

# Coupe des métaux 2

*Université de M'sila*



CH III : Usinage dur et usinage à sec – l'usinabilité des  
matériaux

DR : ARSLANE Mustapha

MAB / UNIV de M'sila

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	3
<b>Introduction</b>	4
<b>I - Chapitre III : Usinage dur et usinage à sec – l'usinabilité des matériaux</b>	5
1. A. Usinage dur et usinage à sec .....	5
1.1. Usinabilité des matériaux durs .....	6
2. B. l'usinabilité des matériaux .....	16
2.1. L'usinabilité .....	17
2.2. Facteurs influençant l'usinabilité .....	17
2.3. Les critères de durée de vie d'arête de coupe d'outil .....	17
2.4. La fragmentation des copeaux .....	17
2.5. Les critères d'usinabilité .....	18
2.6. Importance de l'usinabilité .....	20
2.7. Amélioration de l'usinabilité .....	20

# Objectifs

L'objectif de la matière "**Coupe de métaux 2**" est d'approfondir les connaissances dispensées dans la matière "**Coupe de métaux 1**". On trouve ainsi, d'autres connaissances avec plus de détails. Ces deux matières visent pour atteindre une bonne compréhension et une maîtrise du phénomène de coupe.



# Chapitre III : Usinage dur et usinage à sec – l'usinabilité des matériaux



## 1. A. Usinage dur et usinage à sec

L'usinage est un processus de fabrication qui permet de façonner des pièces à partir de matériaux bruts. Il existe de nombreuses techniques d'usinage, dont l'usinage dur et l'usinage à sec. L'usinage dur est une technique d'usinage qui permet d'usiner des matériaux durs, tels que les aciers trempés, les alliages de titane et les céramiques. Il se caractérise par des vitesses de coupe élevées, des avances faibles et des efforts de coupe importants. Les températures dans la zone de coupe peuvent atteindre 1500°C. L'usinage à sec est une technique d'usinage qui ne nécessite pas l'utilisation de lubrifiant ou de fluide de refroidissement. Cela permet de réduire les coûts et les problèmes environnementaux liés à l'utilisation de lubrifiants. Cependant, l'usinage à sec peut être plus difficile à mettre en œuvre que l'usinage avec lubrifiant, car il génère plus de chaleur et d'usure des outils.

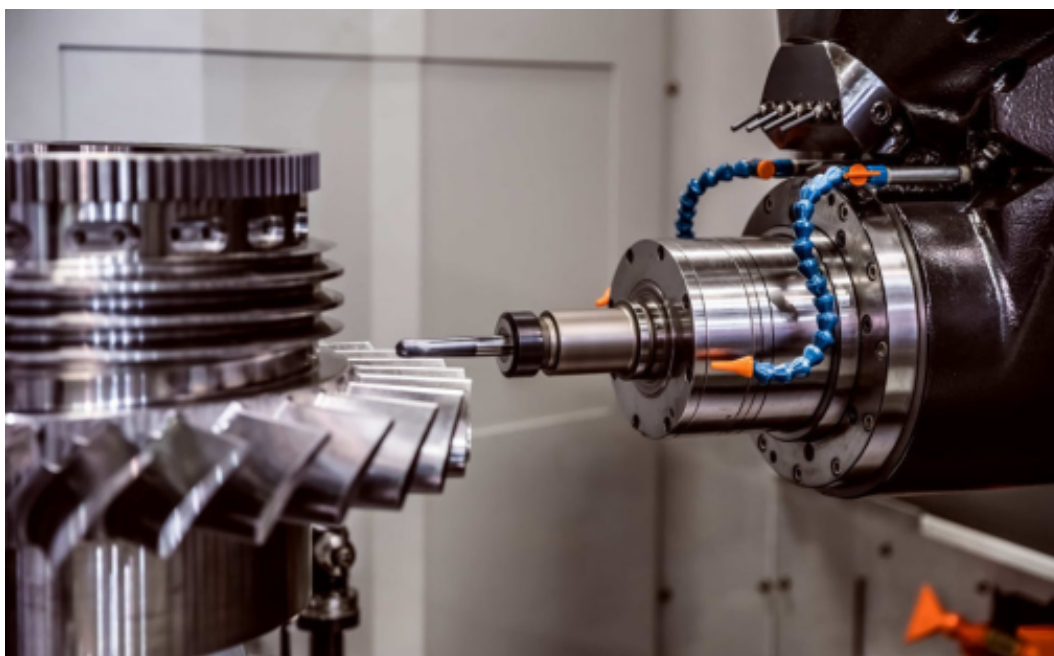
L'usinage dur avec une arête de coupe géométriquement définie offre plusieurs avantages significatifs, notamment des temps d'usinage réduits, une qualité de surface améliorée et des économies d'opérations de rectification. Ces bénéfices sont particulièrement remarquables lors de l'usinage d'aciers à haute dureté, dépassant les 56 HRC. Pour répondre à ces besoins, une gamme variée de solutions d'outils est proposée par des entreprises spécialisées dans la technologie des outils. Par exemple, le matériau de coupe CBN s'est avéré être une option efficace pour les opérations de rainurage, offrant une performance fiable et une durabilité élevée dans des conditions d'usinage exigeantes.



### 1.1. Usinabilité des matériaux durs

L'usinabilité des matériaux durs est la capacité d'un matériau à être usiné facilement et efficacement. Les matériaux durs sont généralement difficiles à usiner car ils sont résistants à la déformation et à l'abrasion. Cela peut entraîner des problèmes tels que l'usure des outils, la formation de copeaux défavorables et une mauvaise finition de la surface.

L'usinage de pièces en matériau dur s'effectue encore bien souvent par rectification. Cependant le tournage dur avec des géométries de coupe adaptées est trois fois plus rapide et trois fois moins élevé en coût.

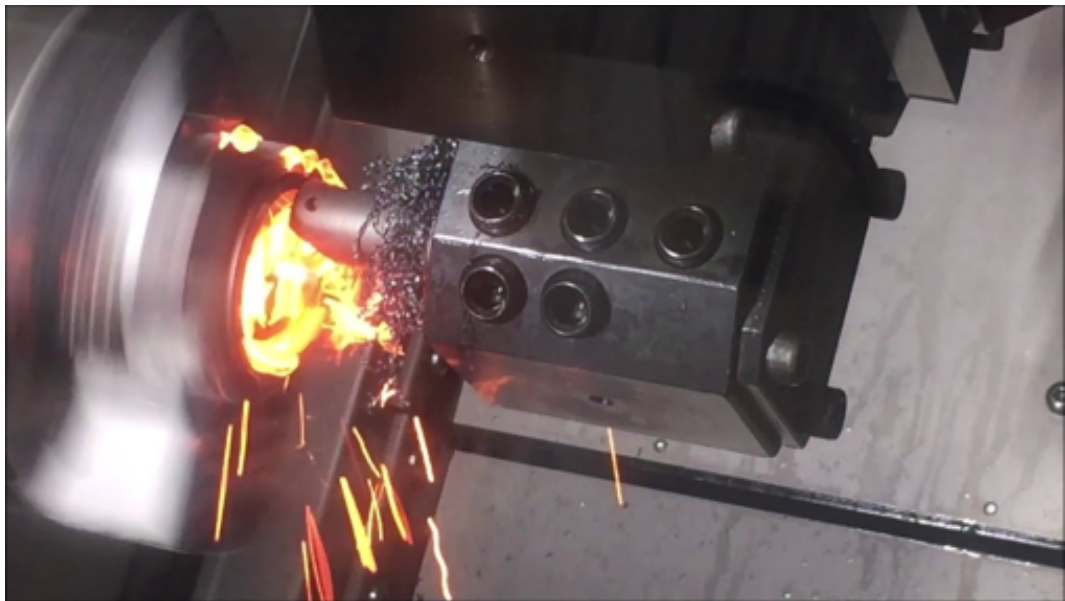


### 1.1.1. Tournage dur

Le tournage des aciers d'une dureté supérieure à 45 HRC, de manière typique dans la plage 55 à 68 HRC, s'appelle le tournage dur. C'est une alternative économique à la rectification, et qui peut atteindre une rugosité  $Ra=0.2\mu m$ , et une précision dimensionnelle de qualité 6.

L'usinage dur se distingue par l'utilisation de faibles profondeurs de coupe et d'avances, associées à des efforts spécifiques de coupe considérables. Cette approche génère des températures très élevées à l'interface entre l'arête de coupe et la pièce, pouvant atteindre entre 500°C et 1500°C selon les conditions de travail. Pourtant, malgré ces conditions extrêmes, l'usinage dur offre une alternative viable à de nombreuses opérations de rectification pour la finition de pièces trempées.

Le tournage dur s'est avéré capable de réduire les temps d'usinage et les coûts de plus de 70 % tout en apportant plus de flexibilité, une qualité plus élevée et des temps de production moins longs.



#### a) Les avantages du tournage dur

- Process de production plus simple, semblable au tournage conventionnel.
- Utilisation flexible des machines. Les mêmes machines servent pour le tournage extérieur et intérieur.
- Productivité accrue.
- Coût à la pièce plus faible.
- Pièces de forme complexes usinée en un seul montage.
- Respect de l'environnement : pas d'arrosage, pas de résidus de rectification.
- Capable de procurer des états de surface de l'ordre de 2 à 3  $\mu m$ , une rondeur de 0,2  $\mu m$  et une tolérance sur le diamètre de  $\pm 5 \mu m$ .
- Il produit également des copeaux faciles à récupérer puis à recycler, contrairement aux boues issues de la rectification
- Il est adapté à l'usinage d'aciers très durs jusqu'à 56 HRC à grande vitesse (UGV), générant ainsi un gain de productivité



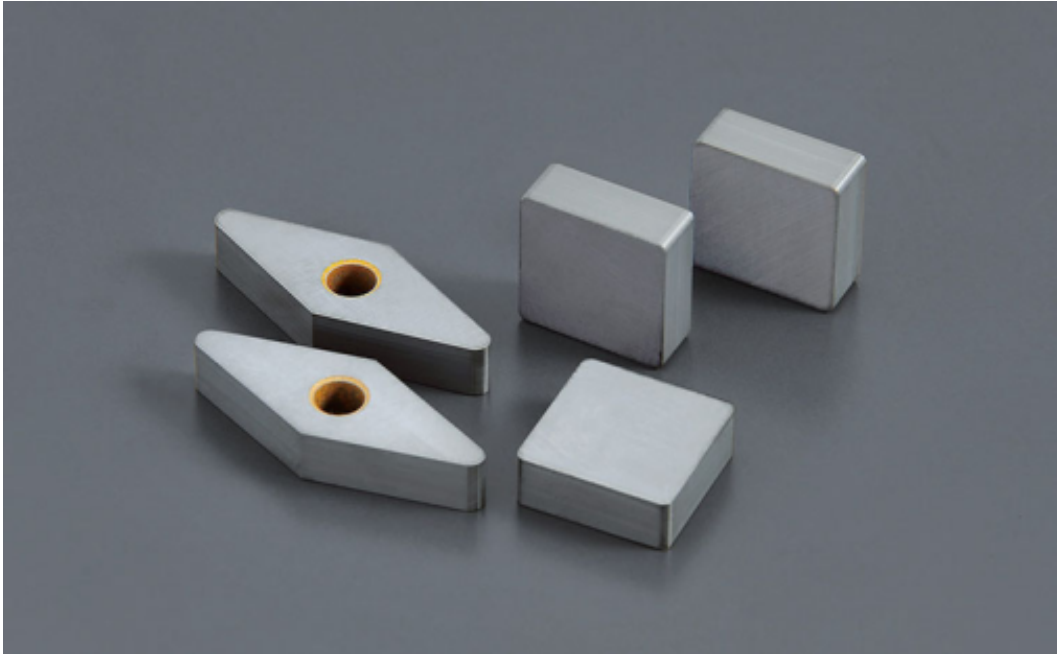




#### d) Matériaux de coupe

La céramique peut être utilisée avec des matières d'une dureté de 50 à 60 HRc environ s'il n'est pas nécessaire d'avoir de très bons états de surface. Pour l'usinage des alliages (à base nickel et autres), on utilise :

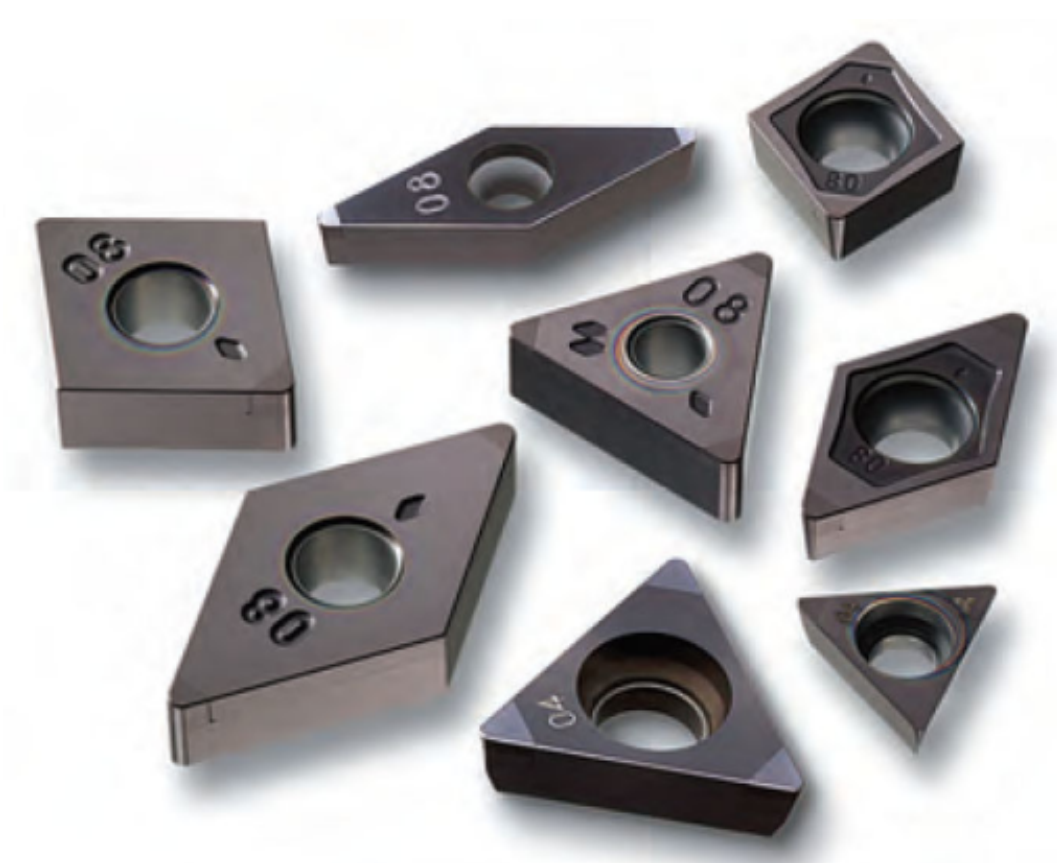
- **CC620** : Céramique à base d'oxyde pour la finition à grande vitesse des fontes grises dans des conditions stables à sec.
- **CC650** : Céramique mélangée pour la finition à grande vitesse des fontes grises et des matières trempées. Finition à grande vitesse dans des conditions stables. Convient aussi pour les opérations de semi-finition des alliages et les superalliages réfractaires dans des applications plus ou moins instables c.a.d si les besoins en ténacité sont peu élevés.
- **CC670** : Céramique à whiskers (à moustache ou contenant des particules) avec excellente ténacité pour le tournage, les gorges et le fraisage des alliages à base Ni. Peut aussi servir pour le tournage dur sous conditions défavorables. Ébauche à semi-finition, coupes interrompues
- **CC6050** : Céramique mélangée pour la finition légère continue dans les matières trempées. Semi-finition coupes continues.
- **CC6060** : Nuance Sialon pour des performances optimisées en tournage de superalliages réfractaires pré usinés sous conditions stables. Usure prévisible en raison de la bonne résistance à l'usure en entaille.
- **CC6065** : Sialon renforcé pour le tournage des superalliages réfractaires exigeant des plaquettes tenaces (Le sialon est l'acronyme de silicon-aluminum-oxygen-nitride, c'est une céramique réfractaire à base de silicium, d'aluminium, d'azote et d'oxygène (oxynitride de silicium et d'aluminium).
- **CC6090** et **CC6190** : Nuance nitrure de silicium pour le tournage ébauche à finition et le fraisage grande vitesse à sec des fontes, des fontes nodulaires perlitiques et des fontes trempées



Mais les nuances au nitrure de bore cubique (CBN) sont les mieux adaptées au tournage dur. Elles ne doivent toutefois pas être utilisées pour des aciers d'une dureté inférieure à environ 48 HRc. Les plaquettes modernes multi pointes offrent jusqu'à 8 arêtes.

Les nuances recommandées sont :

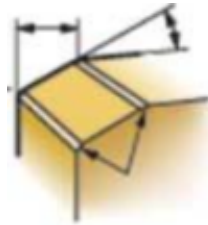
- **CB7015** : Coupes continues ou légèrement interrompues.
- **CB7025** : Coupes légèrement ou fortement interrompues.
- **CB7525** : Coupes fortement interrompues et conditions instables.



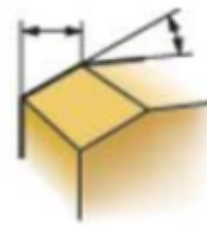
## i Micro géométrie de plaquette

Il existe deux sortes de géométries d'arête pour les plaquettes CBN :

- Type S : La meilleure résistance d'arête. Résistance au micro écaillage et états de surface de qualité constante.
- Type T : États de surface optimaux dans les coupes continues et peu de bavures dans les coupes interrompues. Forces de coupe plus faibles.



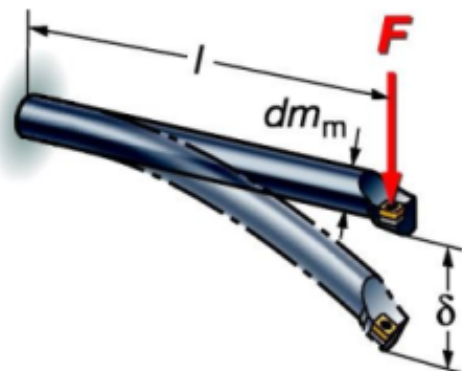
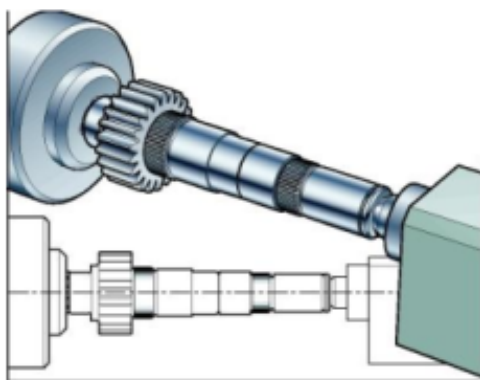
Type S  
Chanfrein avec léger rodage



Type T  
Chanfrein sans rodage

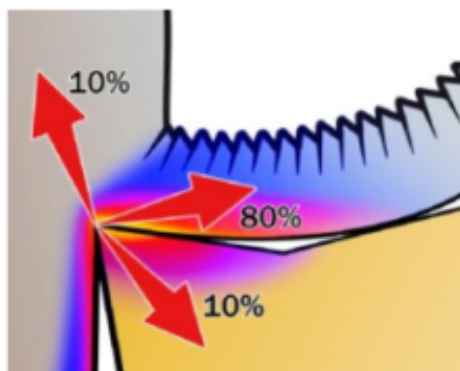
## e) Facteurs clés pour le tournage dur

- En plus des recommandations générales pour le tournage, certains facteurs spécifiques doivent être soulignés.
- Préparation de la pièce avant la trempe :
- Éviter les bavures
- Produire des cotes proches de la tolérance
- Usiner les chanfreins et produire les rayons avant la trempe
- Éviter les entrées ou sorties abruptes de la matière
- Entrer ou sortir de la matière par interpolation.
- Il est impératif d'avoir une bonne stabilité machine, un bridage sûr et un bon alignement de la pièce.
- En règle générale, un rapport longueur-diamètre de pièce de 2:1 est acceptable pour les pièces serrées à une seule extrémité. Avec une contre-pointe, ce rapport peut être plus élevé.



## f) Il est possible d'éliminer l'arrosage

Le tournage dur se fait à sec, dans l'idéal, ce qui est tout à fait possible. Les plaquettes CBN ou céramique supportent des températures élevées et cela permet d'éliminer le coût du liquide de coupe ainsi que les difficultés associées. Certaines applications peuvent nécessiter un arrosage, notamment s'il faut contrôler la stabilité thermique de la pièce. Dans ce cas, il convient d'appliquer un arrosage continu pendant toute l'opération.



En général, la chaleur produite par l'usinage se répartit dans les copeaux (80%), la pièce (10%) et la plaquette (10%). C'est pour cela qu'il est important d'évacuer les copeaux de la zone de l'arête de coupe.

### i Lubrification

Depuis longtemps, la lubrification est utilisée dans le milieu industriel, car on lui reconnaît une double action bénéfique :

- elle favorise l'évacuation des calories,
- elle réduit les frottements de l'outil sur la pièce et du copeau sur l'outil

Mais la lubrification a un coût non négligeable (16% du total des frais) qui résulte des prix. La lubrification pèse environ 17 % du prix d'une pièce fabriquée par usinage

- de l'huile utilisée, de son stockage et de son transport,
- de l'eau additionnée (huile soluble)
- de la dépollution des copeaux car plusieurs constituants de l'huile sont des polluants,
- de l'entretien (contrôle des niveaux et suivi de consommation),
- des équipements : pompes, jets, dispositifs de pulvérisation.

### ii Usinage à sec

Les avantages de l'usinage à sec

- Non pollution de l'atmosphère ou de l'eau, réduisant les dangers pour la santé en particulier les problèmes de peau et respiratoires ;
- Absence de lubrifiant sur les composants usinés, réduisant les coûts de nettoyage et les énergies associées
- Absence de lubrifiant sur les copeaux permettant une valorisation plus importante des déchets ;
- Suppression de l'achat, de la préparation, de la maintenance et du retraitement des fluides de coupe.

## g) Usinage des différentes matières

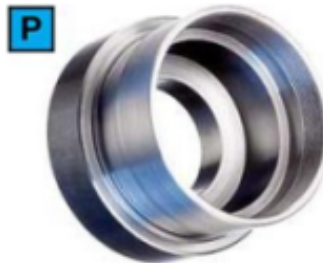
### *Groupes de matières*

Dans le domaine de l'industrie métallurgique, un éventail diversifié de pièces est façonné à partir de différentes matières premières. Chaque matériau présente des caractéristiques uniques, dictées par sa composition en alliage, ses traitements thermiques, sa résistance, entre autres paramètres. Ces aspects revêtent une importance capitale dans le processus de sélection de la géométrie de coupe, du type de matériau et des conditions d'usinage.

Les matériaux utilisés dans la fabrication des pièces sont regroupés en six grandes familles, conformément aux normes établies par l'ISO. Chacune de ces familles présente des propriétés d'usinage distinctes, ce qui influence directement les choix opérationnels et les techniques d'usinage appropriées.

### **i ISO P**

Les aciers constituent le groupe de matières le plus courant dans l'industrie transformatrice des métaux. Ces matières incluent les aciers non alliés, les aciers faiblement ou fortement alliés et les aciers coulés. Leur usinabilité est généralement bonne mais elle varie beaucoup en fonction de la dureté, de la teneur en carbone, etc.



### **ii ISO M**

Les aciers inoxydables sont des matières alliées avec une teneur en chrome de 12 % minimum. Ils peuvent aussi contenir du nickel et du molybdène. Ils peuvent être dans différents états, par exemple ferritique, martensitique, austénitique et austénitique-ferritique (duplex). Les aciers inoxydables représentent donc une grande famille de matières. Celles-ci possèdent toutefois des caractéristiques communes du point de vue de l'usinage étant donné qu'elles génèrent beaucoup de chaleur au niveau de l'arête de coupe ainsi qu'une usure en entaille et des arêtes rapportées.



### iii ISO K

Contrairement aux aciers, les fontes sont des matières à copeaux courts. Les fontes grises (GCI) et les fontes malléables (MCI) sont relativement faciles à usiner. Les fontes nodulaires (NCI), les fontes vermiculaires (CGI) et les fontes bainitiques (ADI) se travaillent moins bien. Toutes les fontes contiennent du carbure de silicium (SiC) qui provoque une forte abrasion des arêtes de coupe.



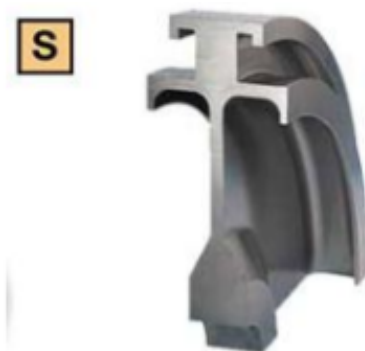
### iv ISO N

Les matières non ferreuses comme l'aluminium, le cuivre, le bronze, etc., ont une dureté réduite. L'aluminium est très abrasif lorsqu'il a une teneur en silicium (Si) de 13 %. En général, les plaquettes avec des arêtes vives ont une longue durée de vie dans ces matières et il est possible d'appliquer une vitesse de coupe élevée.



### v ISO S

Les superalliages réfractaires regroupent un grand nombre de matières fortement alliées à base de fer, de nickel, de cobalt et de titane. Elles sont très collantes et sujettes à l'écrouissage en coupe. Elles produisent beaucoup de chaleur lors de la coupe. En cela, elles sont proches du groupe ISO M, mais sont plus difficiles à couper et la durée de vie des outils est plus courte.



## vi ISO H

Ce groupe inclut les aciers d'une dureté comprise entre 45 et 65 HRC et les fontes en coquille dont la dureté se situe dans la plage 400 à 600 HB. Leur dureté rend ces matières difficiles à usiner. Elles génèrent une chaleur élevée à la coupe et sont très abrasives pour les arêtes de coupe.




## vii O (Autres) : Non-ISO

Thermoplastique, thermoset, GFRP (polymères/plastiques renforcés à la fibre de verre), CFRP (plastiques renforcés à la fibre de carbone), matériaux composites à la fibre de carbone, plastiques renforcés à la fibre d'aramide, caoutchoucs durs, graphique (technique). Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés dans certains secteurs industriels, notamment l'aéronautique.

### 1.1.2. La normalisation des applications ISO

<https://www.secotools.com/dashboard/Suggest/Suggest>

## Matières usinées

 Steel	 Stainless steel	 Cast iron	 Non ISO
 Non-ferrous metal	 Super-alloys and titanium	 Hard material	



Seco

## 2. B. l'usinabilité des matériaux



Pour déterminer l'usinabilité d'une matière, il faut généralement identifier trois paramètres principaux.

1. Classe de la matière du point de vue métallurgique et mécanique.
2. Géométrie de l'arête de coupe à utiliser, niveau micro et macro.
3. Matériau de coupe (nuance) et ses composants, par ex. carbure cémenté revêtu, céramique, CBN, PCD, etc.

Les choix ci-dessus ont une grande influence sur l'usinabilité de la matière. Les autres facteurs importants sont : les conditions de coupe, les forces de coupe, les traitements thermiques que la matière a subi, la présence d'une croûte superficielle, la présence d'inclusions métalliques, l'attachement des outils, les conditions générales d'usinage, etc.

L'usinabilité n'a pas de définition directe, contrairement aux nuances et aux nombres. Dans son sens le plus large, l'usinabilité désigne la possibilité d'usiner une matière, l'usure qu'elle occasionne sur les arêtes de coupe et la formation des copeaux qui la caractérise. Dans ce sens, un acier bas carbone est plus facile à usiner qu'un acier inoxydable austénitique. Les aciers faiblement alliés sont généralement considérés comme ayant une



meilleure usinabilité que les aciers inoxydables. Le concept de « bonne usinabilité » renvoie généralement à une action de coupe sans problèmes avec une durée de vie d'outil correcte. Le plus souvent, l'évaluation de l'usinabilité d'une matière donnée est faite à partir d'essais et les résultats sont exprimés par rapport à d'autres tests effectués sur d'autres matières dans des conditions comparables. D'autres facteurs tels que la microstructure, la tendance au collage, la machine-outil utilisée, la stabilité, le bruit, la durée de vie d'outil, etc. sont aussi pris en compte.

## 2.1. L'usinabilité

### Définition

L'usinabilité est une propriété fondamentale des matériaux, particulièrement des métaux, qui détermine leur aptitude à être transformés par des procédés d'enlèvement de matière tels que le fraisage, le tournage, le perçage, etc. Elle joue un rôle important dans la fabrication de pièces mécaniques précises et de qualité.

## 2.2. Facteurs influençant l'usinabilité

- **Propriétés physiques du matériau:** Dureté, résistance à la traction, ductilité, conductivité thermique.
- **Composition chimique:** Présence d'éléments d'alliage, inclusions.
- **Microstructure:** Taille de grain, orientation des cristaux.
- **Conditions de coupe:** Vitesse de coupe, avance, profondeur de coupe, lubrification.

## 2.3. Les critères de durée de vie d'arête de coupe d'outil

### Rappel

En production de série, il est préférable d'adopter un temps d'usure d'arête de 10 à 20 % inférieur au temps déterminé par l'usure. Ceci permettra d'optimiser la production des pièces en termes de qualité géométrique.

**Opération d'ébauche.** Limiter l'usure à la phase d'usure accélérée : définir la limite maximale de durée de vie d'une arête de coupe

**Opération de finition et semi-finition.** Choisir inférieur à 0.3 mm : meilleure garantie de précision sur lots de pièces usinées dans une durée de vie d'arête relativement longue.

**Suivi d'usures aléatoires.** Périodiquement, examiner l'arête de coupe ; modification éventuelle de données (conditions de coupe, fixation pièce, type d'outil,...). Comparer l'examen d'arête aux photographies d'usure de fabricants d'outils, pour analyse éventuelle.

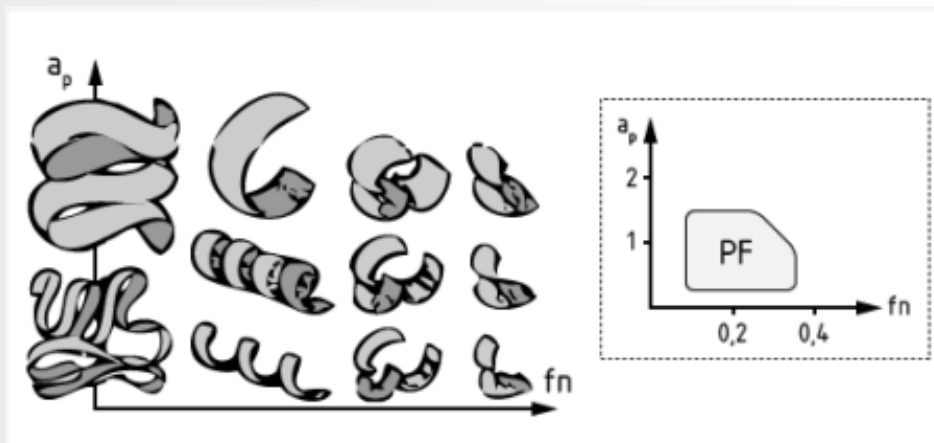
## 2.4. La fragmentation des copeaux

Tout copeau doit être fragmenté pour la sécurité (de l'outil et de la pièce,...) et pour faciliter son évacuation. Sa formation dépend principalement : du **matériau usiné** et des **conditions de coupe** (géométrie d'outil, direction d'arête  $K_r$  et rayon de bec  $r_e$ , force de coupe, température en zone de coupe, etc.). Sa rupture s'effectuera selon le matériau: spontanément, dirigée contre la pièce (dégradation de la surface usinée) dirigée contre la surface de coupe (martèlement conduisant à la rupture de la plaquette).

### Attention

- Un copeau long et filant entraîne une réduction de durée de vie d'arête : échauffement excessif, écaillage arête rapportée, risque de rupture.
- Un copeau très fragmenté peut entraîner des vibrations de pièce avec état de surface défectueux.

- Les fabricants d'outils proposent pour chaque géométrie de plaquette une plage d'application en fonction de l'avance et de la profondeur de passe.



*La formation des copeaux dans l'acier*

### 2.4.1. Critères de contrôle

#### *✚ Conseil*

1. **ébauche et semi-finition** : taux d'enlèvement matière, résistance et durée de vie d'outil.
2. **finition** : qualité d'état de surface, durée de vie d'outil.
3. **usinage en coupe continue** : tournage, alésage, perçage - le contrôle du copeau est impératif (brise-copeaux, vitesses de coupe et d'avance).
4. **usinage en coupe discontinue** (fraisage par exemple)- la rupture du copeau est provoquée naturellement par le court engagement de chaque arête de coupe dans la matière

### 2.5. Les critères d'usinabilité

Les critères d'usinabilité peuvent être différents selon les pièces à produire, parmi les suivants : durée de vie d'outil, matériau de la pièce, la force de coupe, l'état de surface à obtenir, la productivité.

**Les principaux critères d'usinabilité** sont :

1. liés au matériau et à l'outil (voir tableau ci-après).
2. les additifs. Le soufre favorise la fragmentation du copeau. Le plomb (interdit) favorise l'usinabilité (action lubrifiante).
3. la dureté et la résistance à la rupture. Les faibles dureté et résistance à la rupture favorisent l'usinabilité, sauf pour les matériaux très ductiles (formation arête rapportée).
4. la ductilité ; une faible ductilité favorise l'usinabilité.
5. la conductibilité thermique ; elle favorise l'usinabilité, sauf pour les alliages réfractaires.
6. l'écrouissage : un taux élevé accroît la force spécifique de coupe, .

Principaux critères d'usinabilité, selon matériaux.	Acier allié à faible teneur en carbone	Aciers faiblement alliés	Aciers fortement alliés	Aciers inoxydables	Fontes ferritiques	Fontes perlitiques	Alliages d'aluminium Alliages de magnésium	Alliages de cuivre (bronze - laiton)	Super alliages Métaux réfractaires
Usinable : Difficile -, faible +, bonne ++, très bonne +++	+	++	+	+	+++	+++	++	++	-
Durée de vie arête de coupe : Courte-, assez bonne+, bonne++	+	++	++	+	+	+	+	++	-
Teneur en carbone : améliore usinabilité +	+	+	+		+	+			
Additif de plomb : améliore usinabilité +		+	+					+	
Teneur en chrome : diminue usinabilité +				-					
Additif de soufre : améliore usinabilité +		+	+	+					
% élevé d'éléments d'alliages : diminue usinabilité -			-	-					
Tendance à formation arête rapportée : faible +, forte ++	+			++			++		++

Angle de coupe nécessairement positif : +	+			+			+		+
Surépaisseur de finition à choisir maximale : +	+			+					+
Arrosage impératif : +				+					+
Forme du copeau : court +, long -	-	-	-	-	-	+	-	+	+
Outil de coupe recommandé : Carbure +, cermet ++, non revêtu 0			+	++			0		0

Les principaux critères d'usinabilité des différentes familles de matériaux

**Aciers alliés** : la teneur en carbone améliore l'usinabilité

- fortement alliés bonne usinabilité
- faiblement alliés les éléments d'alliage réduisent l'usinabilité.

**Aciers inoxydables** : la teneur en chrome réduit l'usinabilité.

- Ferritiques : assez bonne usinabilité avec addition de soufre.
- Martensitiques : assez bonne usinabilité à l'état recuit.
- Ausiénitiques : usinabilité réduite, action abrasive sur l'outil (usure en entaille).
- Usinabilité évitant l'arête rapportée: sélection vitesse de coupe dans deux plages, basse (50 à 90 m/min) et haute (200 à 400 m/min).

**Fontes** : bonne usinabilité, réduite par la dureté: accroissement d'usure d'outil par abrasion, adhérence, diffusion.

- Perlitiques : la perlite diminue l'usinabilité.
- Ferritiques : tendance à la formation d'arête rapportée.

**Alliages d'aluminium** : bonne usinabilité avec outil à grand angle de coupe positif (provoquer l'effet de cisaillement dans un matériau ductile).

**Alliages de magnésium** : excellente usinabilité avec risque d'inflammation des copeaux.

**Alliages de cuivre** :

- Bronze : bonne usinabilité
- Laiton : assez bonne usinabilité
- Cupro-aluminium : bonne usinabilité avec addition de plomb.

**Super alliages et métaux réfractaires** : usinabilité difficile. Outil recommandé : carbure non revêtu. Fraisage en concordance (avalant) pour éviter la formation d'arête rapportée (copeau minimum en sortie d'outil / surface pièce).

#### *# Conseil*

---

**Vibrations.** Indications pour les réduire ou les éliminer : rayon de bec plus petit, arête de coupe plus vive, angle de direction d'arête plus grande, angle de coupe (positif) plus grand, limite d'usure d'arête à réduire, brisecopeaux plus adapté, attachement d'outil plus efficace, barre d'alésage de plus grand diamètre ou anti vibratile.

### 2.6. Importance de l'usinabilité

- **Qualité de la surface finie:** Un matériau usinable permet d'obtenir une surface lisse et précise, avec un meilleur état de surface.
- **Durée de vie de l'outil:** Un matériau usinable minimise l'usure de l'outil et augmente sa durée de vie.
- **Productivité:** Un matériau usinable permet des vitesses de coupe plus élevées et des temps d'usinage plus courts.
- **Coût de fabrication:** Un matériau usinable réduit les coûts d'usinage, d'outillage et de maintenance.

### 2.7. Amélioration de l'usinabilité

- **Choix du matériau:** Sélection d'un matériau avec une meilleure usinabilité inhérente.
- **Traitement thermique:** Recuit, trempe, revenu pour modifier la microstructure du matériau.
- **Lubrification:** Utilisation d'huiles de coupe ou de lubrifiants pour réduire la friction et améliorer le refroidissement.
- **Optimisation des paramètres de coupe:** Vitesse de coupe, avance, profondeur de coupe.

\* \*

\*

En conclusion, l'usinabilité est un concept important dans le domaine de l'usinage. Elle conditionne la qualité des pièces produites, la productivité des opérations et le coût global de fabrication.