

Chapitre III : A- Usinage dur et usinage à sec

Introduction

L'industrie aéronautique d'aujourd'hui nécessite l'utilisation de métaux durs et légers, comme l'alliage de Titane Ti6Al4V et l'alliage de nickel. Ces matériaux possèdent une forte résistance à la corrosion aux très hautes températures et une grande dureté..., Ils peuvent aussi être utilisés dans des applications militaires, spatiales, marines..

La fabrication de ces matériaux nécessite d'utiliser d'autres techniques telles que l'usinage à grande vitesse (UGV) ou bien l'usinage dur.

III.1) usinabilité des matériaux durs

L'usinage de pièces en matériaux durs s'effectue en core 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.

III.1.1) tournage dur

Le tournage dur qui aujourd'hui un procédé permettant de produire des surfaces de très haute qualité équivalente à celle des opérations de rectification, et qui peut atteindre une rugosité $Ra = 0.2\mu\text{m}$, et une précision dimensionnelle de qualité 6. Cette technique est caractérisée par de faibles profondeurs de coupe, et d'avance et par d'importants efforts spécifiques de coupe. Il apparaît de très hautes températures en cours de travail (entre 500°C et 1500°C selon les cas) à l'interface de l'arête de coupe et de la pièce. De nombreuses opérations de **rectification** pour la finition de pièces trempées peuvent être judicieusement remplacées par des opérations de tournage dur.

III.1.2) Rectification

Cette technique de finition consiste à uniformiser la surface voulue de manière à éliminer la friction qu'elle pourrait engendrer en entrant en contact avec une autre pièce.

a) Les différents types de rectification

1- La rectification plane

C'est un meulage horizontal de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériaux allant de 20 à 40 μm . Ici, la pièce est fixe et effectue un mouvement alternatif uni-axial (gauche-droite).

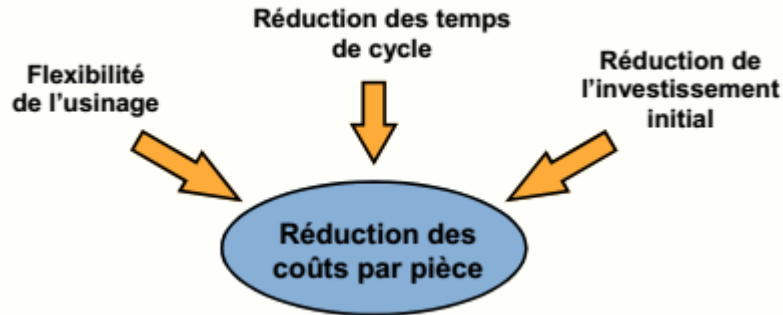
2- Rectification cylindrique

La pièce tourne sur elle-même en effectuant sa course le long de la meule. Aujourd'hui avec l'apparition de nouveaux procédés d'usinage à grande vitesse, contrairement à l'usinage traditionnel, la rectification permet des usinages de précision dimensionnelle élevée grâce au principe de l'usinage par abrasion.

III.1.3) Les avantages du tournage dur

Il a comme avantages :

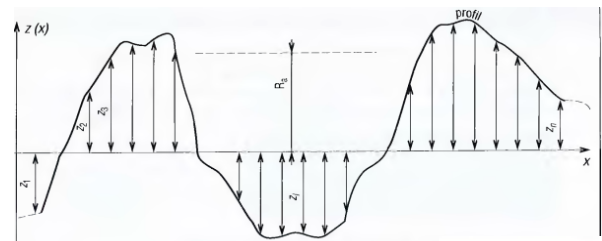
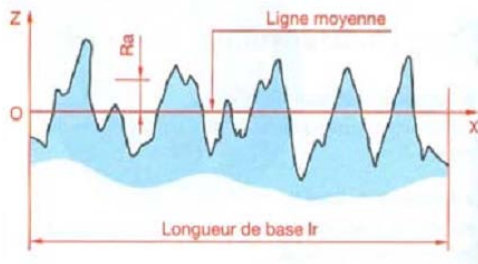
- de générer simultanément un état de surface de qualité et une géométrie avec des côtes très précises ;
- il produit également des copeaux faciles à récupérer puis à recycler, contrairement aux boues issues de la rectification.
- capable de procurer des états de surface de l'ordre de 2 à 3 μ m, une rondeur de 0,2 μ m et une tolérance sur le diamètre de ±5 μm.



- Il est adapté à l'usinage des aciers très durs jusqu'à 56 HRC à grande vitesse (UGV), générant ainsi un gain de productivité.
- Il réduit les frottements à la surface de l'outil et favorise l'évacuation des copeaux par glissement.

III.1.4)États de surface

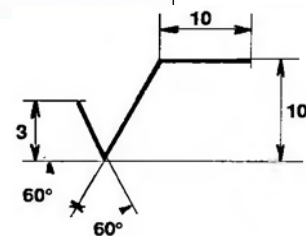
La rugosité Ra est l'écart moyen arithmétique du profil, c'est l'indicateur de rugosité le plus utilisé sur les dessins de définition. Il correspond à la moyenne des valeurs absolues des écarts entre le profil et une ligne moyenne de ce profil.



Symbol
e de
base :

$$\text{rugosité } R_a = \frac{|z_1| + |z_2| + |z_3| + \dots + |z_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i| = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx$$

Il est constitué de deux taris obliques de longueur inégale et trait horizontal.



III.2.) Tournage dur de précision

De manière générale, les éléments à considérer garantissant le succès de la production en grande série de pièces en acier trempé par tournage dur sont les suivants :

- L'application des procédés de tournage dur se limite de manière générale à des aciers ou des alliages dont la dureté n'excède pas 64 HRC
- Les outils de coupe à disposition pour le tournage dur de haute précision sont en général de type CBN (Nitrure de Bore Cubique). Ces outils requièrent des vitesses de coupe minimales afin d'éviter les risques d'une usure prématurée. Il est donc particulièrement recommandé d'utiliser des ensembles broche-serrage adaptés aux besoins spécifiques de la pièce. La gamme de broches "microspeed" atteignant des vitesses jusqu'à 12000 tr/min conviendra donc spécialement aux pièces de petits diamètres

III.3.) 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.

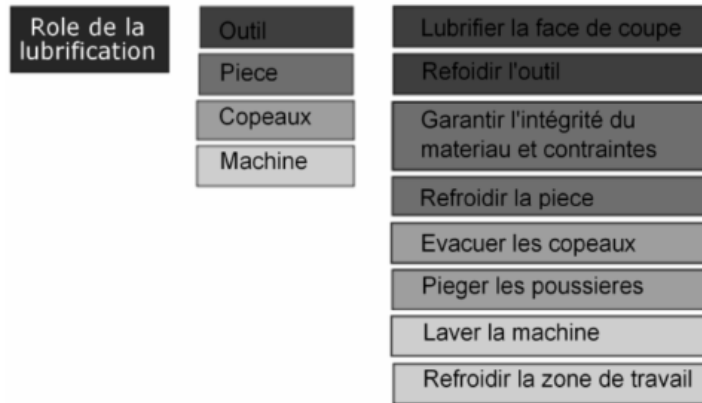
III.3.1) Usinage à sec

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.

III.3.2) Rappelons les principales actions du fluide de coupe

- lubrifiant pour réduire le frottement à l'interface outil-copeau
- refroidissement pour évacuer la chaleur générée durant la coupe
- évacuation des copeaux en dehors de la zone de coupe



III.4) Usinage des matériaux durs > 45 HRC :

Aciers à outils > 45 HRC : Aciers alliés à haute teneur en carbone.

- Utilisation : outils de découpe et de formage, poinçons, cylindres de laminoir, calibres, cames et brides.
- Usinabilité : mauvaise.

Acier résistant à l'usure 600 HB :

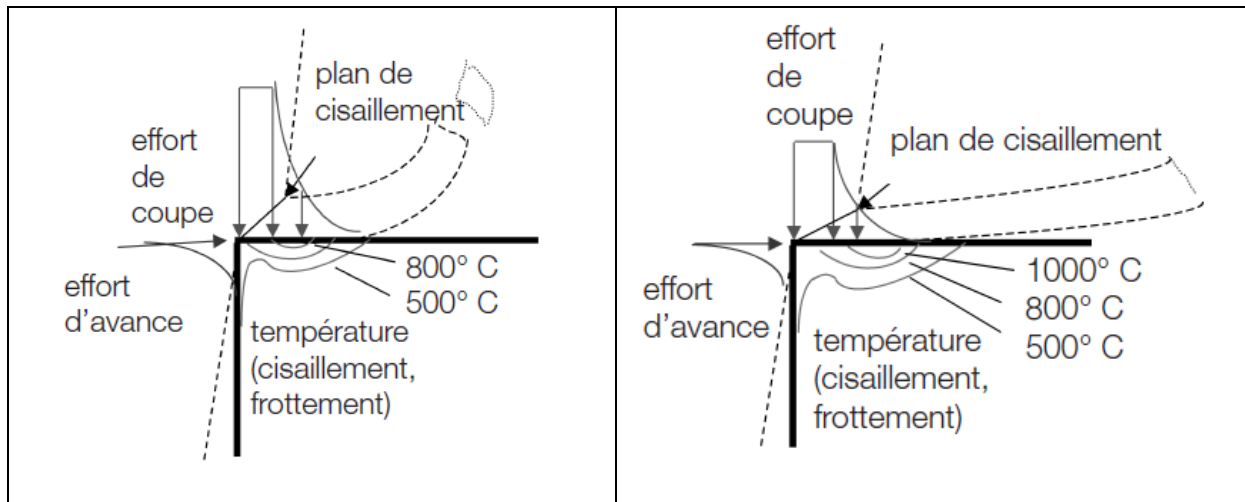
Opération : Perçage de trous débouchants Ø 18 mm, de profondeur 25 mm avec arrosage à l'huile soluble à 5 % sur boîtier multibroche.

Solution : Avantages par rapport aux forets en acier rapide traditionnels (les forets carbure ne sont pas capables de l'opération) :

- Durée de vie d'outil plus importante (30 trous)
- Conditions de coupe plus élevées (Vc à 15 m/min, f à 0,14 mm/tr)

III.5) Usinabilité des matériaux durs par rapport aux matériaux ductiles :

<p>Matériaux durs, fragiles :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Copeaux courts, température moyenne. • Efforts normaux de coupe et d'avance élevés. <p>Besoins : grande résistance à l'usure par abrasion et contraintes résiduelles de compression dans les revêtements.</p>	<p>Matériaux ductiles, doux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forces de cisaillement élevées. • Tendance à créer des arêtes rapportées. <p>Besoins :</p> <ul style="list-style-type: none"> + grande résistance à l'usure chimique + meilleure adhésion du revêtement + pas de tendance à coller
---	---



III.6) Spécificités d’usinage des matériaux à faible usinabilité :

Les meilleures conditions d’usinage des matériaux difficiles à usiner ne peuvent être obtenues qu’en possédant une bonne connaissance des microstructures et des propriétés mécaniques, physicochimiques et thermiques de ces matériaux, de façon à savoir évaluer leurs effets sur le comportement des outils de coupe et sur l’efficacité des procédés utilisés.

Les **compositions** de quelques uns des matériaux sont données tableau 1.

Tableau 1 – Composition de quelques alliages										
Alliages de nickel	Ni	Co	Cr	Mo	Ta	W	Al	Ti	Fe	Nb
Alliages forgés										
Inconel 718	base		19	2,8			0,3	0,7	18	5,0
Waspalloy	base	14	20	4			4	3,5		
Astroloy	base	17	15	5,0			4,0	3,5		
N18	base	16	11	6,5			4,3	4,3		
Alliages moulés										
Rene 77	base	14	15	3,9			4,0	3,0		
IN100	base	15	10				5,5	4,5		
AM1	base	6,5	7,5	2,0	8,0	5,5	5,3	1,2		
Alliages de titane										
	Ti	Al	Cr	Va	Sn	Zr	Fe	Nb	Mo	
TA6V	base	6		4						
IMI 834	base	6			4	4		0,7	0,5	
Betacez	base	5	2	4	2	3,9	1			

III.6.1 Superalliages

• Les superalliages sont principalement utilisés en raison de la conservation de leurs propriétés à haute température : résistance mécanique, fluage, fatigue, résistance à l'oxydation et à la corrosion.

Les alliages de nickel sont durcis par des précipités intermétalliques de type Ni₃(Al - Ti) – phase γ' – et par des éléments de type carbures répartis ou précipités aux joints de grains. L'augmentation du pourcentage de ces phases améliore la tenue en température ; les plus avancés des alliages contiennent 55 % de γ' , comme l'alliage N18 obtenu par MDP, et 70 % pour les alliages monocristallins tels que l'AM1. Les développements de ces deux alliages ont été réalisés en France.

• Les **propriétés génériques** des alliages de nickel et de cobalt qui expliquent leur faible usinabilité et qui sont à l'origine des difficultés d'usinage rencontrées, sont résumées ci-après.

- Conçus pour résister à haute température, ces alliages conservent leurs propriétés mécaniques même pour des températures de coupe élevées.
- Les fortes teneurs en phases dures conduisent à de sévères usures par abrasion des outils de coupe.
- La conductivité thermique relativement faible réduit les transferts thermiques dans la pièce usinée et maintient l'arête de coupe à une température élevée.
- La structure austénitique entraîne un fort écrouissage des surfaces usinées qui amplifie l'usure de l'arête de coupe lors de son passage suivant.

L'ensemble de ces conditions défavorables fait que les vitesses de coupe conventionnelles, avec outils en carbure, sont de 80 à 90 % plus faibles que celles des aciers de construction courants.

III.6.2 Alliages de titane :

Les alliages de titane sont utilisés jusqu'à environ 500 °C. En comparaison avec la nuance TA6V, utilisée depuis de nombreuses années, deux voies d'évolution peuvent être identifiées :
— la première vise à améliorer la résistance au fluage ;
— la seconde, la résistance mécanique et la tenue en fatigue oligocyclique.

Des exemples d'alliages correspondants sont respectivement Ti 834 et Betacez ; ce dernier a été développé en France.

Les problèmes posés par l'usinage du titane sont bien connus, ils proviennent de ses propriétés, notamment faible conductivité thermique et forte réactivité chimique. De plus, certains alliages, dont les derniers cités, contiennent du zirconium qui amplifie la réactivité chimique. Pour toutes ces raisons, les vitesses de coupe sont nécessairement réduites.