une part à la mise en œuvre, d'autre part à la fonction. Leur maîtrise doit permettre une optimisation des outillages en vue d'une amélioration de la compétitivité des produits mis en œuvre par une réduction des coûts de production et une amélioration de la fiabilité des procédés de fabrication.

Le choix du matériau constituant l'outillage est un problème souvent complexe se conjuguent des facteurs d'ordre technique (au niveau de la mise en œuvre et de la tenue en service) et d'ordre économique (coût matière, coût de mise en œuvre et disponibilité sur le marché). Dans ce domaine, l'expérience pratique est primordiale ; cependant, il est de plus en plus nécessaire que ce mode de jugement soit complété par une analyse aussi précise que possible des propriétés d'emploi requises pour le matériau, cette analyse devant être complétée par une approche des sollicitations thermomécaniques des outillages, soit à l'aide de méthodes analytiques, soit avec l'utilisation des codes existants pour modéliser les écoulements des produits mis en forme.

La méthode de choix proposée s'efforce de conduire à une solution correspondant au coût unitaire minimal, ce coût étant défini comme le coût total de l'outil (fabrication, entretien) divisé par le nombre effectif de pièces qu'il permet de produire (durée de vie).

Le choix de l'acier à outil et de son traitement thermique influe beaucoup plus fortement sur la durée de vie de l'outil que sur son coût total et doit être surtout conditionné par les qualités requises en service plutôt que par celles assurant un coût de fabrication réduit. Il est certain que des économies réalisées au niveau de l'acier et de son traitement thermique sont possibles, mais souvent lourdes de conséquences au niveau des propriétés d'emploi.

Le tableau A donne la chronologie et le but des opérations effectuées sur les outils depuis leur conception jusqu'à leur mise en service ; il situe le traitement thermique dans le cycle de fabrication. C'est l'opération la plus critique de la gamme, car elle a pour but d'assurer aux aciers une microstructure et un état des contraintes internes dont dépendent les propriétés d'emploi comme la dureté, la ténacité, la résistance à l'usure et à la fatigue sous toutes ses formes (mécanique, thermique, de surface). De petites variations des paramètres de traitement peuvent se traduire par des écarts importants au niveau du comportement en service.

Tableau III.1– Opérations de fabrication des outils en acier

Tableau A – Opérations de fabrication des outils en acier			
Opération	Nature	But	Conditions d'utilisation
Traitement d'adoucissement.	Recuit complet.	Faciliter l'usinage.	Traitement effectué par l'aciériste (acier livré à l'état adouci) et utilisé exceptionnellement mais impérativement sur les ébauches forées ou lorsque l'on veut reprendre en usinage un outil déjà trempé.
Usinage de 1 ^{er} et 2 ^e ébauches.	Usinage par coupe ou électro-érosion.	Ébauchage de la forme (cotes finales + surepaisseurs).	Peut être omis en l'absence de problème de déformation à la trempe (outil directement fini).
Usinage de finition.	Usinage par coupe, rectification ou électro-érosion.	Mise aux cotes finales.	
Prétraitement.	— Recuit complet. — Recuit de détente. — Prétrempé : trempe + revenu à haute température.	Contrôler et minimiser les déformations lors du traitement de durcissement. Améliorer la ténacité dans certains cas.	Recommandé pour les pièces de forme compliquées avec des tolérances sévères et présentant des problèmes de déformation à la trempe.
Traitement de durcissement.	Trempe + revenu.	Durcissement de l'acier au niveau exigé par les conditions de travail.	Impératif sauf dans les cas où : — l'outil est peu sollicité (pour petite ou moyenne série) ; — l'acier est livré à l'état durci (prétraité).
Traitement superficiel.	— Nitruration. — Oxydation. — Cémentation (1). — Trempe superficielle (1). — Revêtement métallique (1). — Carbonitruration (1).	Durcissement superficiel destiné à augmenter la résistance à l'usure ou au grippage, à l'enfoncement et à la fatigue mécanique ou thermique.	Recommandé pour : — les outils sollicités pour grandes séries ; — les problèmes d'adhésion et de grippage.
Réaffûtage.	Usinage par rectification.	Redonner aux arêtes leur forme initiale.	
Traitement de détente.	Détente par chauffage à une température inférieure à la température de revenu.	Diminuer la fragilité de l'outil (en réduisant les contraintes résiduelles de tension introduites par l'usinage).	Recommandé pour les outils qui présentent des problèmes de fragilité (après rectification finale ou réaffûtage).

(1) Pour ces quatre traitements, la gamme de fabrication des outils est modifiée. Le traitement thermique de durcissement (trempe et revenu) suit le traitement superficiel. La rectification finale se fait avant le traitement superficiel dans le cas de la réalisation des revêtements métalliques.

Le présent guide rassemble les données d'ordre pratique pour aider l'utilisateur dans le choix de sa gamme de traitement ; le problème des variations dimensionnelles est également abordé avec les indications nécessaires pour minimiser ces dernières ; en guise de conclusion, les tableaux [1](#), [2](#), [3](#) et [4](#) rassemblent les principaux incidents pouvant survenir au cours de la fabrication des outillages et fournissent à l'utilisateur des données sur les causes possibles et les remèdes correspondants.

III.2.1. Gamme de traitements thermiques Prétraitements

Lorsqu'un outil présente des difficultés de mise en œuvre (formes complexes conduisant à des enlèvements de matière importants : matrices de presse, moules de coulée sous pression), il est fortement recommandé d'effectuer un ou plusieurs prétraitements dans le but de présenter au traitement final de trempe et revenu des pièces dans l'état le plus favorable au bon déroulement de ce traitement. Il est en effet souhaitable que le niveau des contraintes résiduelles soit le plus bas possible dans les outils à traiter pour éviter les incidents lors du traitement thermique ultérieur (déformations, fissurations au chauffage pouvant conduire à des risques de tapures lors de la trempe ultérieure). Ce niveau de contraintes sera d'autant plus bas que la structure initiale de l'acier est plus stabilisée et plus facilement usinable. Ces caractéristiques sont obtenues pour une dispersion homogène de carbures globalisés dans une matrice ferritique. Pour réaliser de telles structures, l'utilisateur aura le choix entre plusieurs procédés (article Traitements superficiels des aciers à outils [M 1 135] dans le présent traité).

III.2.1.1 Recuit complet

Ce traitement est à conseiller dans les cas suivants :

- reprise en usinage par outil coupant d'une ébauche préalablement traitée : l'ébauche est alors recuite, usinée, puis à nouveau traitée ;
- traitement thermique mal conduit nécessitant un second cycle de trempe et revenu ;
- ébauches reprises par contre forgeage chez des sous-traitants et qui sont livrées sans aucune garantie de structure optimale de recuit.

III.2.1.2 Recuit de détente

Il doit être effectué entre l'usinage de la première ébauche et l'usinage de la deuxième ébauche ou l'opération de finition (rectification par exemple). Il est bon de savoir que le dimensionnement des contraintes d'usinage sera d'autant plus difficile à réaliser complètement que les propriétés mécaniques de résistance à la déformation à chaud et au fluage de l'acier sont plus fortes. Par exemple, dans un acier d'outillage à chaud du type Z 38 CDV 5, il faut atteindre 650 °C pour détensionner 90 % des contraintes résiduelles. Pour les aciers de cette famille, il est plutôt conseillé le traitement décrit ci-après.

III.2.1.3. Pré trempe

Elle est destinée à assurer la meilleure reproductibilité possible des variations dimensionnelles inévitablement provoquées par l'opération ultérieure de trempe. Ce traitement consiste en une austénitisation à basse température (860 à 920 °C), suivie par un refroidissement à l'air, à l'huile, ou par étape, et un revenu à haute température immédiatement au-dessous de Ac1 (700 à 750 °C).

Exemple : un acier à outil du type Z 160 CDV 12 pourra être prétraité à 860 °C avec une trempe par étape à 520 °C arrêtée à l'air et un revenu à 750 °C, pour une utilisation délicate en matrice de presse, et un acier du type Z 38 CDV 5 pourra être prétraité à 900 °C avec une trempe à l'huile ou par étape à 520 °C avec arrêt à l'air et revenu à 750 °C pour une utilisation en moule de coulée sous pression de forme particulièrement complexe.

L'utilisateur peut également souhaiter réduire les hétérogénéités chimiques dues au processus de solidification pour atténuer leurs conséquences néfastes sur le comportement ultérieur de l'outil au traitement thermique (variations dimensionnelles). Il peut être ainsi amené à réaliser des traitements thermiques particuliers comme indiqué ci-après.

III.2.1.4. Recuit d'homogénéisation

La réduction des hétérogénéités est obtenue par un traitement à haute température (> 1 100 °C), avec un temps nécessaire pour assurer cette réduction

par diffusion des éléments ségrégués. Le compromis température temps de maintien peut être optimisé par une maîtrise des lois de la diffusion des éléments incriminés. Le calcul de ces conditions peut se faire par l'application de la relation suivante :

$$\Delta C = \Delta C_0 \exp\left(-\frac{Dt}{\ell^2} \pi^2\right)$$

avec C_0 (%) écart de teneur maximal avant traitement, C (%) écart de teneur visé après traitement, t (h) durée du maintien en heures, ℓ (cm) distance moyenne entre les points immédiatement voisins de concentration maximale et minimale, D (cm^2/s) coefficient de diffusion à la température de traitement.

À titre d'**exemple**, si l'on veut réduire une ségrégation en manganèse de 0,6 à 0,4 %, avec $\ell = 100 \text{ mm}$, il faut maintenir l'acier pendant 5,7 h à 1 100 °C :

$$D_{Mn} \text{ à } 1100^\circ\text{C} = 2 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Ce traitement d'homogénéisation doit être obligatoirement suivi d'un affinage structural réalisé par un traitement du type prétempe et revenu ou normalisation.

III.2.2. Traitements de durcissement Austénitisation : montée en température

Au cours du chauffage, on assiste à une sorte de pétrissage de la peau de l'outil lié au gradient thermique créé dont l'ampleur croît avec la rapidité du chauffage. Si ce pétrissage ne crée pas un risque de fissuration, il engendre par contre des modifications des géométries de la pièce qui constituent une part non négligeable des déformations dues au traitement thermique. Le passage des points de transformation est une étape qui doit être conduite avec précautions : en effet, la plupart des aciers à outils ont une faible conductivité thermique qui entraîne la présence de gradients thermiques importants pour les vitesses usuelles de chauffage. Ces précautions seront à adapter au moyen de chauffage utilisé (article Traitements superficiels des aciers à outils [M 1 135] dans ce traité).

III.2.2.1. En four à moufle

Les pièces seront placées dans le four (température inférieure à 300 °C)

de manière que leur montée en température soit simultanée à celle du four, avec au moins un palier vers 850 °C de durée minimale 30 min par 25 mm d'épaisseur.

III.3.2.2. En bain de sel

Les pièces subiront un traitement de dégourdisage dans un four classique aux environs de 300 °C ; cette opération a pour but d'éviter les chocs thermiques trop violents et d'éliminer toute trace d'humidité qui pourrait réagir violemment avec les sels en fusion utilisés ultérieurement. Les étapes de préchauffage proprement dites seront différentes selon le type d'acier à traiter :

- pour les aciers à outils au carbone ou faiblement alliés, un seul préchauffage à 500-600 °C sera suffisant avec un temps de maintien minimal de 10 min par centimètre d'épaisseur pour permettre l'homogénéisation de température dans les pièces ;
- pour les aciers à outils alliés et les aciers rapides, il est nécessaire d'effectuer deux paliers de préchauffage, l'un vers 500-600 °C et l'autre juste au-dessus du point Ac₁, c'est-à-dire vers 850 °C : le temps de maintien minimal sera dans les deux cas de 10 min par centimètre d'épaisseur pour assurer l'homogénéité de température dans les pièces.

III.2.2.3. En four sous vide

Les pièces, parfaitement nettoyées et dégraissées pour éviter la pollution du four, seront introduites dans l'enceinte qui sera amenée à une pression résiduelle inférieure à 10–2 mbar et la montée en température sera lente (300 °C/h au maximum) avec un ou deux paliers au voisinage de 600 et de 850 °C dont la durée sera au moins de 30 min par 25 mm d'épaisseur pour assurer une bonne homogénéité de température.

III.2.2.4. En lit fluidisé

Les pièces subiront un cycle de chauffage très voisin de celui qui a été décrit précédemment dans le cas des bains de sel.

III.3. Austénitisation : température et temps de maintien

Les températures d'austénitisation les plus classiques utilisées pour chaque nuance d'acier à outils sont indiquées dans l'article Données numériques sur les aciers à outils [M 330] de ce traité. D'un point de vue pratique, la durée de maintien est la somme de la durée théorique fixée suivant les critères métallurgiques (remise en solution plus ou moins complète des carbures dans l'austénite) et du temps nécessaire pour que les outillages atteignent la température du four jusqu'au cœur.

Malgré les incertitudes causées par la méconnaissance de la variation des coefficients d'échange thermique avec la température, des règles empiriques permettent d'estimer de façon simple le temps de montée en température des pièces jusque dans le domaine 700-1 000 °C (température de départ : 20 °C) :

- dans le cas d'un **four à moufle**, le temps de chauffage d'une pièce d'épaisseur e (mm) est de $1,5 e$ (min) ;
- dans le cas d'un **four à bain de sel**, ce même temps est de $0,3 e$.

Ces temps sont à augmenter de 20 % si les pièces sont portées en température avec des emballages de charbon de bois ou de tournure de fonte, qui permettent d'éviter la décarburation (article Traitements superficiels des aciers à outils [M 1 135] dans ce traité).

Les températures d'austénitisation indiquées dans l'article Données numériques sur les aciers à outils [M 330] sont des températures moyennes. Il faut en toute rigueur tenir compte de l'état structural initial et cela d'autant plus que l'acier est plus riche en éléments d'alliages carburigènes. Plus les carbures spéciaux seront globulisés, plus il sera difficile de les mettre en solution. La figure [1](#) illustre cette influence dans le cas d'un acier peu allié (Y 42 CD 4) où on voit que les écarts peuvent être importants.

III.4.1. Trempe : milieux de refroidissement

Les modes de trempe applicables dépendent de la nature de l'acier, notamment de sa trempabilité et des dimensions de l'outil. Ils sont indiqués, pour chaque acier, dans l'article Données numériques sur les aciers à outils [M 330].

III.3.4.1.1. La trempe à l'air (calme ou pulsé) est le cas le plus simple à mettre en œuvre et il doit être choisi en priorité dans le cas des aciers à outils de bonne trempabilité, car les risques de déformations sont d'autant plus grands que le mode de refroidissement est plus rapide. Pour guider l'utilisateur dans le choix des nuances capables d'être trempées à l'air, la figure [2](#) donne le temps nécessaire pour atteindre 500 °C par trempe à l'air calme, à partir de 1 000 °C, de cylindres de différents diamètres.

III.3.4.2. La trempe en four sous vide équipé de dispositifs d'injection de gaz peut être estimée en première approximation comme équiva- lente à la trempe à l'air calme.

III.3.4.3. La trempe à l'eau ou à l'huile est relativement plus délicate à mettre en œuvre car le temps de transfert du milieu d'austénitisation au milieu de trempe ne doit pas excéder quelques dizaines de secondes pour les outils de volume important transportés par palan.

Dans le cas des aciers d'outillage à froid peu alliés dont la trempabilité est faible, il est impératif d'assurer le refroidissement le plus rapide possible pour obtenir une dureté convenable.

III.3.4.4 La trempe par étape en bain de sel ou en lit fluidisé est appliquée, d'une part, aux aciers qui présentent un domaine de stabilité de l'austénite suffisant entre 400 et 600 °C, d'autre part, aux aciers qui sont caractérisés par un point de transformation martensitique relativement bas (< 180 °C). Ce traitement a pour but d'homogénéiser la température de la pièce avant la trempe et de réduire les risques de déformation et de tapures (diminution du choc thermique). Les températures d'étape sont généralement comprises entre 450 et 550 °C pour le premier type d'aciers, et entre 180 et 220 °C pour le second type d'aciers, avec un temps de maintien qui doit être adapté aux dimensions de la pièce à traiter. Les courbes de la figure [3](#) donnent à titre indicatif, pour des cylindres de diamètres croissants, le temps nécessaire à l'homogénéisation de la température de la pièce dans des bains à 200 et 500 °C lorsque la température d'austénitisation est voisine de 1 000 °C.

La composition des bains est choisie pour assurer une fluidité suffisante à la température visée afin que les échanges thermiques soient efficaces. Ceux-ci peuvent être sensiblement améliorés par une agitation. Une composition très souvent citée est la suivante :

- 50 à 60 % de KNO₃ ;
- 40 à 50 % de NaNO₂ ;
- 0 à 10 % de NaNO₃ ;

ce mélange fond vers 140 °C et est utilisable entre 160 et 500 °C.

Lorsque le chauffage pour austénitisation est aussi réalisé en bain de sels fondus, il est important de vérifier si le mélange des deux bains réalisés lors de la trempe ne crée pas de danger.

Après le maintien en bain de sel à la température choisie, le refroidissement s'effectue généralement à l'air. Toutefois, si l'on veut éviter toute transformation partielle dans le domaine bainitique (article Transformations dans les aciers [M 1 115] dans ce traité), dans le cas des aciers d'outillage à chaud et des aciers rapides notamment, où l'étape se fait vers 520 °C, il y a lieu d'arrêter le traitement par immersion de la pièce dans l'huile.

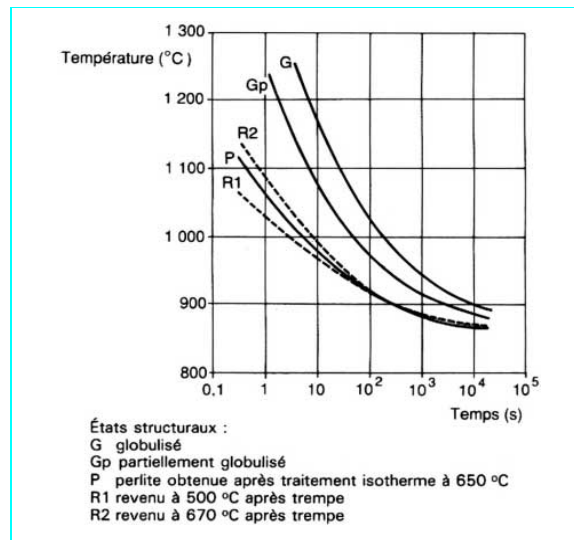
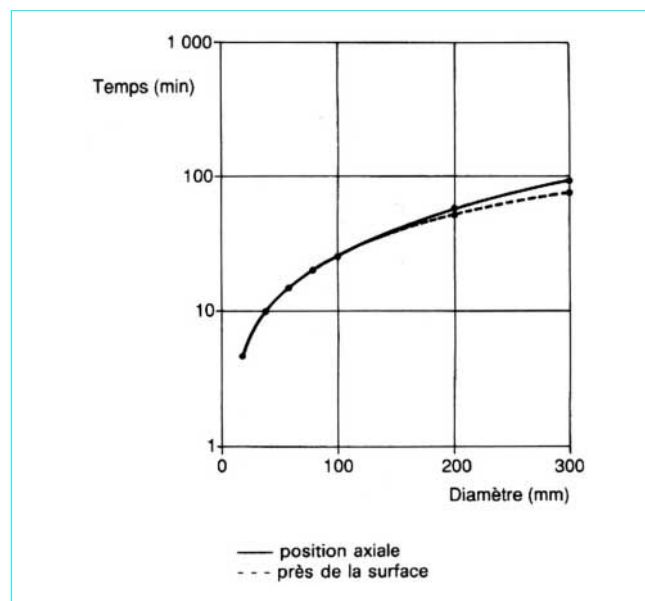
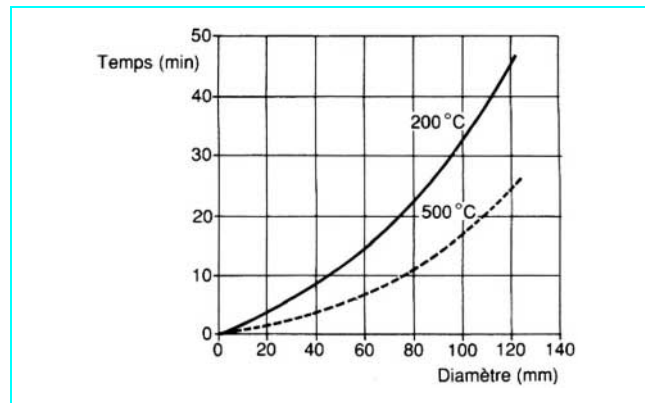


Figure III. 1 – Limites de température à atteindre en chauffage continu pour obtenir une austénite homogène avec un acier du type Y 42 CD 4 à partir de différents états structuraux



FigureIII. 2 Temps de refroidissement nécessaire pour atteindre 500 °C dans le cas de cylindres en acier de différents diamètres, trempés à l'air à partir de 1 000 °C

D'une manière générale, à l'exception des aciers à outils au carbone qui ont une très faible trempabilité, la trempe par étape est toujours recommandée, à condition que les dimensions de la pièce à traiter le permettent, car ce mode de trempe, tout en réduisant le risque de déformations ou de tapures, permet d'obtenir des propriétés d'emploi de l'acier (ténacité notamment) comparables à celles que l'on obtient avec la trempe à l'huile.



FigureIII.3 Durée de maintien nécessaire pour homogénéiser la température de cylindres en acier de différents diamètres, lors de la trempe par étape en bain de sel à 200 et 500 °C depuis environ 1 000 °C

III.4.Revenu

Cette opération a pour but principal de provoquer une précipitation du carbone sous une forme et dans des conditions contrôlées afin d'engendrer une évolution depuis l'état structural métastable obtenu après trempe vers un état plus proche de l'équilibre physico- chimique. Il s'agit d'une opération facile à mettre en œuvre mais qui, en aucune façon, ne doit être dissociée de la trempe : **c'est l'ensemble trempe + revenu qui donne à l'acier ses bonnes propriétés d'emploi.**

Le revenu doit être fait immédiatement après la trempe, pour atténuer les contraintes résiduelles qui en résultent et éliminer tout risque de rupture ; il est même souvent conseillé, pour des pièces de formes compliquées et trempées sévèrement, d'effectuer le revenu avant que l'acier ne soit ramené à la

température ambiante par la trempe, pour diminuer le niveau de contraintes résiduelles et les risques de fragilité excessive. Ce sera le cas, par exemple, pour les pièces en aciers à haut risque de tapures (aciers alliés à forte teneur en carbone : 90 MV 8, 100 C 6, etc.) dans lesquels la transformation martensitique est déjà bien avancée dans le domaine 60-80 °C.

Pour les paramètres du revenu (température et temps de maintien), le lecteur pourra se reporter à l'article Données numériques sur les aciers à outils [M 330] de ce traité. Rappelons que **la durée de ce traitement doit être au moins de 1 h après homogénéisation de la température de la pièce pour assurer une stabilisation de la structure brute de trempe.**

Si le revenu est effectué en bain de sel, il est recommandé de pratiquer un dégourdisage vers 300 °C en four classique dans la mesure où l'acier n'est pas fragilisé par un tel traitement, ce qui est le cas pour la plupart des aciers à outils traités aux environs de 500 °C par revenu. Lorsque plusieurs maintiens sont effectués (revenu double ou triple), le refroidissement doit être complet entre chacun d'eux pour éliminer le plus possible l'austénite résiduelle qui a été déstabilisée par les chauffages successifs.

III.5. Traitement par le froid

Ce traitement peut être effectué sur les outils en acier relativement alliés à haute teneur en carbone, caractérisés par un point $M_s \approx 200 \text{ °C}$ (point de transformation en martensite), qui subissent des revenus à des températures n'excédant pas 200 °C. L'austénite résiduelle qui subsiste dans la microstructure peut se transformer mécaniquement en cours de service et peut être source de fragilité et d'écaillage. Toutefois, il faut souligner que ce traitement, en assurant une transformation plus complète de l'austénite résiduelle, entraîne un gonflement supplémentaire qui est difficile à contrôler, et cela d'autant plus que la quantité d'austénite résiduelle présente après trempe est plus importante. Il y aura lieu, dans la mesure du possible, de contrôler la teneur de ce constituant en jouant simultanément sur la température d'austénitisation et la température du ou des revenus (article Traitements superficiels des aciers à outils [M 1 135] dans ce traité).

III.6. Traitements superficiels

Le but des traitements superficiels est de réaliser sur les outils des gradients de propriétés mécaniques dont l'intérêt se trouve justifié, soit sur le plan

technique lorsque les caractéristiques demandées à la surface et à la masse sont incompatibles (exemple résistance au frottement et à l'usure sur la surface, tenue aux chocs et résistance à la fissuration pour la masse), soit sur le plan économique (allègement de la gamme de fabrication de produits moins alliés sur lesquels il sera effectué en fin de mise en œuvre un traitement superficiel).

Les **traitements thermiques superficiels** utilisent dans la très grande majorité des cas les techniques d'apport d'énergie telles que le chalumeau oxyacétylénique, ou l'induction magnétique. Selon le type de pièce, les traitements se feront soit au défilé (pièces longues), soit d'une manière générale et instantanée. La trempe se fait immédiatement après la période de chauffage, en général par aspersion d'eau, selon les deux mêmes procédés.

Les **traitements thermochimiques** comme la **cémentation** ou la **carbonitruration**, destinés par exemple à réaliser des enrichissements superficiels en carbures dans les aciers au chrome ou les **dépôts chimiques en phase vapeur (CVD)**, sont réalisés à des températures comprises entre 800 et 1 000 °C, donc en phase austénitique.

Ces opérations seront donc suivies immédiatement par une trempe et un ou plusieurs revenus sur des pièces qui ne pourront plus être réusinées par la suite en raison de leur haute dureté et de la faiblesse de l'épaisseur des couches déposées (quelques μm dans le cas des dépôts CVD).

Les **traitements superficiels par faisceaux d'énergie** (laser, faisceau d'électrons) nécessitent une opération de finition mécanique lorsqu'il est recherché un alliage de surface ou un renfort sous forme pulvérulente car, dans ce cas, la nécessité de passer par l'état liquide modifie d'une manière substantielle la rugosité de surface.

Une bonne maîtrise des variations dimensionnelles est obtenue en pratiquant le revenu soit à 200 °C, soit aux environs de 500 °C selon la composition chimique de l'acier.

Les traitements thermochimiques comme la **nitruration** ou l'**oxynitruration** n'apportent le plus souvent que de faibles variations dimensionnelles parfaitement maîtrisables sous réserve de suivre les règles habituelles de disposition des pièces dans les fours pour minimiser les distorsions. Ces traitements seront pratiqués chaque fois que les conditions d'utilisation de l'outil nécessiteront une résistance accrue de la surface de l'acier à la fatigue mécanique ou thermique, au frottement et à l'usure. Le choix de l'acier à nitrurer se fera en fonction de deux critères :

- a) la compatibilité du traitement de nitruration au revenu antérieur de

l'acier pour ne pas remettre en cause le niveau de résistance initiale du substrat;

b) l'obtention après nitruration d'un gradient de propriétés mécaniques intéressant.

Les aciers à outils les plus aptes à la nitruration sont donc ceux qui présentent un durcissement secondaire entre 500 et 550 °C avec des éléments d'alliage comme le chrome ou le vanadium susceptibles de donner aux couches nitrurées de bonnes propriétés mécaniques. Ce sont donc les aciers d'outillage à chaud ou à froid de très grande résistance à l'usure que l'on rencontre le plus souvent avec une nitruration (Z 38 CDV 5, 30 CDV 12-28, Z 100 CDV 5, Z 160 CDV 12).

Les aciers rapides sont également susceptibles de donner aux couches nitrurées de très hauts niveaux de dureté, supérieurs à 1 000 HV ; toutefois, ces couches sont fragiles et leur épaisseur ne doit pas excéder quelques dizaines de μm si l'on veut éviter les écaillages en service.

Les **dépôts physiques en phase vapeur (PVD)** sont réalisés à des températures comprises entre 400 et 600 °C ; il est donc possible de les envisager sur des aciers à outils qui présentent un durcissement secondaire dans ce domaine de température ; les revêtements les plus utilisés pour l'usinage et la mise en forme sont le nitrure de titane qui assure une barrière antidiffusion dans les outils de coupe ou le nitrure de titane et d'aluminium (7 à 12 % Al) qui présente, par rapport au revêtement précédent, une meilleure résistance à l'oxydation. Pour l'utilisation en coupe, des épaisseurs faibles (1 à 2 μm) sont à conseiller pour conserver la géométrie de l'outil et notamment de l'arête de coupe. Pour l'utilisation en outillage de mise en forme, des épaisseurs comprises entre 5 et 10 μm assureront le meilleur compromis résistance à l'usure-résistance à l'égrènement en service. En effet, au-delà de 10 μm , les contraintes résiduelles contenues dans le dépôt augmentent et favorisent la fissuration et l'écaillage. Dans tous les cas de figure, l'état de surface du substrat acier doit être très soigné sur le plan physico-chimique pour assurer une très bonne adhérence. Notons également que les carbures primaires du type MC contenant du vanadium sont de bons points d'ancrage pour un revêtement de TiN et que l'adhérence du dépôt sera d'autant meilleure que ces carbures seront fins et bien répartis dans la matrice.

La température à laquelle se font les dépôts PVD étant en général compatible avec la température de nitruration, il est recommandé, notamment

dans le cas d'outillages sollicités en fatigue mécanique ou thermique, de renforcer le substrat métallique par un traitement thermo-chimique de nitruration pour réaliser un gradient de propriétés mécaniques sans couche de combinaison. Ce gradient peut être aisément réalisé par nitruration ionique avec, en plus, une très bonne préparation de surface assurée par le bombardement pour améliorer l'adhérence du dépôt qui peut être réalisé dans les mêmes enceintes.

Les dépôts réalisés par la voie liquide, notamment le dépôt de chrome électrolytique ou le dépôt de nickel chimique, peuvent être envisagés sur une gamme étendue d'aciers à outils, afin d'en améliorer les propriétés de résistance au frottement, à la corrosion et à l'usure. Les épaisseurs les plus courantes sont comprises entre 10 et 60µm, une épaisseur faible étant à privilégier lorsque les sollicitations mécaniques des outillages sont importantes pour éviter tout risque d'écaillage en service. Si des épaisseurs plus fortes sont recherchées, notamment pour constituer des protections thermiques des substrats, il faut une rugosité suffisante pour assurer une bonne adhérence du revêtement, sans que cette dernière ne soit trop importante en raison de l'augmentation de la quantité de fissures préexistantes dans le dépôt (article spécialisé de la rubrique Traitements de surface dans ce traité).

Les dépôts réalisés par rechargement intéressent surtout les outillages de mise en forme à chaud ou à froid dont les dimensions sont importantes avec des géométries complexes. Les techniques habituelles de rechargement peuvent être utilisées : soudure à l'arc avec électrode enrobée, TIG avec électrode de tungstène, MIG avec électrode fusible sous protection gazeuse, soudage sous flux avec apport sous forme de fils ou de feuillards, plasma arc transféré. Parmi ces techniques, la dernière citée assure plus de souplesse d'utilisation sur des géométries complexes et permet de renforcer sur une épaisseur minimale de 2 mm le substrat qui doit être une nuance d'acier à outil soudable (teneur en carbone limitée à 0,5 %). Dans le domaine de l'outillage à chaud, les nuances de renfort peuvent être des aciers à haute teneur en Cr et Co (15 % Cr - 15 % Co) en raison de leur très bonne tenue à la fatigue thermique. Dans le domaine de l'outillage à froid, les nuances de renfort pourront être des aciers rapides.

La réalisation de **revêtements par compaction isostatique à chaud** peut constituer une solution technico économiquement intéressante pour certaines

applications dans le domaine de l'outillage, avec les mêmes nuances de renfort que celles précédemment indiquées. La connaissance des contraintes d'usage de l'outil permet d'optimiser l'épaisseur du revêtement à réaliser entre 2 et 10mm. Cette méthode peut être employée pour certains outils soumis à de l'usure par abrasion où les épaisseurs de renforts doivent être importantes (organes de broyeurs, filières d'extrusion, pièces d'usure diverses...). Compte tenu des températures de compaction, il est nécessaire que les températures de traitement thermique du substrat et du renfort soient compatibles.

III. 7. Traitement de détente

Ce traitement a pour but de détendre les contraintes résiduelles apportées par la dernière opération d'usinage (électroérosion ou rectification) ou le réaffûtage en cours de service. Il est également très utile pour détendre les contraintes emmagasinées pendant la mise en service de l'outil : par exemple, les contraintes mécaniques et thermiques dans le cas d'un moule de coulée sous pression ou d'un outillage de mise en forme à chaud et à Michaud, les contraintes mécaniques dans le cas d'un outil de coupe, etc. Il s'agit d'un traitement identique à une opération de revenu, avec un temps de maintien identique et une température inférieure d'au moins 20 à 30 °C (50 °C si le traitement est répété entre chaque réaffûtage). Il sera donc intéressant de le pratiquer lorsque le traitement thermique de l'acier comporte un revenu à une température d'au moins 500 °C, car le détensionnement des contraintes d'usinage n'est vraiment sensible que pour des maintiens à des températures supérieures ou égales à 450 °C. À titre indicatif, dans le cas d'un acier d'outillage à chaud du type Z 38 CDV 5 dont la résistance au fluage est connue, la température minimale à atteindre pour détensionner 80 % des contraintes résiduelles est voisine de 600 °C.

Il ne faut pas oublier que le détensionnement des contraintes résiduelles va se traduire par des déformations : dans certains cas particulièrement délicats (pièces de petites dimensions devant répondre à des exigences de tolérances dimensionnelles), la relaxation des contraintes peut rendre l'outil inutilisable. L'utilisateur devra donc, dans chaque cas, faire la part des choses entre la présence de contraintes résiduelles avec les risques associés de fissurations et d'écaillage et de tolérance d'un minimum de déformations provoquées par le

traitement de détente.

III. 8.Problèmes posés par les déformations

Comme indiqué dans l'article Traitements superficiels des aciers à outils [M 1 135], il existe deux types de déformations qui ne peuvent pas être considérés indépendamment l'un de l'autre : le changement de volume et le changement de forme. Le changement de volume, lié aux transformations de structure, peut être mieux connu et contrôlé, et le changement de forme, lié à la relaxation de l'ensemble des contraintes internes, peut être minimisé par quelques règles d'ordre pratique. Le tableau 1 pose d'une manière très synthétique le problème des déformations avec les paramètres importants et les principaux moyens d'action.

III.9.Moyens d'action sur les changements de forme

L'obtention de déformations minimales peut être réalisée en suivant les trois règles fondamentales suivantes :

- présenter au traitement thermique des pièces ayant un niveau de contraintes résiduelles le plus bas possible ;
- placer les pièces à traiter dans l'équipement de chauffage de
- façon stable pour éviter les déformations dues à leur propre masse ;
- limiter le plus possible les gradients de température dans les pièces pendant la durée du cycle thermique, aussi bien au chauffage qu'au refroidissement, et notamment lors du passage des points de transformation.

III. 10.1 Contraintes résiduelles

Les contraintes résiduelles pourront être minimisées au moyen d'un prétraitement : recuit complet, recuit de détente ou prétemppe Mise en place des pièces.

III. 10.2.Dans les équipements de chauffage

Il s'agit d'un certain nombre de règles, d'ordre essentiellement pratique, qui sont le résultat de l'expérience des réalisateurs de traitements thermiques.

Dans le cas des fours à bain de sel ou à lit fluidisé, les pièces de forme géométrique simple (cylindre ou parallélépipède, par exemple) sont disposées de telle manière que leur hauteur (cylindre) ou leur grande dimension (parallélépipède) soit verticale. Les pièces de forme géométrique plus complexe (couronne ou glissière, par exemple), peuvent être bridées ou disposées sur

des supports spécialement adaptés.

Dans le cas des fours à moufles ou des fours sous vide, les pièces sont généralement disposées à plat sur des soles en acier réfractaire. Lorsque les pièces à traiter sont massives, il est préférable d'intercaler une seconde sole qui puisse accepter une certaine déformation sous leur propre masse.

III. 10.3.Limitation des gradients thermiques

Les cycles de chauffage et de refroidissement seront adaptés d'une part à l'acier, d'autre part à la technologie de traitement thermique utilisée.

Au chauffage, les pièces seront mises en place dans le four froid lorsqu'il s'agit d'un four à moufle ou d'un four sous vide et subiront une montée en température relativement lente, n'excédant pas 300 °C/h avec, si possible, un palier de 1 h au moins à 850 °C pour les aciers à outils les plus alliés qui ont la plus faible conductivité thermique. Ces mêmes pièces subiront, en bains de sels ou en lits fluidisés, des préchauffages avec différentes étapes selon la nature de l'acier à traiter (§ 1.2.1, 1.2.2 et 1.2.3).

Tableau 1 – Problèmes posés par les déformations au traitement thermique des aciers à outils : principaux paramètres et moyens d'action			
Aspect	Origine	Paramètres importants	Moyens d'action
Changement de volume.	Modifications des structures, dues au traitement thermique.	<ul style="list-style-type: none"> – Cycle de traitement. – Nature de l'acier. 	<ul style="list-style-type: none"> – Utilisation de courbes de changement de volume (article <i>Traitement superficiel des aciers à outils</i> [M 1 135] dans ce traité). – Contrôle à la trempe et au revenu.
Changement de forme.	Contraintes résiduelles qui dépassent localement la limite d'élasticité du matériau : <ul style="list-style-type: none"> – contraintes de transformations structurales ; – contraintes thermiques. 	<ul style="list-style-type: none"> – Usinage (ou traitement) antérieur. – Mise en place des pièces dans les équipements de chauffage. – Passage des points de transformation. – Gradients thermiques provenant : <ul style="list-style-type: none"> • d'une pièce massive, • d'un changement de section important, • d'une variation rapide de température, • de la faible conductivité de l'acier, notamment s'il est très allié. 	<ul style="list-style-type: none"> – Traitement de relaxation des contraintes avant trempe (recuit de détente). – Mise en place correcte des pièces dans les équipements de chauffage. – Passage lent des points de transformation (Ac₁, Ac₃ ou Ac_m). – Diminution des gradients thermiques.

Tableau 1 – Problèmes posés par les déformations au traitement thermique des aciers à outils : principaux paramètres et moyens d'action

Au refroidissement, le choix se portera sur le mode de trempe le moins

sévère possible compatible avec la trempabilité de l'acier. La trempe par étape, si elle est possible, sera préférée à la trempe à l'air en raison du faible gradient thermique réalisé lors du passage du point M_S . La température de l'étape dépend très étroitement de la nature de l'acier ; pour des aciers d'outillage à chaud ou des aciers rapides, qui présentent un grand domaine de stabilité de l'austénite entre 400 et 600 °C, l'étape se fera entre 450 et 520 °C avec un arrêt à l'huile ou à l'air selon la masse de la pièce traitée ; pour des aciers d'outillage à froid moins alliés qui ne présentent pas de domaine de stabilité de l'austénite vers 500 °C (90 MV 8, 100 C 6, etc.), l'étape pourra se faire vers 200 °C juste au-dessus de M_S ; les cas difficiles correspondant à des outils en aciers alliés de forme complexe (avec augmentation du risque de tapures) pourront être traités en double étape, l'une vers 550 °C, l'autre vers 200 °C en utilisant des bains de sel de bonne fluidité dans ce domaine de température, comme par exemple les bains à base de nitrites et nitrates de sodium et potassium. Un cas de traitement utilisant cette dernière technique peut être la trempe de matrices de découpage en acier Z 100 CDV 5 ou Z 200 C 12.

2-2 Moyens d'action sur les changements de volume

Les variations dimensionnelles liées aux transformations structurales lors de la trempe et du revenu des aciers à outils peuvent être déterminées par des études associant un couplage entre les données métallurgiques et les calculs thermo métallurgiques réalisés au moyen de codes aux éléments finis. À titre d'exemple, la figure 4 donne la déformée après trempe à l'eau d'un cylindre de 200 mm de longueur et de 90 mm de diamètre après trempe à l'eau (à partir de 850 °C) dans le cas d'un acier à 0,15 % de carbone. L'amplitude des déformations dépend bien entendu de l'importance des transformations de phase et par voie de conséquence de la trempabilité de l'acier ainsi que de sa teneur en carbone.

Les courbes des changements de cote en fonction des températures d'austénitisation et des températures de revenu peuvent servir de guide pour le traitement optimal. Un exemple en est donné dans l'article Traitements superficiels des aciers à outils [M 1 135]. La totalité des déformations (variations de forme) dues aux contraintes thermiques est introduite lors de la trempe ; au cours du revenu, seuls les changements de volume interviennent, si bien que

toutes les cotes obtenues après trempe varient dans le même sens. Les variations dimensionnelles minimales pourront être réalisées en jouant sur la température d'austénitisation et sur la température de revenu (effets opposés de contraction liée au revenu de la martensite et de dilatation liée à la transformation de l'austénite résiduelle).

Il faut également tenir compte de l'anisotropie des déformations, provoquée par les carbures dans le cas des aciers à outils les plus alliés (aciers au chrome lédeburitiques et aciers rapides), avec effet d'expansion dans le sens des alignements de carbures et rétreint dans les directions perpendiculaires. Il est alors préférable de prélever l'outillage de telle façon que le plan dans lequel les problèmes de variations dimensionnelles sont les plus critiques soit perpendiculaire au sens de corroyage.

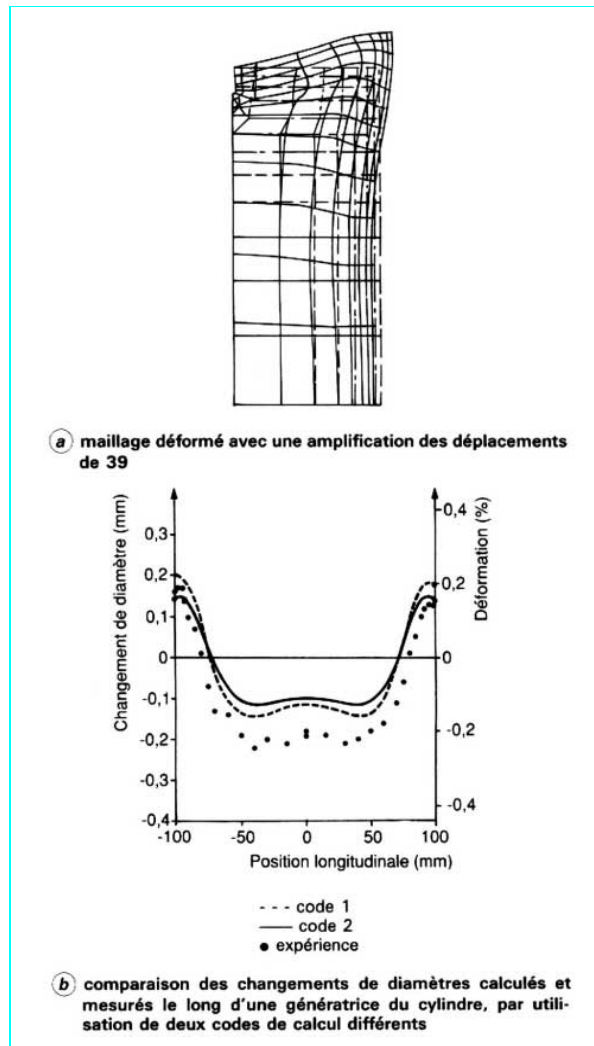


Figure III.4 Déformée d'un cylindre en acier peu allié à 0,15 % de

carbone de 200 mm de long et de diamètre 90 mm après trempe à l'eau

Incidents au traitement thermique et remèdes.

Lors du traitement thermique d'outils, il peut se produire plusieurs incidents qui conduisent au rebut de la pièce ou à un rendement insuffisant en service. Il s'agit en particulier des tapures, des déformations trop importantes, d'un excès de fragilité et des variations de la composition des couches superficielles de la pièce traitée, surtout par décarburation.

III.1.10.4. Tapures

Il s'agit d'une fissuration qui se produit pendant l'opération de trempe, lorsque la vitesse de refroidissement est rapide et l'acier peu ductile. Un exemple de l'origine des tapures est donné sur la figure [5](#) où, lors des opérations de refroidissement, la couche extérieure qui s'est transformée la première est soumise tout d'abord à des contraintes de compression, puis à des contraintes d'extension lorsque le cœur est successivement à l'état austénitique, puis transformé selon la trempabilité de l'acier en agrégats ferrite-carbures, en bainite ou en martensite. Lorsque les contraintes d'extension de la couche externe sont amplifiées par des facteurs de géométrie, elles peuvent dépasser la charge de rupture du matériau et c'est le phénomène de tapure. Les fissures peuvent également s'amorcer au chauffage par choc thermique et se propager au cours du refroidissement, ou après trempe et avant revenu, lorsque la structure n'est pas stabilisée. Si les tensions internes n'entraînent pas de tapures au cours du traitement, elles se maintiennent dans l'outil et peuvent conduire à la rupture, soit en service avec les sollicitations de travail, soit même au cours du stockage.

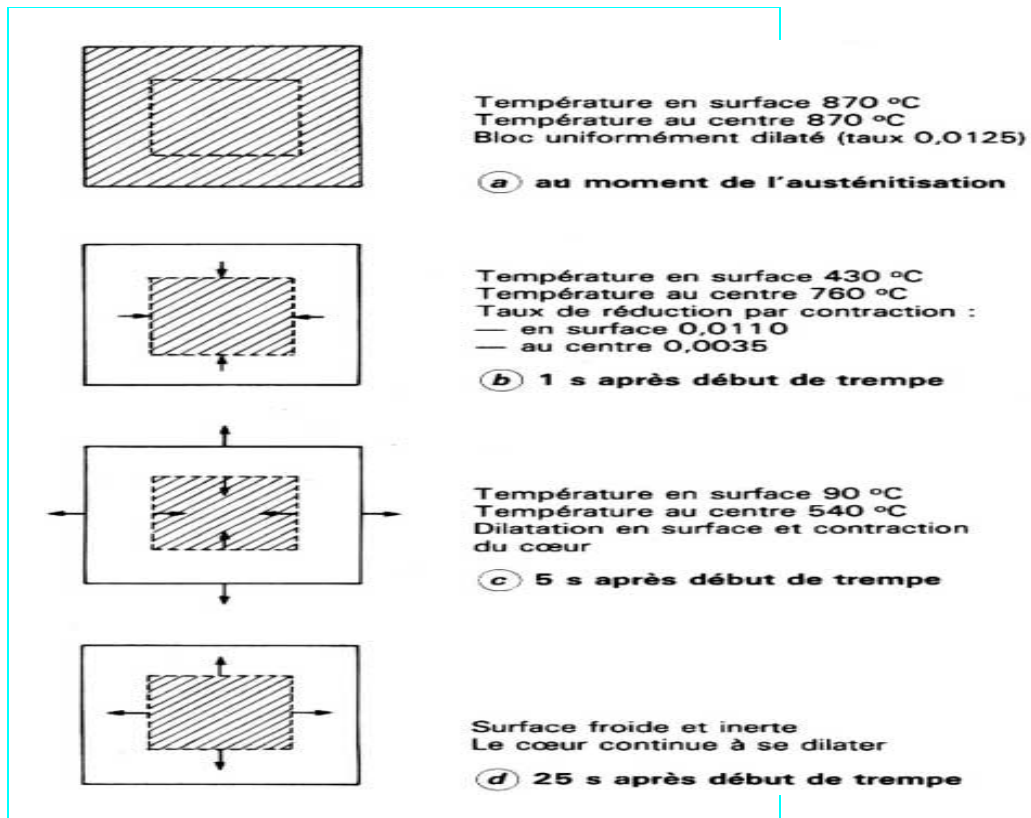


Figure III.5 Représentation schématique de l'état des contraintes à l'intérieur d'un bloc d'acier après trempe à l'eau pour obtenir l'effet de durcissement

Les tapures sont liées soit à des problèmes de géométrie (angles vifs, usinage grossier avec rayures), soit à des problèmes métallurgiques (décarburation superficielle, structure aciculaire, excès de contraintes internes, etc.). Les principales causes d'incidents et les remèdes proposés sont rassemblés dans le tableau 2.

Déformations excessives

Comme les tapures, les déformations ont pour origine un excès de contraintes résiduelles. Il faut donc rechercher les causes de ce défaut dans des problèmes d'ordre métallurgique : stabilisation insuffisante, température d'austénitisation trop élevée ou non uniforme, refroidissement trop sévère, mauvais mode de prélèvement de l'outil dans la barre, etc. Les principales causes d'incidents et les remèdes proposés sont rassemblés dans le tableau 3.

Fragilité

La sensibilité à la propagation des fissures, qui est déjà relativement forte dans les aciers à outils, peut être accentuée par des incidents lors du traitement de trempe et revenu qui conduisent à la rupture des pièces soit après

traitement, soit en service. Il s'agit d'un excès de fragilité provoqué par le traitement d'austénitisation, ou par le traitement de revenu. Le tableau [4](#) donne les principales causes d'incidents et les remèdes proposés.

Décarburation

Ce phénomène, décrit dans l'article Traitements superficiels des aciers à outils [M 1 135], a une influence très néfaste sur le comportement de l'outil, au cours du traitement thermique et en service, par suite de l'abaissement sensible des propriétés mécaniques des couches superficielles. Pour remédier à ce problème, les règles sont les suivantes :

- choisir les dimensions du bloc d'acier en fonction de l'outil à réaliser : se référer aux normes de tolérances dimensionnelles et surépaisseurs d'usinage (NF A 45-103 pour les barres et plats laminés, NF A 45-104 pour les barres et plats forgés) ;
- utiliser, dans la mesure du possible, des atmosphères contrôlées pour les fours à moufles, des bains de sels ou des fours sous vide pour le traitement des aciers hautement chargés en carbone, molybdène et vanadium (aciers rapides, aciers pour moules, aciers d'outillage à froid alliés, etc.) ;
- utiliser de la tournure de fonte, des feuillards d'emballage dans les fours chauffés au gaz ou à l'électricité sans contrôle d'atmosphère.

La profondeur décarburée peut être actuellement appréciée par des moyens de contrôle non destructif comme les méthodes magnétiques (perméabilité incrémentale) avec l'utilisation de capteurs adaptés à des surfaces planes ou cylindriques. Ces méthodes sont utilisées sur des fils en acier à ressort ou en acier à roulement car on connaît l'incidence de la décarburation superficielle sur la tenue en fatigue dans la masse ou la tenue à la fatigue de roulement. Elles devraient pouvoir se généraliser dans un avenir proche à l'ensemble des aciers à outils. [6]

III.2. Technique de Sablage

III.2.1. Procédé

Le sablage est un procédé destiné à enlever la couche supérieure du support ou pour la rendre rugueuse. L'agent de sablage, poussé par de l'air comprimé, frappe la surface du support avec une grande énergie et y dissout, en fonction de l'agent de sablage utilisé et de la nature du support une certaine épaisseur de couche. Le sablage se fait normalement sur un support sec.

Le sablage constitue en même temps un contrôle de qualité de la nature du support puisque la couche supérieure est ainsi soumise à un essai de dureté. Le sablage ne permet pas d'égaliser des irrégularités existantes, au contraire, ce procédé accentue fortement des irrégularités telles que des nids de gravier, fissures, etc. Selon la consistance du support, le sablage peut également générer des irrégularités. L'agent de sablage, le grain et la pression doivent être adaptés au support à traiter ainsi qu'à l'effet souhaité.

Le procédé de sablage est très souple et s'adapte au support concerné, qu'il soit horizontal, vertical voire fortement profilé. Des têtes de sablage spéciales permettent de traiter des coins difficiles d'accès ou les parois intérieures de tuyaux.

Le sablage génère normalement une importante émission de bruit et de poussière. La génération de poussière peut être limitée voire totalement supprimée par l'utilisation d'unités d'aspiration spéciales et de cartes ou avec des installations de sablage à eau. Dans tous les cas de figure, l'OPAir (Ordonnance sur la protection de l'air) doit être respectée.

III.2.2. Procédés de sablage : Sablage à sec, sablage fin, sablage à vide, sablage à voie humide, sablage à l'eau, sablage cryogénique, micro-sablage, sablage basse pression.

III.2.3 Domain d'application

Le sablage permet de nettoyer, de rendre rugueux ou de décaper un support. En fonction du support, l'agent de sablage doit être utilisé avec le grain adapté et la pression appropriée. Pratiquement tout support peut être traité par sablage. En fonction du support, il faut obligatoirement procéder à des clarifications préliminaires afin de pouvoir prendre les mesures de sécurité appropriées.

III.2.4.Dangers potentiels : Dégagement de métaux lourds, amiante, PCB (biphényles polychlorés), HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), PCP (pentachlorophénol), etc.

III.2.5.Supports : Béton, ouvrages de maçonnerie, chapes, tout type d'enduit, peinture, bois, métal, synthétiques, verre, asphalte, revêtements goudronnés, ect

III.2.6.Agents de sablage : Corindon, scories de haut fourneau, scories métallurgiques, billes de verre, débris de verre, billes d'acier, débris d'acier, mousse, coques de noisette, noyaux d'abricot, etc.

III.2.7.Granulations : 0,01 mm à 3 mm.

III.2.8.Conditions cadre

Les travaux de sablage peuvent s'effectuer en principe sur des surfaces horizontales, verticales, profilées voire surfaces au-dessus du niveau de la tête. Un emplacement d'installation doit être disponible pour les travaux de sablage. Les locaux ou surfaces doivent être déblayés avant les travaux de sablage afin de pouvoir réaliser des caches, carters, démontages, etc. Les unités d'aspiration nécessaires au procédé de sablage sont à installer; elles requièrent des branchements électriques du type CEE 32. Les compresseurs à air comprimé sont en règle générale entraînés par des moteurs diesel et équipés de filtres à particules. En cas de sablage de matériaux problématiques, les autorisations correspondantes sont à demander au plus tard deux semaines avant le début des travaux auprès des autorités compétentes (canton et/ou SUVA). L'entreprise de sablage doit s'en charger. Au début des travaux de sablage, il faut réaliser un échantillon de sablage. Cet échantillon devra être réceptionné par le donneur d'ordre et servira de surface de référence. Les travaux de sablage seront suivis par l'évacuation de l'agent de sablage et du matériau décapé ainsi que le nettoyage et la décontamination éventuelle des surfaces traitées. Ces travaux peuvent être à la charge du client ou confiés à l'entreprise de sablage. Le matériau décapé doit être éliminé conformément aux dispositions en vigueur.

III.2.9.Réception

Le donneur d'ordre doit procéder immédiatement après l'achèvement des travaux de sablage à leur réception. Sinon, la surface sera considérée comme tacitement

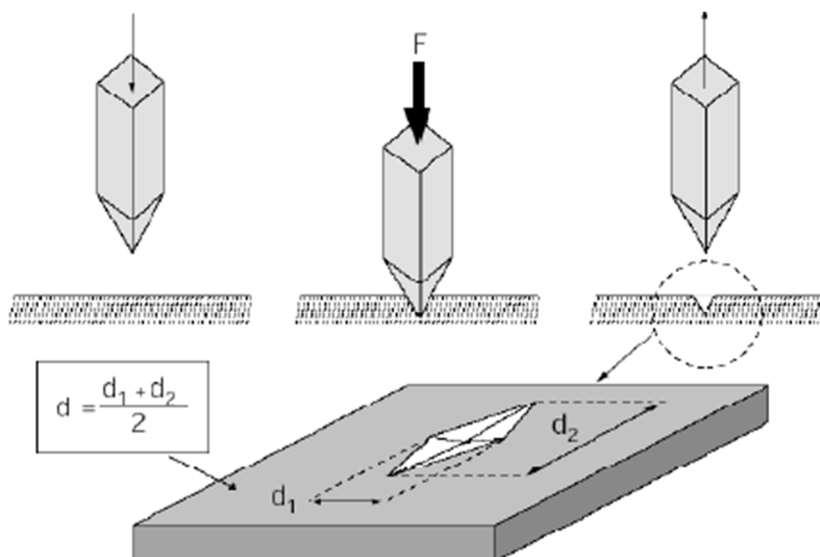
acceptée. Il est à noter que l'entreprise chargée du sablage est seulement responsable du décapage et non de la nature du support. Elle est dégagée de toute responsabilité en ce qui concerne la nature du support en soi. Celle-ci incombe toujours au constructeur du support ou au client.

Le métré se fait en règle générale selon la surface effectivement traitée au m^2 , m^1 ou à l'unité. Des surfaces non sablées inférieures à $1 m^2$ ne sont pas déduites. Des métrés supplémentaires font l'objet d'une mention séparée et devront être convenus avant l'exécution des travaux. Lors de travaux de sablage, les travaux de recouvrement, échafaudages, carters, nettoyage, décontamination et élimination sont considérés comme «prestations annexes non comprises» et devront être rémunérés séparément. Les transports, l'installation et le déplacement des sableuses et unités d'aspiration sont indiqués et rémunérés séparément.[7]

III.3. Contrôle de dureté

III.3.1 Mesure de la dureté

Il existe différents essais de dureté correspondant à différentes géométries d'indenteurs. Les plus connus sont les essais Vickers, Brinell, Rockwell,... (figure I.2). Les différents types de mesures de dureté ont été développés indépendamment les uns des autres et doivent être considérés comme correspondant à des caractéristiques sans lien entre elles. Toute fois pour éviter toute comparaison illicite entre les valeurs de dureté, certains essais sont plus recommandés que d'autres. Citons, par exemple, l'essai Rockwell pour les matériaux très durs (Carbure, Acier



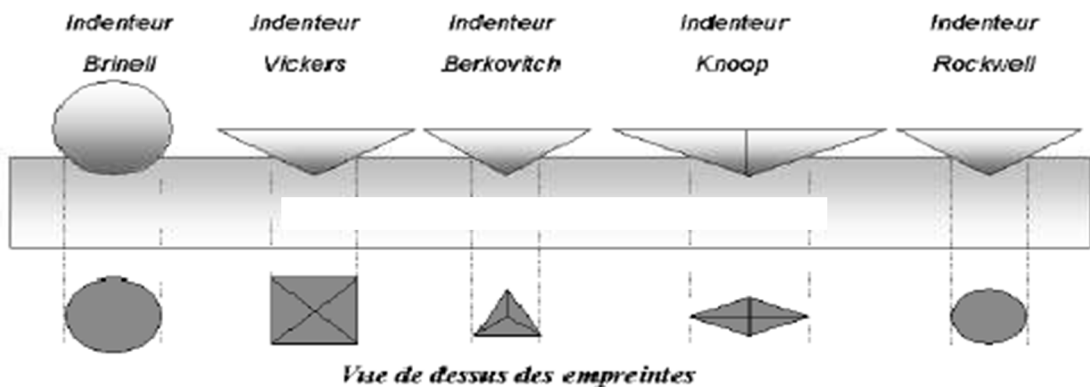


Figure.III.6 : Principaux indenteurs

La normalisation et l'utilisation massive de ces essais ont amené la dureté à être considérée comme une caractéristique mécanique des matériaux au même titre que le module de Young ou la limite d'écoulement.

Cette notion de dureté semble très simple à appréhender puisqu'elle fait appel au sens élémentaire du toucher. En effet, pour évaluer la dureté d'un matériau, chacun d'entre nous aura le réflexe d'exercer une pression pour sentir sa résistance [10]. Cependant, si la mesure de dureté est facile, sa valeur n'a de sens que si l'on précise les conditions et dispositifs de mesure. Concernant les alliages métalliques, la dureté se rapporte essentiellement à leurs propriétés plastiques. En effet, elle est d'autant plus importante que la limite d'écoulement plastique du matériau est grande. La dureté au sens de Brinell semble donc convenir. En revanche, lors d'essais de dureté sur des matériaux hyper élastiques comme les élastomères, il n'existe pas d'empreinte rémanente. Selon la définition classique de la dureté, les caoutchoucs seraient infiniment plus durs que les métaux.

Meyer, et par la suite Tabor [12], suggèrent de définir la dureté des matériaux comme le rapport entre la charge appliquée et la surface projetée de contact sous charge. La dureté est alors la pression moyenne sous charge (ou pression moyenne de contact). Il justifie son approche en remarquant que pour les indenteurs dit "pointus" (Vickers, Berkovitch, Rockwell, Cône...) et lorsque les matériaux testés sont élastoplastiques, la pression moyenne de contact est indépendante de la charge appliquée. La notion de dureté est alors directement liée à la notion de résistance à la

pénétration d'un indenteur et est ainsi une mesure des propriétés mécaniques du solide indenté. Une des principales difficultés de cette définition est la mesure sous charge de la surface de contact. Remarquons que cette définition de la dureté est similaire à celle de Brinell lorsque les matériaux sont infiniment rigides (pas de retour élastique lors de la décharge).

En raison de sa facilité de mise en œuvre et de son caractère non destructif, l'essai de dureté est depuis longtemps utilisé pour caractériser certaines propriétés mécaniques des matériaux comme l'élasticité, la plasticité, la viscosité et l'endommagement. Malheureusement, à la facilité de mise en œuvre de ces essais s'oppose la difficulté d'interprétation des résultats d'un point de vue théorique. Dans un premier temps, des études théoriques de plasticité parfaite [13,14] ont permis de relier, pour des aciers, la valeur de la dureté à la limite d'écoulement. A partir d'études expérimentales, Tabor introduit le concept de contrainte et de déformation représentative de l'essai d'indentation. Ce concept est très séduisant car il s'appuie sur le fait qu'il existe un lien entre la courbe contrainte-déformation uni axiale des matériaux et l'essai de dureté.

La technique conventionnelle d'indentation repose sur la mesure de la résistance opposée à la pénétration d'un indenteur en diamant. Le duromètre génère dans le matériau à tester une empreinte résiduelle dont les dimensions sont corrélées à la valeur de la dureté. Son estimation passe soit par la mesure de la diagonale de l'empreinte soit par le diamètre de celle-ci (dureté Brinell).

Généralement le duromètre comprend le porte indenteur, le système d'avance ainsi que la régulation électronique et le système optique. Les charges sont appliquées grâce à un système de leviers et de poids fixes. La plage de mesure est limitée et discrète. Le système comprend un moteur électrique intégré qui assure le positionnement du l'indenteur puis l'application de la force. L'optique est ensuite basculée afin de projeter l'empreinte résiduelle sur le verre dépoli. L'optique se compose du dispositif de projection et de l'éclairage, l'empreinte est projetée sur le verre dépoli. En tenant compte de la charge appliquée et du grossissement, le système est capable d'évaluer la taille de l'empreinte et donc de déterminer la dureté.

Les duromètres conventionnels diffèrent du point de vue gamme de la charge. Contrairement aux matériaux ductiles qui peuvent être testés avec de grandes charges (macro dureté), les matériaux fragiles tels que les verres peuvent subir des microfissures au delà d'un seuil de charge. Dans ces cas (matériaux fragiles), on est contraint d'utiliser des indenteurs pointus (Vickers, Knoop, Berkovich) pour pouvoir obtenir facilement des empreintes et se limiter, à des petites charges (micro dureté ou nano dureté) pour éviter la présence de fissures.[8]

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Un alésoir est un outil de coupe semblable à un foret. Il permet de calibrer avec précision un trou cylindrique (alésage) ébauché à l'aide d'un foret. Contrairement au foret qui enlève le métal à son extrémité, l'alésoir possède des lèvres longitudinales (rectilignes ou hélicoïdales) parfaitement affûtées qui enlèvent le métal en augmentant très légèrement le diamètre du trou.

L'alésoir est utilisé manuellement par l'ajusteur ou sur une aléseuse, machine-outil spécialisée pour le perçage et l'alésage. Pour faire tourner manuellement un alésoir on utilise un tourne-à-gauche.

En mécanique, l'alésage est l'opération d'usinage consistant à retoucher l'intérieur d'un cylindre, généralement ébauché au préalable, au moyen d'outils variés : foret, alésoir ou autres outils spéciaux montés sur une barre d'alésage ou une tête à aléser. Plus généralement, c'est la régularisation très précise de l'intérieur d'un tube, d'un trou.

L'opération d'alésage, vise le plus souvent deux objectifs :

- calibrer la précision dimensionnelle, en se conformant à des normes industrielles de qualité, telles que celles définies par l'AFNOR ;
- améliorer la finition de l'état de surface.

Après avoir fait cette étude sur les alésoirs, nous avons tiré les objectifs suivants.

Il faut respecter les conditions de coupe : vitesse de rotation, avance, lubrification, type de matière.

En mécanique, l'alésage est l'opération d'usinage consistant à retoucher l'intérieur d'un cylindre, généralement ébauché au préalable, au moyen d'outils variés : foret, alésoir ou autres outils spéciaux montés sur une barre d'alésage ou une tête à aléser. Plus généralement, c'est la régularisation très précise de l'intérieur d'un tube, d'un trou.

L'opération d'alésage, vise le plus souvent deux objectifs :

- calibrer la précision dimensionnelle, en se conformant à des normes industrielles de qualité, telles que celles définies par l'AFNOR ;
- améliorer la finition de l'état de surface.

Ces objectifs ne peuvent être atteints qu'en optimisant les conditions de coupe : vitesse de rotation, avance, lubrification, type de matière. Pour obtenir les qualités citées, les alésoirs droits et hélicoïdaux doivent être montés « flottants » dans des mandrins de ce type et ne peuvent en aucun cas corriger les écarts axiaux.

L'alésage peut se pratiquer manuellement grâce à un alésoir⁴, outre autres, mais il est généralement réalisé à l'aide de machines-outils : tour, fraiseuse ou, pour les grosses pièces, sur une aléseuse.

CONCLUSION GENERALE

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[1] techniques d'ingénieries.

[2] Ali Achour {étude de comportement en usure de outils de coupe en fonction de rouvettement } ; Université Mentouri Constantine ; 2006.

[3] Chafik Labidi {amélioration de la durée de service d'outils d'usinage par traitement de surface et préparation de l'arête de coupe } ; thèse Ecole doctorale N°432 ; 2006.

[4] techniques d'ingénieries .

[5] Mohamade Jrad {modélisation des perçage à grande vitesse approche : analytique, numérique et expérimentale } ; thèse ; 2007.

[6]- technique d'ingénieur .

[7] pavidensa {Technique de préparation du support de sablage } ; 2014.

[8] Chorfa Abdallah {Etude de fissuration du verre par l'indentation instrumentale} ; université Farhate Abbas Setif .2010.

RESUME

Résumé

Les outils de coupe travaillent dans des conditions très sévère, pour cette raison il faut toujours respecter les conditions de coupe de chaque outil, conformément aux exigences techniques de chaque matériaux.

Parmi les paramètres essentiels nous avons cité la vitesse de coupe, la nuance de l'outil et la passe .

summary

The cutting tools work in very severe conditions, for this reason always respect the cutting conditions of each tool, according to the technical requirements of each material.

Among the essential parameters we mentioned the cutting speed, the material of the tool and the pass.

ملخص

تعمل أدوات القطع تحت ظروف قاسية جدًا، ولهذا السبب من الضروري دائمًا احترام شروط القطع لكل

أداة. وفقًا للمتطلبات التقنية لكل مادة. من بين المعلومات الأساسية اقتبسنا سرعة القطع، وطبيعة مادة الأداة

وكذلك عمق المادة المأخوذ.