

Etude de l'état de surface de l'acier 42 Cr Mo4 après recuit usiné avec deux outils de coupe lors du tournage

Razika AOUAD, Idriss AMARA

Laboratoire Ingénierie des Transports et Environnement, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université des frères Mentouri, Constantine, Algérie,

E-mail : aouadrazika@yahoo.fr

Résumé – Dans cet article, sont exposés les résultats d'une étude expérimentale relative à l'usinage de l'acier **42CRMO4** après recuit ayant une dureté brinell HB 174, avec deux outils de coupe : la céramique blanche à base de zircon (Al_2O_3 et ZrO_2) et le carbure (à base de carbure de tungstène WC). La série des essais est consacrée à l'étude de l'influence des conditions de coupe sur les principaux critères de la rugosité des surfaces usinées (R_a , R_z et R_t), pour ce faire nous avons réalisé des essais uni factoriels et multifactoriels basés sur la méthode de planification des expériences, dont les paramètres variables sont : la vitesse de coupe, l'avance par tour et la profondeur de passe. La modélisation des résultats a permis d'aboutir à des modèles mathématiques type Gilbert (modèle de Taylor généralisé). Lors de l'usinage de cet acier la céramique pure a donnée de très bons états de surfaces aux vitesses de coupe élevées.

Mots clefs : carbure, durée de vie, rugosité, céramique,

1. Introduction

La structure superficielle lors de l'usinage des métaux par enlèvement de copeaux est déterminée par les irrégularités résultant de la déformation de la face usinée [1]. Elle varie essentiellement selon la méthode d'usinage, les conditions de coupe, la matière à usiner et la stabilité d'ensemble de l'opération [1].

L'usinage des aciers durs a connu son développement essentiellement avec l'apparition de nouveaux matériaux de coupe tels que les cermets, les céramiques et le nitrure de bore cubique. [2]

Cette étude a permis la mise en évidence de l'influence des conditions de coupe sur l'état de surface produit lors de l'usinage de l'acier 42CRMO4 avec d'un outil de coupe en céramique pure. Pour ce faire nous avons réalisé des essais basés sur la méthode de planification des expériences, où les paramètres variables sont : La vitesse de coupe, l'avance par tour et la profondeur de passe.

2. Mécanismes de la coupe des métaux

L'interface outil-copeau qui est générée lors d'un processus d'usinage par enlèvement de matière est un lieu d'interactions complexes entre phénomènes mécaniques, thermiques et physicochimiques [3]. La surface de l'outil en contact avec le copeau subit diverses formes d'usure qui sont le résultat de mécanismes telles que l'adhésion, l'abrasion et la diffusion. La qualité de la surface usinée ainsi que la durée de vie des outils dépendent largement des conditions dans lesquelles s'effectue la coupe. Dans l'industrie, les méthodes d'optimisation sont encore largement basées sur les connaissances acquises au cours des années et sur des essais longs et coûteux. Mais avant de mettre en place des solutions ou de développer des modèles, il est nécessaire de

caractériser de manière précise les différents modes d'endommagement et de maîtriser tous les facteurs qui conduisent à l'usure des outils et l'étude des états de surfaces des pièces [3,4,5,6]

2.1 Matériaux pour outils de coupe

Les matériaux pour outils de coupe peuvent être regroupés en trois catégories :

- 1) les aciers rapides (HSS),
- 2) les carbures
- 3) les céramiques et matériaux ultra-durs.

Parmi eux, le carbure de tungstène est le matériau le plus utilisé pour la fabrication des outils. On trouve deux catégories de carbures :

- 1) les carbures simples composés de carbure de tungstène WC et de liant cobalt Co dont la proportion varie de 2 à 15 wt %,
- 2) les carbures mixtes qui possèdent en plus du WC, du carbure de titane (TiC), de tantale (TaC), de vanadium (VC) ou de niobium (NbC). [3]

2.2 Revêtements

Afin d'améliorer la performance des outils, l'emploi de revêtements est devenu très fréquent. Les matériaux utilisés pour ces derniers peuvent être classés en quatre groupes :

- 1) les revêtements à base de titane (TiC, TiN, TiB₂, TiCN) souvent complétés par de l'aluminium (TiAlN, TiAlON),
- 2) les revêtements céramiques
- 3) les revêtements ultra-durs (diamant, PCBN),
- 4) les revêtements autolubrifiants avec MoS₂ ou WC en couche externe. [3,4]

Les revêtements sont constitués soit d'une couche unique soit d'une superposition de plusieurs couches de matériaux différents dont l'épaisseur totale n'excède généralement pas 5 µm.

2.3 Paramètres influents

La structure superficielle théorique peut être calculée pour les opérations de tournage.

Ce calcul donne une valeur approximative de ce qu'il est possible d'obtenir dans des conditions idéales, le résultat pratique étant affecté par un certain nombre de paramètres intervenant dans le processus. [3,4]

2.3.1 Principaux facteurs affectant l'outil :

– Stabilité, Porte à faux, Géométrie de coupe, Matière usinée, Usure de l'outil, Conditions de coupe et Formation des copeaux [3,4]

2.3.2 Principaux facteurs affectant la machine :

– Stabilité, Liquide de coupe, Etat de la machine et Puissance et rigidité [3,4]

2.3.3 Principaux facteurs affectant la pièce :

– Stabilité, Liquide de coupe, Qualité de la matière usinée, Fixation, État de l'ébauche, Tolérances (cotes et formes) [3]

3. Procédure expérimentale

3.1 Equipements utilisés

Les expériences sont réalisées sur :

✓ **Machine-outil** : tour parallèle ayant une puissance de 6600 W et dont les vitesses de rotation de la broche varie de 80 à 2000 tours /mn.)

✓ **Plaquettes** : Les plaquettes utilisées sont amovibles de forme carrée respectivement en céramique et carbure : ENGN 13 08 08 T SN60. Et TPMN 16 03 08



✓ **portes-plaquettes** : les deux portes plaquettes utilisées respectivement pour les plaquettes en céramique et en carbure : CEGNR 3225 P13 et CTGPL 16 16 K1



✓ **Appareil de mesure de la rugosité** : rugosimètre SurfTest 301 (Mitutoyo),



✓ **Matériau à usiner** : L'éprouvette 42CrMo4 acier faiblement allié utilisé dans l'industrie automobile pour la fabrication des bielles, dont les dimensions sont : 48mm de diamètre et 120mm de longueur.



3.2 Conditions de coupe

Les opérations d'usinage étaient du chariotage sec. Les conditions de coupe utilisées lors de l'exécution des expériences sont :

- Intervalles de la vitesse de coupe : 55 – 300m/min
- Intervalles de l'avance : 0,08 – 0,2 mm/tr
- Profondeur de passe : 0,1 – 0,5 mm.

4. Résultats des expériences

4.1 Evolution de la vitesse de coupe

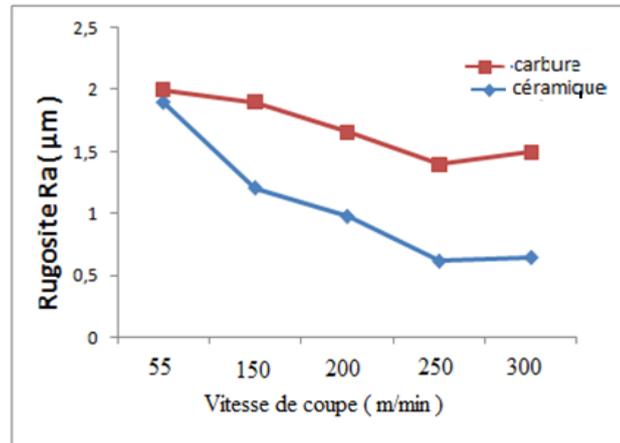


Figure 1. Influence de la vitesse de coupe sur la rugosité pour deux nuances à $f=0,08\text{mm/tr}$ et $a_p=0,1$

4.2 Evolution de l'avance

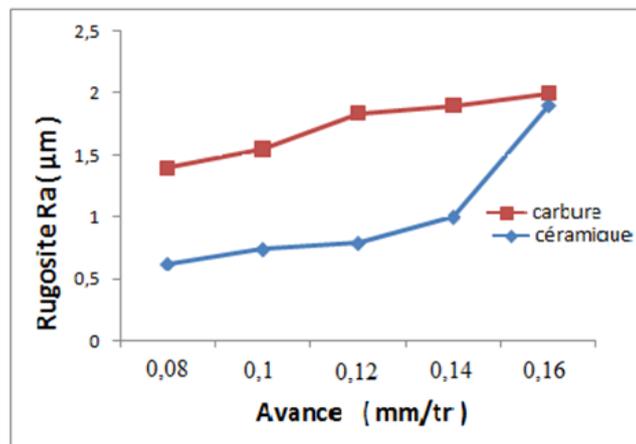


Figure 2. Influence l'avance sur la rugosité pour deux nuances à $a_p = 0,1$ mm

4.3 Evolution de la profondeur de passe

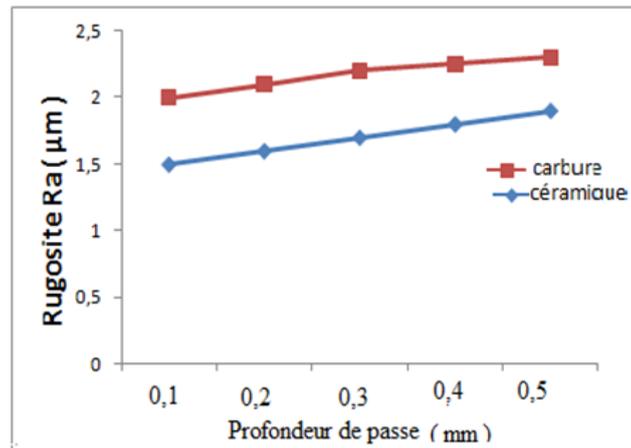


Figure 3. Influences de profondeur de coupe sur la rugosité pour deux nuances à $f = 0,08 \text{ mm/tr}$

4.4 Evolution de la rugosité en fonction du temps

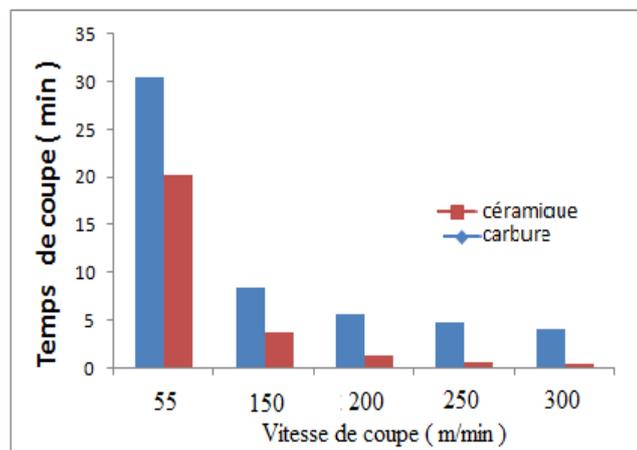


Figure 4. Variation du temps en fonction de la vitesse de coupe à $f=0,08\text{mm/tr}$ et $a_p=0,1\text{mm}$

5. Traitement et analyse des résultats

5.1 Lois de comportement de la rugosité

(voir équation 1)

$$R = C \times V^\alpha \times f^\beta \times a_p^\gamma \quad (1)$$

Avec :

Les coefficients α , β , et γ : exposants qui indiquent l'influence de chacun des paramètres (f , a_p , V_c) sur la rugosité

5.2 Détermination des modèles généralisés de la rugosité

Nous a permis la détermination des modèles suivants :

Tableau 1 : Modèles mathématiques de la rugosité obtenus

| Matériau | Variables | Modèles mathématiques | R2 |
|-----------|-----------|---|-------|
| Céramique | f (mm/tr) | $R_a = e^{4.814} \times V_c^{-0.936} \times f^{-0.054} \times a_p^{0.0538}$ | 0,987 |
| | ap (mm) | $R_t = e^{3.631} \times V_c^{-0.705} \times f^{-1.241} \times a_p^{0.706}$ | 0,977 |
| | Vc(m/min) | $R_z = e^{5.456} \times V_c^{-0.814} \times f^{-0.015} \times a_p^{0.008}$ | 0,988 |

Les valeurs de coefficients de détermination « R^2 » tendent vers l'unité ce qui confirme la bonne concordance entre les résultats expérimentaux et théoriques. Les modèles mathématiques déterminés, montrent que l'avance est le facteur le plus influant sur les différents critères de rugosité.

6. Analyse et discussion des résultats

On remarque : Les résultats des figures. 1,2 et 3 montrent que l'usinage avec un outil céramique, donne une qualité de surface meilleure que celle obtenue lors de l'usinage avec un outil de carbure. L'augmentation de la vitesse de coupe améliore la qualité de surface usinée. Par contre, l'augmentation de l'avance par tour ou de la profondeur de passe conduit à une détérioration de la qualité de surface.

❖ La fig. 4 illustre le résultat de l'évolution de la rugosité en fonction du temps de coupe pour les vitesses de coupe utilisées. L'analyse des résultats montre que la valeur de la rugosité R_a n'est pas stable et uniforme pendant la coupe, mais elle subit une évolution en fonction du temps d'usinage.

7. Conclusion générale

A partir de cette étude expérimentale et des résultats du suivi de l'évolution de la rugosité en fonction des conditions de coupe et du temps d'usinage, on peut tirer les conclusions suivantes :

Les conditions d'usinage (V_c , f , a_p) ont une influence considérable sur la qualité de la surface usinée. En effet, l'influence la plus pertinente sur la rugosité est attribuée à l'avance, suivie par la vitesse de coupe et enfin la profondeur de passe. L'analyse des résultats des essais montre que la profondeur de passe n'a pas une influence significative sur la rugosité.

Par contre, si on veut obtenir un bon état de finition des surfaces usinées, on doit toujours en priorité diminuer l'avance, puis augmenter la vitesse de coupe. On trouve bons états de surface par outil de céramique pure par rapport à l'outil de carbure aux vitesses de coupe élevées. Les modèles trouvés sont très utiles pour des prédictions ainsi que pour des études d'optimisation du processus de coupe.

8. Références

[1] Antoine SARAZIN – 2010, Les solutions Sandvik Coromant aux problématiques d'états de surface, France.

- [2] M.A. Yallese , L. Boulanouar , S. Belhadi, K.Bouacha , N.Kribes et S.Khamel , Influence des paramètres d'usinage et de l'usure sur les efforts générés lors de l'usinage dur de l'acier AISI 52100 , Congrès Algérien de Mécanique de Construction Alger, 29-30 avril 2007.
- [3] Slimane Benchiheb, Etude de l'interaction « outil - pièce » lors de l'usinage des matériaux durcis, Thèse de doctorat, soutenue le 02 mai 2010 à Université Badji Mokhtar – Annaba.
- [4] G. List, Etude des mécanismes d'endommagement des outils carbure WC-CO par la caractérisation de l'interface outil-copeau : Application à l'usinage à sec de l'alliage d'aluminium aéronautique AA2024 T351, Thèse de doctorat, soutenue le 13 déc. 2004 à l'ENSAM centre de Bordeaux
- [5] Yallese M.A. Boulanouar L., Belhadi S., Etude des performances des outils céramiques lors du tournage, Conférence Internationale sur la Productique CIP'2001, Alger Juin 2001.
- [6] S. Khamel , Kh. Bouacha , M.A. Yallese (2009). Contribution à l'étude de l'état de surface de l'acier 100 Cr6 recuit avec des outils en céramique lors du tournage -19ème Congrès Français de Méc