

Soumis le: 18/02/2018

Forme révisée acceptée le: 23/11/2019

Correspondant: billelhamadi@yahoo.fr



Nature et Technologie

Nature & Technology

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN : 1112-9778 – EISSN : 2437-0312

Étude Expérimentale de l'Usinabilité de l'acier 42 CrMo4 avec des Outils en Carbure revêtu et non revêtu

Billel HAMADI^{a,b,*}, Lakhdar BOULANOUAR^a, Mohamed Athmane YALLESE^b, Hanane BEKKOUCHE^c, Mourad NOUIOUA^c, Toufik ACHOUR^b

^aLaboratoire LRTAPM, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12, Annaba 23000, Algérie.

^bCentre de Recherche en Technologies Industrielles CRTI, BP 64, Chéraga 16014, Alger, Algérie.

^cLaboratoire LMS, Université du 8 Mai 1945, BP 401, Guelma 24000, Algérie.

Résumé

Dans cet article, une étude expérimentale est réalisée afin d'évaluer l'effet de matériau de revêtement sur les performances des outils de coupe en tournage de l'acier 42 CrMo4. Une étude comparative a été réalisée entre deux outils en carbure de même géométrie ; le premier non revêtu et le second revêtu en CVD¹. Le procédé ANOVA a été utilisé pour quantifier les effets des paramètres de coupe sur l'état des surfaces obtenues. L'effet des couches de revêtement sur la qualité de surface est également étudié. On observe qu'une plus faible rugosité de surface est obtenue lors de l'utilisation de plaquettes revêtues.

Mots-Clés : Outil De Coupe, Revêtements Durs, RSM, Rugosité de surface, Caractérisation de Revêtement.

Abstract

In this paper, an experimental study is carried out to evaluate the effect of coating material on the performance of cutting tools when turning 42 CrMo4 steel. A comparative study was carried out between two carbide tools with the same geometry, the first uncoated and the second coated with CVD. The ANOVA process was used to quantify the effects of the cutting parameters on the quality of the surfaces obtained. The effect of coating layers on surface quality is also studied. We observe that a lower surface roughness is obtained when using coated inserts

Keywords: Cutting Tool, Hard Coatings, RSM, Surface roughness, Coating Characterization.

1. Introduction

L'usinage est un procédé d'enlèvement de matière avec une dynamique complexe. Il est défini comme le retrait des copeaux à partir d'une pièce afin d'obtenir la finition de surface souhaitée. La haute qualité des pièces mécaniques peut être obtenue par le contrôle de plusieurs paramètres, comme les conditions de coupe, les propriétés du matériau à usiner, les matériaux de revêtement de l'outil de coupe [1]. Les progrès dans le domaine des matériaux font apparaître des outils coupants de nouvelle nature, susceptibles d'améliorer la productivité. Leur mise en œuvre nécessite des

expérimentations spécifiques pour évaluer leurs conditions d'emploi optimales.

L'étude de l'usinabilité des matériaux a pour but d'évaluer le comportement des différents matériaux usinés selon une méthode d'usinage spécifiée avec les mêmes paramètres technologiques (conditions de coupe) et par des outils identiques.

D'après les différentes définitions de l'usinabilité, il existe différents critères d'évaluation. D'après Mathon P. [2], Ces critères sont : l'état de surface, l'effort de coupe et la durée de vie de l'outil ; alors que pour d'autres chercheurs [1] se sont : la tenue de l'outil, les efforts de coupe et l'état de surface.

¹ CVD : Chemical Vapour Deposition



Cet article est mis à disposition selon les termes de la licence [Creative Commons Attributions 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

This article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Diverses études expérimentales, numériques et analytiques ont été mises à disposition des chercheurs afin de résoudre plusieurs problèmes fondamentaux.

Panda *et al.* [3] ont étudié la possibilité d'utiliser des outils en carbure cémentés non revêtus en tournage de l'acier trempé AISI 52 100 (55 ± 1 HRC). Leurs résultats ont indiqués que l'abrasion et l'écaillage sont les mécanismes d'usure les plus dominants dans l'usinage de cet acier, et que ce type d'outil donné de bonnes valeurs de rugosité de surface dans une plage de vitesse de coupe entre 70 et 150 m/min et une plage d'alimentation inférieure à 0,04 tr/min.

Khellaf *et al.* [4] ont utilisé deux outils de coupe en céramique, à savoir CC6050 revêtu et CC650 non revêtu dans l'usinage de l'acier AISI H11 trempé à 50HRC, et on trouvé que la céramique non revêtue est meilleure que la céramique revêtue en termes de rugosité et d'usure pour les conditions de coupe utilisées.

Sales *et al.* [5] ont exploré les performances de différents outils de coupe à savoir un carbure cémenté revêtu en TiN^2 , céramique mixte avec $Al_2O_3 + TiC^3$ et un outil en PCBN⁴ dans le tournage de l'acier trempé à chaud W320. Les résultats ont indiqué que l'outil en carbure revêtu a présenté une meilleure performance à des vitesses de coupe allant jusqu'à 120 m/min, tandis que l'outil PCBN était performant à des vitesses de coupe supérieur, allant jusqu'à 200 m/min, à l'inverse de l'outil en céramique mixte qui n'a pas présenté de bon résultats.

Lima *et al.* [6] ont évalué l'usinabilité des aciers trempés à différents niveaux de dureté avec une gamme de matériaux d'outils de coupe. Cette étude s'est concentré sur l'usinabilité de l'acier AISI 4340 (acier à haute résistance) et l'acier AISI D2. Les résultats obtenus ont montré que l'état de surface obtenu s'améliorée avec l'augmentation de la vitesse de coupe et se dégradée avec l'augmentation de la vitesse d'avance. Le tournage de l'acier AISI D2 avec des outils mixte a base d'alumine a donné une qualité de surface supérieure et comparable à celle obtenue en rectification cylindrique.

M. A. Yallese *et al.* [7] ont réalisé des essais d'usure de longue durée sur l'acier 100Cr6 durci à 60(HRC) avec un outil CBN⁵ et ont constaté que ce dernier offre une bonne résistance à l'usure, en plus, que la rugosité de

surface obtenue était comparable à celle obtenue par rectification cylindrique.

Liu *et al.* [8] ont utilisé la méthode de surface de réponse (RSM) pour identifier l'effet de la profondeur de coupe, de la vitesse d'avance et de la vitesse de coupe lors du tournage d'acier à roulements durci à l'aide d'un outil PCBN. D'autres chercheurs se sont basés sur la méthode de surface de réponse pour développer les modèles d'usinabilité [4, 7, 8].

L'objectif de cette étude est la mise en évidence de l'influence des paramètres de coupe sur la rugosité de surface lors de l'usinage de l'acier 42 CrMo4 avec deux types d'outils en carbure métallique, la première revêtue on CVD, et le deuxième non revêtue.

2. Procédure expérimentale

Les essais ont été réalisés sur un tour parallèle de marque TOS TRENCIN modèle SN40C, ayant une puissance de 6,6 KW avec variateur de vitesse mécanique (Figure 1).



Figure1. Tour parallèle modèle SN40C.

Les essais ont été effectuées sur des éprouvettes rondes en acier de nuance 42 CrMo4, de 400 mm de longueur et de 80 mm de diamètre, avec une dureté $HB = 257 \text{ Kg/mm}^2$ (Figure 2).

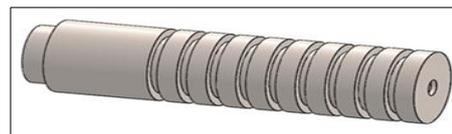


Figure 2. Eprouvette pour les essais de la rugosité de surface

La composition chimique de l'acier utilise est donnée dans le tableau 1.

² Titanium Nitride : Nitrure de Titanium
³ Titanium Carbide : Carbure de Titanium

⁴ Polycrystallin Nitrure De Bore Cubique : Nitrure de Bore Cubique Polycrystallin
⁵ Cubic Boron Nitride : Nitrure de Bore Cubique

Tableau 1
Niveaux de variation des facteurs.

C	Si	S	Ni	Mo	Mn	P	Cr
0,42	0,25	0,018	0,021	0,209	0,68	0,013	1,08

Deux plaquettes en carbure métallique sont utilisées pour les essais ; la première est non revêtue et la deuxième est revêtue en CVD. La désignation normalisée des plaquettes est la SNMG 120 408. Les plaquettes de coupe ont été montées sur un porte-outil portant la désignation PSBNR 25×25 M12 de géométrie : $\chi_r = 75^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = -6^\circ$ et $\lambda = -6^\circ$.

La mesure de la rugosité de surface (Ra) a été effectuée à l'aide d'un rugosimètre 2D SurfTest 201 (Figure 03). Ce dernier est constitué d'une pointe de diamant se déplaçant linéairement sur la surface mesurée. Pour assurer le bon déroulement des essais, nous avons utilisé le plan de Taguchi L9 (Tableau 2) avec trois facteurs à trois niveaux (Tableau 3). La procédure expérimentale a consisté dans la réalisation des passes de chariotage en variant les conditions de coupe avec les deux plaquettes afin de mesurer la rugosité moyenne arithmétique (Ra).



Figure 3. Rugosimètre SurfTest Sj201

Tableau 2.
Plan de Taguchi L₉.

L ₉	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

⁶ ANOVA : (Terme anglais : Analysis Of VAriance) est une technique statistique standard utilisée pour déterminer l'importance des variables indépendantes sur les réponses de sortie

Tableau 3.
Niveaux de variation des facteurs.

Niveau	Vitesse de coupe Vc (m/min)	Avance f (mm/tr)	Profondeur de coupe ap (mm)
1	150	0,08	0,25
2	220	0,12	0,50
3	330	0,16	0,75

3. Résultats expérimentaux et discussions

Les résultats ont été analysés à l'aide de la méthode de surface de réponse RSM. Cette méthode comporte six étapes qui peuvent être résumées comme suit [9]: (1) définition des variables d'entrée et les réponses de sortie requises ; (2) sélection d'un plan de conception expérimental ; (3) réalisation d'une analyse de régression avec les modèles de régression linéaire multiple de RSM ; (4) exécuter l'ANOVA⁶ pour les variables d'entrée indépendantes afin de spécifier les paramètres qui affectent de manière significative la réponse ; (5) déterminer la situation des modèles de régression linéaire multiples de RSM, et en fin (6) optimiser et mener des expériences de confirmation.

Selon les figures 4, 5 et 6, présentant les effets des paramètres de coupe sur la rugosité de surface pour les deux outils de coupe, il est clair que cette dernière soit proportionnelle à l'augmentation de la vitesse d'avance et de la profondeur de coupe et inversement proportionnelle à la vitesse de coupe. On en conclut que la vitesse d'alimentation est le paramètre le plus important par rapport aux autres facteurs qui affectent la rugosité de surface. Sa contribution est de 80,12 % et 85,76 % pour les deux outils revêtus et non revêtus, respectivement. Le second facteur qui affecte la qualité de surface est la vitesse de coupe. Sa contribution est de 15,81 % et 11,51 % pour les deux outils revêtus et non revêtus, respectivement. La profondeur de coupe a une influence minimale sur la rugosité où sa contribution est inférieure à 2 % pour les deux outils. Ces résultats sont expliqués par la réduction du taux d'alimentation qui cause des faibles forces de coupe, ce qui en résulte moins de vibrations et ainsi fournit une meilleure finition de surface. Ces résultats sont en bon accord avec ceux de khellaf *et al.* [4].

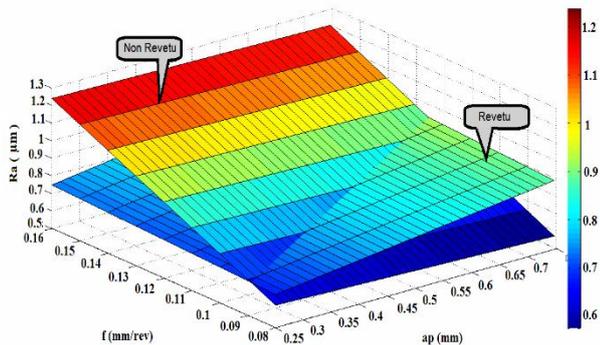


Figure 4. Evolution de la rugosité (Ra) en fonction de l'avance f (mm/tr) et la profondeur de coupe ap (mm) lors de tournage de l'acier 42 CrMo4 pour la pastille non revêtu et revêtu

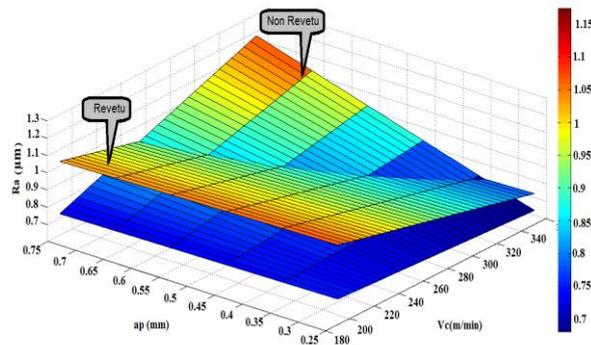


Figure 6. Evolution de la rugosité (Ra) en fonction de profondeur de coupe ap (mm) et de la vitesse de coupe (m/min) lors de tournage de l'acier 42 CrMo4 pour la pastille non revêtu et revêtu.

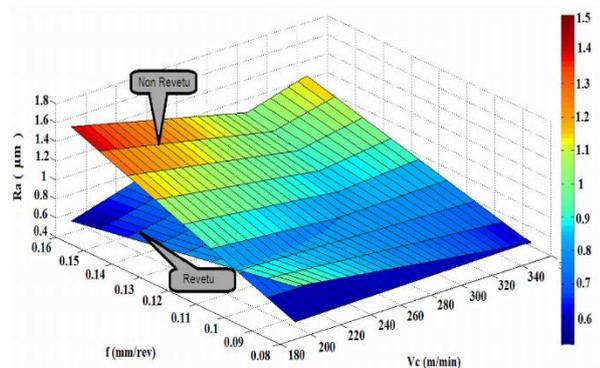


Figure 5. Evolution de la rugosité (Ra) en fonction de la vitesse de coupe Vc (m/min) et l'avance f (mm/tr) lors de tournage de l'acier 42 CrMo4 pour la pastille non revêtu et revêtu.

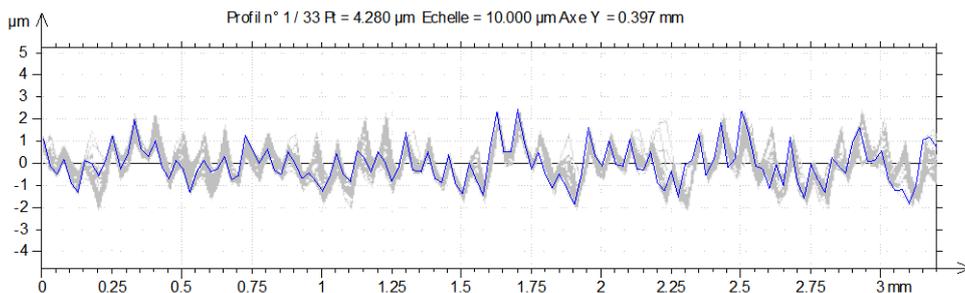


Figure 7. Profil de la rugosité en 2D de l'acier 42 CrMo4 avec : Vc = 330 m/mn ; f = 0,16 mm/tr ; ap = 0,75 mm pour la pastille revêtu.

Tableau 2, La valeur de la rugosité moyenne (Ra) pour la plaquette revêtu

ISO 4287			
Paramètres d'amplitude - Profil de rugosité			
Ra	0,320	μm	Filtre Gaussien ; 0,8 mm

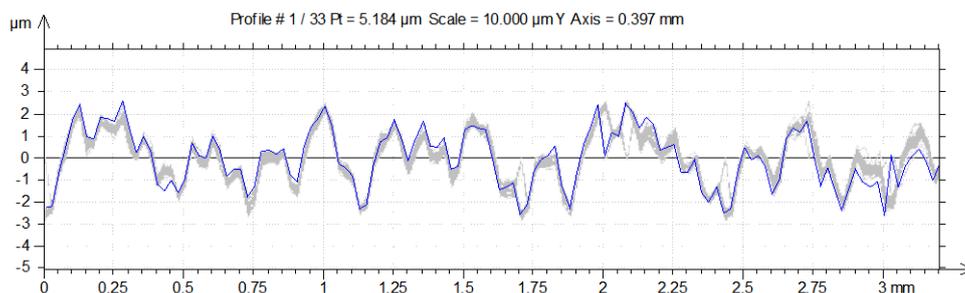


Figure 8. Profil de la rugosité en 2D de l'acier 42 CrMo4 avec $V_c = 330$ m/mn ; $f = 0,16$ mm/tr ; $a_p = 0,75$ mm pour la pastille non revêtue.

Tableau 3

La valeur de la rugosité moyenne (Ra)

ISO 4287			
Paramètres d'amplitude - Profil de rugosité			
Ra	0,633	µm	Filtre Gaussien ; 0,8 mm

L'effet des couches de revêtement sur la rugosité de surface a été aussi étudié. À cet effet, les expériences sont répétées pour les deux types d'outils en carbure avec et

sans revêtement et avec la même géométrie et le même substrat ; la seule différence réside dans les couches de revêtement. L'effet de l'usure des outils a été négligé car le temps de coupe été de 4 secondes. La figure 9 montre que la présence de la couche CVD jouée un rôle important dans la protection du substrat qui fournit une bonne dissipation thermique de la puce ; ce qui peut améliorer la qualité de surface. Tous ces résultats sont en bon accord avec ceux de Keblouti *et al.* [10].

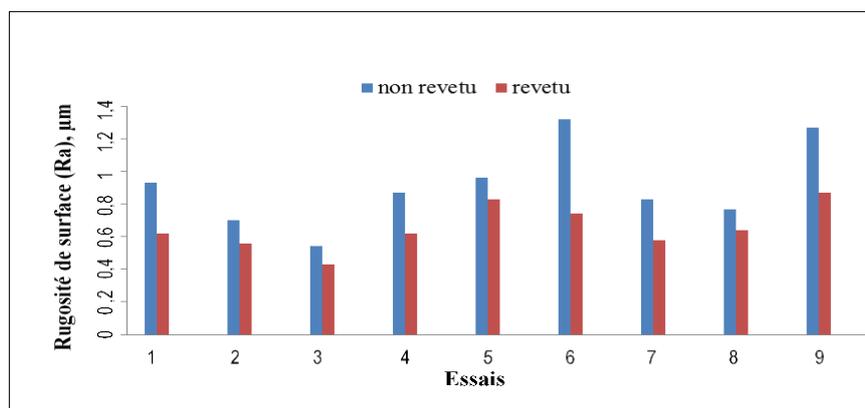


Figure 9. Comparaison entre les valeurs mesurées de la surface de rugosité pour les deux plaquettes revêtues et non revêtues.

4. Conclusions

Le but de cette étude expérimentale été d'évaluer la rugosité de surface obtenue par deux différents outils de coupe, le premier est un carbure revêtu CVD et le second un carbure non revêtu dans le tournage à sec de l'acier 42 CrMo4. Les principales conclusions atteintes sont les suivantes :

1) D'après l'analyse ANOVA, le débit d'alimentation a l'effet le plus significatif sur la rugosité de surface pour les deux outils. Sa contribution est estimée par 80,12 %

et 85,76 % pour les outils revêtu et non revêtu respectivement ;

2) La couche de revêtement CVD joue un rôle important dans la protection du substrat qui fournit une bonne dissipation thermique de la puce ce qui pourrait améliorer la qualité de surface ;

3) Les basses valeurs de rugosité de surface et la haute qualité de surface sont obtenues lorsque l'on utilise des plaquette revêtues CVD.

Références

- [1] Lawate S. A. and Sabnis V. B., Experimental investigation of effect of PVD, CVD and CERAMIC tool inserts in turning of hardened EN 19/AISI 4140 for optimization of surface roughness, *Int. J. Emerg. Tech. Innovat. Res.*, 2 (6) (2015) : 2026-2032. <http://www.jetir.org/papers/JETIR1506060.pdf> (Consulté le 20/12/2017)
- [2] Mathon P., Usinabilité et lois générales de l'usinage des aciers et des fontes, *Méc. Mat. Elect.*, 246-247 (1970) : 23-43.
- [3] Panda A., Sahoo A., and Rout A., Statistical regression modeling and machinability study of hardened AISI 52100 steel using cemented carbide insert, *Int. J. of Indust. Eng. Comput.*, 8 (1) (2017) : 33-44. DOI : [10.5267/j.ijiec.2016.7.004](https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2016.7.004).
- [4] Khellaf A., Aouici H., Smaiah S., Boutabba S., Yallese M., and Elbah M., Comparative assessment of two ceramic cutting tools on surface roughness in hard turning of AISI H11 steel: including 2D and 3D surface topography, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 89 (1-4) (2017) : 333-354. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9077-3>
- [5] Sales W., Costa L., Santos S., Diniz A., Bonney J., and Ezugwu E., Performance of coated, cemented carbide, mixed-ceramic and PCBN-H tools when turning W320 steel, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 41 (7-8) (2009) : 660-669. DOI : [10.1007/s00170-008-1523-4](https://doi.org/10.1007/s00170-008-1523-4)
- [6] Lima J., Avila R., Abrao A., Faustino M. and Davim J. P., Hard turning: AISI 4340 high strength low alloy steel and AISI D2 cold work tool steel, *J. Mat. Processing Technology*, 169 (3) (2005) : 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.04.082>
- [7] Yallese M. A., Chaoui K., Zeghib N., Boulanouar B., and Rigal J. F., Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool, *J. Mater. Process. Tech.*, 209 (2) (2009) : 1092-1104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.03.014>.
- [8] Luo S., Liao Y. and Tsai Y., Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools, *J. Mater. Process. Tech.*, 88 (1-3) (1999) : 114-121. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00376-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00376-8)
- [9] Gaitonde V., Karnik S., Figueira L. and Davim J. P., Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 27 (4) (2009) : 754-763. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2008.12.007>
- [10] Keblouti O., Boulanouar L., Azizi M. W. and Yallese M. A., Effects of coating material and cutting parameters on the surface roughness and cutting forces in dry turning of AISI 52100 steel" *Structural Engineering and Mechanics*, 61 (4) (2017) : 519-526. <https://doi.org/10.12989/sem.2017.61.4.519>
-