

UTILISATION D'UN MATERIAU DE COUPE DE HAUTE TECHNOLOGIE DANS L'USINAGE DE FINITION DE L'ACIER 100Cr6 TREMPÉ

M.A.YALLESE*, L.BOULANOUAR**

* Laboratoire mécanique et structure(LMS), Université de Guelma, Algérie.

BP 401, 24000 Guelma, Algérie, E-mail: yalèse@yahoo.fr, Fax : 37 20 72 68, Tél : 037200263

** Laboratoire mécanique des matériaux et maintenance industrielle(LR3MI)

Département de Génie mécanique, université de Annaba, Algérie

Résumé :

Nous avons étudié en tournage l'influence des outils en nitrure de bore cubique CBN7020 sur l'état de surface de l'acier 100Cr6 trempé. Les essais ont été réalisés conformément à la méthode de planification des expériences. Les résultats trouvés montrent que l'état de surface obtenu avec ce matériau à outil est comparable à celui des surfaces rectifiées. Des modèles mathématiques, décrivant la relation entre la rugosité et les éléments du régime de coupe ont été déduits. Une interprétation physique de ces résultats a été faite.

Mots clés : Rugosité - Nitrure de bore cubique - Acier - Tournage.

Abstract :

It has been studied in turning the effect of the cubic boron nitride CBN7020 tools on the surface state of a hardened steel 100Cr6. Tests have been realized according to the test planing method. The obtained results show that the obtained surface state using this kind of tool material is comparable to that of grinding surface. Mathematical models describing the relationship between the roughness and cutting regime elements have been deducted. A physical interpretation of the results has been done.

Key words : Roughness - Cubic Boron Nitride - Steel - Turning.

1. Introduction :

Tout d'abord, il est essentiel de souligner les avancées prises par certains matériaux de coupe afin de répondre à un besoin de travail rapide, d'une part, et aux soucis d'obtenir des finis de surface ne nécessitant plus de reprise d'autre part. En effet, depuis déjà des années les spécialistes de la coupe se sont rendu compte que plus on utilisait des vitesses de coupe élevées lors des usinages les plus divers, plus on parvenait à respecter des précisions

poussées avec des finis de surfaces voisins de ceux de la rectification [1, 2, 3].

La présente étude s'inscrit dans ce cadre. Elle a pour but, d'élargir les connaissances sur l'emploi d'un outil de coupe moderne d'une part et de contribuer à l'amélioration de son utilisation d'autre part. Nous avons réalisé des essais de rugosité avec le nitrure de bore cubique CBN7020 sur l'acier 100Cr6 trempé difficilement usinable et particulièrement agressif vis-à-vis des matériaux de coupe.

Dans ce travail nous avons essayé de définir l'influence des éléments du régime de coupe sur la rugosité de la surface usinée. Ce qui a permis la déduction des modèles mathématiques exprimant la relation entre l'état de surface et les paramètres du régime de coupe [4, 5].

2. Evaluation de la rugosité :

Théoriquement la connaissance de l'avance et de la géométrie de l'outil permet de calculer la profondeur maximale des sillons (R_t). En tournage par exemple la rugosité de la surface usinée peut être déterminée à partir d'un profil géométrique idéal [6].

$$R_{t_{th}} = f^2 / 8r \text{ quand } f \ll r \quad (1)$$

Une bonne approximation de la rugosité arithmétique moyenne donne :

$$R_a = f^2 / 32r \quad (2)$$

A partir de nombreux essais, il est possible de définir expérimentalement les relations mathématiques entre la rugosité obtenue et les paramètres de coupe. Les modèles sont généralement de la forme [7, 8] :

$$R_a = K_1 \cdot f^{K_2} \cdot HB^{K_3} \cdot a_p^{K_4} \cdot f^{K_5} \cdot V_c^{K_6} \quad (3)$$

Où : $K_1 \dots K_6$ sont des coefficients ($K_4 \approx 0$).

Pour un matériau et un outil donné, on a :

$$R_a = K_1 \cdot f^{K_5} \cdot V_c^{K_6} \text{ Où : } K_5 > 0 \text{ et } K_6 < 0 \quad (4)$$

3. Procédure expérimentale :

Les essais de rugosité ont été réalisés suivant deux méthodes de planification des expériences (méthode unifactorielle – méthode multifactorielle). Les équipements utilisés pour les essais ainsi que les conditions de coupe sont les suivants :

3.1 équipements utilisés :

- **Machine-outil** : Tour très rigide (TOS TRENCIN) de puissance sur la broche égale à 6,6 kW.
- **Outil de coupe** : Le porte plaquette utilisé est du type PSBNR2525K12, ayant la géométrie suivante : $\chi_r = 75^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = -6^\circ$; $\lambda = -6^\circ$.
- **Plaquettes** : Les plaquettes utilisées sont amovibles de forme carrée, toutes les informations relatives aux plaquettes sont regroupées au (Tableau 1).

Matériau de coupe	Composition chimique	Désignation	Firme
Nitride de bore cubique	57%CBN+35%TiCN+8% autres	SNGA 12 04 08 (7020)	Sandvik

Tableau 1 : Caractéristiques des plaquettes utilisées.

- **Appareil de mesure de la rugosité** : Pour la mesure des différents critères de rugosité nous avons utilisé un rugosimètre surf test 301 mitutoyo équipé d'une imprimante intégrée de profil de rugosité.

- **Matériau à usiner** : Nous avons utilisé comme matière usinée, l'acier 100Cr6 ayant la composition chimique suivante (Tableau 2) :

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni
1.05	0.38	0.21	0.03	0.028	1.41	0.21

Tableau 2 : Composition chimique de l'acier 100Cr6.

Cet acier est très résistant à l'usure, il est utilisé surtout pour la fabrication des billes, rouleaux, bagues et cages de roulements. On l'emploie également pour l'usinage à froid comme matrice de formage, cylindres de laminaires et comme revêtement d'usure.

3.2 Condition de traitement thermique :

Les conditions de traitement thermique de l'acier 100Cr6 sont mentionnées sur le (Tableau 3).

Acier	Dureté	Dureté après traitement	Traitement thermique
100Cr6	285 HB	60HRC	Trempe + Revenu

Tableau 3 : Condition de traitement thermique de l'acier 100Cr6.

3.3 Conditions de coupe :

- Pour la méthode unifactorielle les conditions de coupe sont les suivantes :

Vitesse de coupe variable :

$V_c = 60-90-120-150-180 \text{ m/min}$; $f = 0.08 \text{ mm/tr}$; $a_p = 0.2 \text{ mm}$.

Avance variable :

$f = 0.08-0.11-0.14-0.16-0.2 \text{ mm/tr}$; $V_c = 120 \text{ m/min}$; $a_p = 0.2 \text{ mm}$.

Profondeur de passe variable :

$a_p = 0.2-0.4-0.6-0.8-1.0$; $V_c = 120 \text{ m/min}$; $f = 0.08 \text{ mm/tr}$.

Travail à sec

- Pour la méthode multifactorielle les éléments du régime de coupe varient dans l'intervalle suivant :

Vitesse de coupe : $V_c = 90$ à 180 m/min

L'avance : $f = 0.08$ à 0.20 mm/tr

Profondeur de passe : $a_p = 0.2$ à 0.6 mm

4. Résultats des expériences :

4.1 Résultats des expériences suivant la méthode unifactorielle :

Influence de la vitesse de coupe :

L'influence de ce paramètre est significative. En effet, les résultats avec l'outil CBN7020 montrent que la rugosité de l'acier 100Cr6 diminue légèrement puis tend à se stabiliser quand la vitesse de coupe augmente. Cette amélioration de l'état de surface s'explique par le fait que la matière usinée est peu ductile (acier trempé à 60HRC) et les vitesses de coupe choisies sont élevées, ce qui ne favorise pas la formation de l'arête rapportée. Donc nous n'avons pas la dégradation de surface par l'adhésion de particules ou fragments du copeau sur la surface déjà usinée (fig. 1).

Influence de l'avance :

L'effet de ce paramètre sur la rugosité est très important, les résultats des essais montrent qu'avec l'augmentation de l'avance, la qualité de surface obtenue se dégrade d'une manière assez significative. L'avance est l'un des paramètres dont l'effet est sensible sur l'état de surface usinée (fig. 2).

Influence de la profondeur de passe :

Ce paramètre a une influence relativement plus faible sur la rugosité, les résultats des essais

montrent que la profondeur de passe ne joue pas un rôle déterminant sur la qualité des surfaces usinées. En effet avec son augmentation on remarque une légère augmentation des valeurs de la rugosité (fig. 3).

Influence du temps de coupe :

Les résultats des essais de la rugosité en fonction du temps de coupe à différentes vitesses de coupe montrent que la valeur de la rugosité n'est pas stable et uniforme, mais elle subit une évolution en fonction du temps d'usinage. Ce dernier est étroitement lié avec l'usure alors, on peut dire que l'endommagement superficiel des facettes et des arêtes tranchantes de la partie active de l'outil conduit à la dégradation de l'état de surface du matériau usiné (figures 4 à 6).

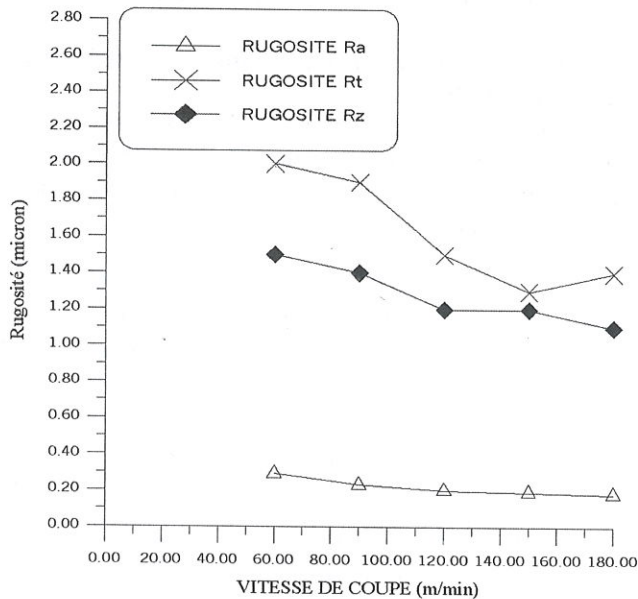


fig. 1 : Critères de rugosité en fonction de la vitesse de coupe. $f=0.08\text{mm/tr}$; $a_p=0.2\text{mm}$.

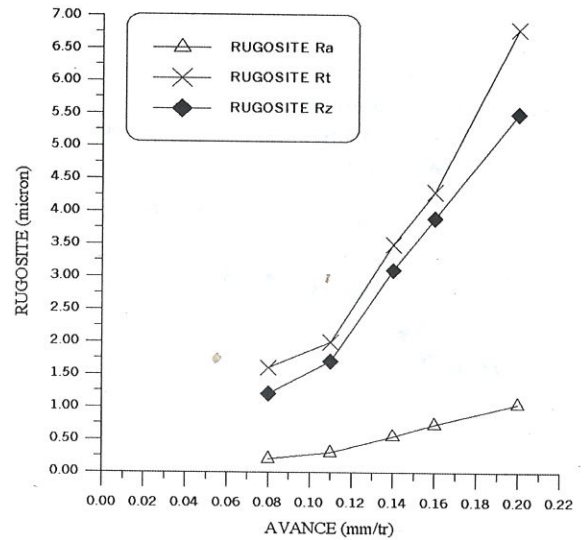


fig.2 : Critères de rugosité en fonction de l'avance. $V_c=120\text{m/min}$; $a_p=0.2\text{mm}$.

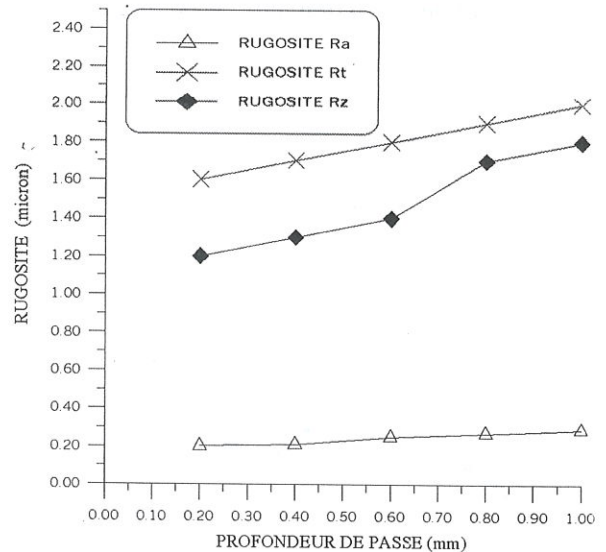


fig. 3 : Critères de rugosité en fonction de la profondeur de passe. $V_c=120\text{m/min}$; $f=0.08\text{mm/tr}$

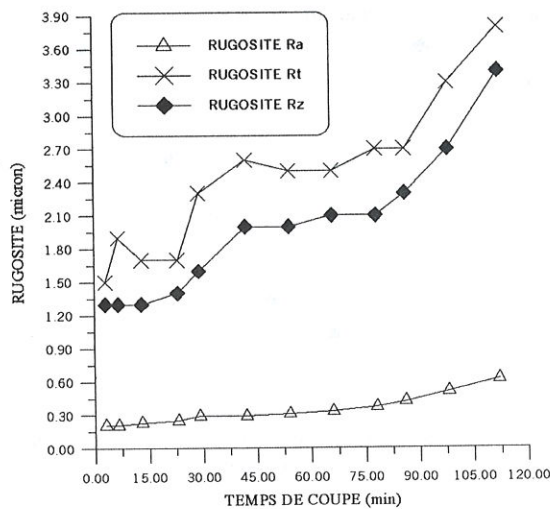


Fig. 4 : Rugosité en fonction du temps
 $V_c=120\text{m/min}$; $f=0.08\text{mm/tr}$; $a_p=0.5\text{mm}$.

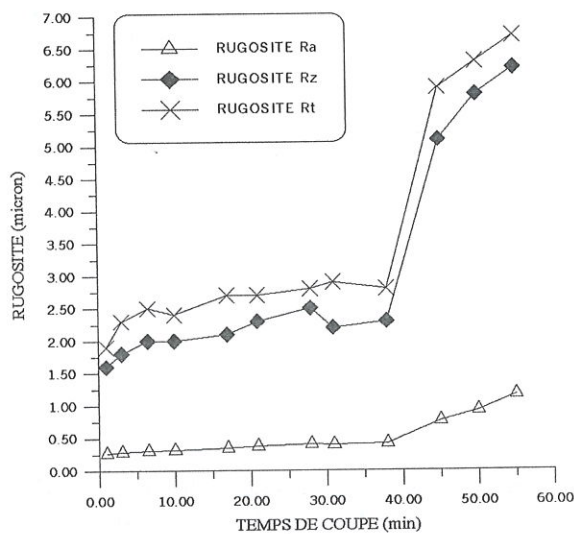


Fig. 5 : Rugosité en fonction du temps
 $V_c=180\text{m/min}$; $f=0.08\text{mm/tr}$; $a_p=0.5\text{mm}$.

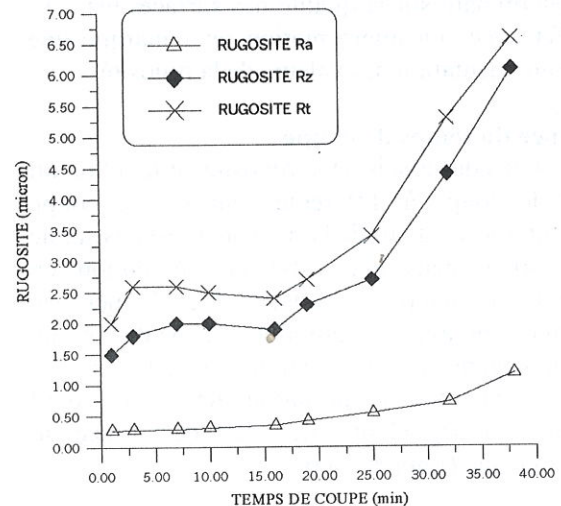


fig. 6 : Rugosité en fonction du temps
 $V_c=220\text{m/min}$; $f=0.08\text{mm/tr}$; $a_p=0.5\text{mm}$.

4.2 Résultats des expériences suivant la méthode multifactorielle :

Les essais relatifs à l'étude de l'influence des différentes combinaisons des éléments du régime de coupe sur la rugosité ont permis l'obtention des résultats reportés sur le (tableau 4)

Facteurs							CBN7020		
Valeurs codifiées				Valeurs réelles			Critères de rugosité		
Essai N°	X ₁	X ₂	X ₃	f mm/tr	a _p mm	V _c m/mn	Ra μm	Rz μm	Rt μm
1	-1	-1	-1	0.08	0.2	90	0.23	1.4	1.9
2	+1	-1	-1	0.2	0.2	90	1.08	4.9	5.2
3	-1	+1	-1	0.08	0.6	90	0.27	1.6	2.1
4	+1	+1	-1	0.2	0.6	90	1.05	5.2	5.8
5	-1	-1	+1	0.08	0.2	180	0.18	1.1	1.4
6	+1	-1	+1	0.2	0.2	180	0.88	4.1	4.8
7	-1	+1	+1	0.08	0.6	180	0.21	1.3	1.5
8	+1	+1	+1	0.2	0.6	180	0.90	4.5	5.2
9	0	0	0	0.14	0.4	135	0.58	3.3	3.7

Tableau 4 : Résultats de la rugosité en fonction des combinaisons du plan d'expérience.

D'après les résultats du tableau 4, on remarque que les meilleures valeurs des critères de rugosité obtenus avec les différentes combinaisons du régime de coupe, sont enregistrées avec le régime suivant : Régime :

$V_c = 180 \text{ m/min}$; $f = 0,08 \text{ mm/tr}$; $a_p = 0,2 \text{ mm}$.
 Critères de rugosité :
 $R_a = 0,18 \mu\text{m}$; $R_t = 1,4 \mu\text{m}$; $R_z = 1,1 \mu\text{m}$.

5. Exploitation des résultats :

5.1 Détermination des constantes du modèle de la rugosité :

Les modèles mathématiques les plus couramment utilisés s'expriment (conformément aux idées de Taylor) par la relation suivante :

$$R_i = C_t \cdot f^\beta \cdot a_p^\gamma \cdot V_c^\alpha \quad (5)$$

Où : R_i : Critère de rugosité (R_a, R_t, R_z) ;

C_t : Constante qui tient compte des facteurs non cités dans (5) ;

$\alpha ; \beta ; \gamma$: Exposants qui expriment le degré d'influence des différents facteurs de base (V_c, a_p, f) sur la rugosité.

La méthode des "moindres carrées" de Gauss-Legendre permet de déterminer les différents coefficients de la loi de coupe. En Prenons le logarithme des deux parties de l'équation (5), on obtient alors pour l'équation de la tenue de l'outil :

$$\text{Log } R = \text{Log } C_t + \alpha \text{Log } V_c + \beta \text{Log } f + \gamma \text{Log } a_p \quad (6)$$

Un changement de variables permet d'écrire l'équation (6) sous la forme suivante :

$$Y_i = C + \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 \quad (7)$$

Où : $Y_i = \text{Log } R$; $C = \text{Log } C_t$; $X_1 = \text{Log } V_c$; $X_2 = \text{Log } f$; $X_3 = \text{Log } a_p$

D'après la méthode des moindres carrés la somme des écarts quadratiques est minimale, nous aurons alors :

$$S = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{ii})^2 \Rightarrow \varepsilon (\text{valeur infiniment petite}) \quad (8)$$

$$S = \sum_{i=1}^N (Y_i - C - \alpha X_{1i} - \beta X_{2i} - \gamma X_{3i})^2 \rightarrow \varepsilon \quad (9)$$

L'interprétation mathématique de ce principe, c'est que les dérivées partielles de la somme (S) par rapport aux inconnues C, α, β, γ soient nulles.

$$\begin{aligned}
 * \frac{\partial S}{\partial C} &= -2 \sum_{i=1}^N (Y_i - C - \alpha X_{1i} - \beta X_{2i} - \gamma X_{3i}) = 0 \\
 * \frac{\partial S}{\partial \alpha} &= -2 X_{1i} \sum_{i=1}^N (Y_i - C - \alpha X_{1i} - \beta X_{2i} - \gamma X_{3i}) = 0 \\
 * \frac{\partial S}{\partial \beta} &= -2 X_{2i} \sum_{i=1}^N (Y_i - C - \alpha X_{1i} - \beta X_{2i} - \gamma X_{3i}) = 0 \\
 * \frac{\partial S}{\partial \gamma} &= -2 X_{3i} \sum_{i=1}^N (Y_i - C - \alpha X_{1i} - \beta X_{2i} - \gamma X_{3i}) = 0
 \end{aligned} \quad (10)$$

Après dérivation on aura les quatre équations qui forment le système suivant :

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^N Y_i = N C + \alpha \sum_{i=1}^N X_{1i} + \beta \sum_{i=1}^N X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^N X_{3i} \\
 \sum_{i=1}^N X_{1i} Y_i = C \sum_{i=1}^N X_{1i} + \alpha \sum_{i=1}^N X_{1i}^2 + \beta \sum_{i=1}^N X_{1i} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^N X_{1i} X_{3i} \\
 \sum_{i=1}^N X_{2i} Y_i = C \sum_{i=1}^N X_{2i} + \alpha \sum_{i=1}^N X_{1i} X_{2i} + \beta \sum_{i=1}^N X_{2i}^2 + \gamma \sum_{i=1}^N X_{2i} X_{3i} \\
 \sum_{i=1}^N X_{3i} Y_i = C \sum_{i=1}^N X_{3i} + \alpha \sum_{i=1}^N X_{1i} X_{3i} + \beta \sum_{i=1}^N X_{2i} X_{3i} + \gamma \sum_{i=1}^N X_{3i}^2
 \end{cases} \quad (11)$$

Pour résoudre le système (11), on remplace les X_{ji} par leurs valeurs codifiées du tableau 4 on obtient :

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^N Y_i = N C \\
 \sum_{i=1}^N X_{1i} Y_i = N \alpha \\
 \sum_{i=1}^N X_{2i} Y_i = N \beta \\
 \sum_{i=1}^N X_{3i} Y_i = N \gamma
 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases}
 C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \\
 \alpha = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{1i} Y_i \\
 \beta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{2i} Y_i \\
 \gamma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{3i} Y_i
 \end{cases} \quad (12)$$

5.2 Détermination des modèles paramétrique de la rugosité :

Le traitement des résultats expérimentaux obtenus aux figures 1,2,3 a permis la détermination des modèles mathématiques statistiques, exprimant la relation entre les différents critères de rugosité (R_a, R_z, R_t) et chacun des paramètres du régime de coupe (V_c, f, a_p) (Tableau. 5).

5.3 Détermination des modèles généralisés de la rugosité :

Le traitement des résultats expérimentaux obtenus (tableau 4), a permis la détermination des modèles mathématiques statistiques, exprimant la relation entre les différents critères de rugosité (R_a, R_z, R_t) et l'ensemble des paramètres du régime de coupe (V_c, f, a_p) (Tableau. 6).

A partir des modèles mathématiques déduits du tableau 6, on peut tracer les courbes des rugosités (R_a, R_t) en fonction de l'avance, suivant différentes vitesses de coupe. Ainsi que les courbes des rugosités obtenues suivant les modèles théoriques qui sont déterminés à partir d'un profil géométrique idéal (paragraphe 2) et en dernier lieu, les résultats Les résultats sont représentés sur les (Fig 7-8).

Matériau	Paramètres variables	Modèles mathématiques	Coefficient de corrélation (R)
Nitrure de bore cubique CBN 7020	Avance (mm/tr)	$Ra = 22,017 \cdot f^{1,887}$	0,999
		$Rt = 86,080 \cdot f^{1,626}$	0,986
		$Rz = 90,963 \cdot f^{1,740}$	0,999
	Vitesse de coupe (m/min)	$Ra = 1,666 \cdot Vc^{-0,434}$	0,989
		$Rt = 10,823 \cdot Vc^{-0,406}$	0,924
		$Rz = 4,858 \cdot Vc^{-0,284}$	0,998
	Profondeur de passe (mm)	$Ra = 0,283 \cdot ap^{0,241}$	0,987
		$Rt = 1,961 \cdot ap^{0,136}$	0,980
		$Rz = 1,728 \cdot ap^{0,256}$	0,974

Tableau 5 : Modèles mathématiques paramétriques déduits.

Matériau de coupe	Paramètres variables	Modèles mathématiques déduits	Coefficient de corrélation (R)
Nitrure de bore cubique CBN 7020	V_c f a_p	$R_a = e^{4,39790} \cdot f^{1,64740} \cdot a_p^{0,09097} \cdot Vc^{-0,34132}$	0,999
		$R_t = e^{4,99245} \cdot f^{1,07181} \cdot a_p^{0,07025} \cdot Vc^{-0,25139}$	0,998
		$R_z = e^{5,48538} \cdot f^{1,09879} \cdot a_p^{0,07318} \cdot Vc^{-0,34794}$	0,995

Tableau 6 : Modèles mathématiques généralisés déduits.

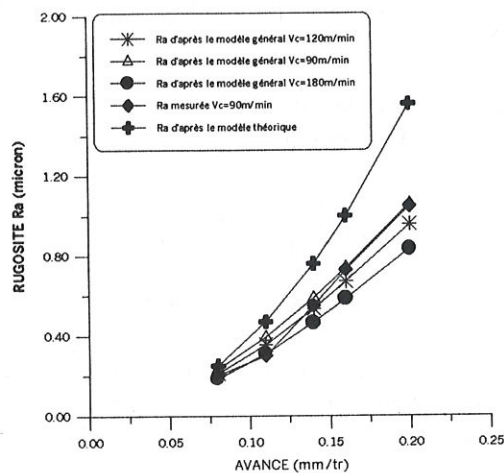


fig. 7 : Comparaison entre les différentes rugosités Ra Obtenues par l'outil CBN7020

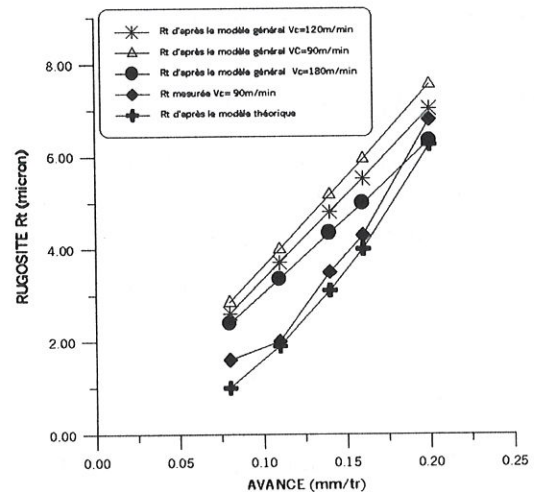


fig. 8 : Comparaison entre les différentes rugosités Rt Obtenues par l'outil CBN7020

6. Analyse des résultats et discussion:

- L'analyse des résultats des rugosités obtenus soit par la méthode unifactorielle où multifactorielle, montre que les performances du CBN7020 dépasse de loin celle des outils en aciers rapides, carbures métalliques et cermets. Ces performances pour les opérations de finition de l'acier 100Cr6 trempé, peuvent être partiellement expliquées par la haute rigidité et la tenue exceptionnelle de ces arêtes de coupe, ajouter à cela sa grande dureté et sa stabilité chimique à des températures élevées ce qui rend ce matériau de coupe moderne particulièrement approprié à l'usinage de finition des matériaux difficiles à usiner [9, 10, 11, 14].

- D'après les résultats des essais, on constate que l'avance est le facteur déterminant de la qualité des surfaces usinées. L'explication se trouve dans la génération de la surface usinée en tournage. La surface engendrée comporte des sillons hélicoïdaux, résultant de la forme de l'outil et du mouvement hélicoïdal outil - pièce. Ces sillons seront d'autant plus profonds et d'autant plus large que l'avance est élevée, d'où l'emploi de faibles avances lors du tournage fin. D'autre part, malgré l'augmentation de l'avance de 2,5 fois, les états de surface obtenus avec l'outil CBN7020 restent encore bons et peuvent être comparés à ceux de la rectification.

- L'analyse des courbes d'évolution de la rugosité en fonction du temps à différentes vitesses de coupe, montre que l'outil CBN7020 assure un bon état de surface (fig 4 à 6) durant un temps de coupe considérable. A cet effet l'évolution de la rugosité est très lente et l'état de surface de la pièce reste impeccable. Ceci est valable quant l'usure est régulière et uniforme et ne dépasse pas la valeur admissible $[VB]=0,3\text{mm}$. Au-delà de cette valeur on assiste à un accroissement rapide de la rugosité sur les différentes courbes. Par conséquent Plus l'usure de l'outil augmente, plus l'état de surface se dégrade. Il est à noter également, que même au delà de la valeur admissible de l'usure $[VB]=0,3\text{mm}$ du CBN7020, la rugosité des surfaces observées reste relativement très réduite.

- Les conséquences sur le plan pratique de l'influence des paramètres du régime de coupe sur la rugosité (Ra) avec le CBN7020 sont les suivants (Tableau 7):

Matériau	Influence des paramètres de coupe	Conséquence sur la rugosité Ra
Nitrure de bore Cubique	Augmentation de l'avance de 0.08 à 0.2 (mm/tr)	Elévation de Ra de 5.25 fois
	Augmentation de La pénétration de 0.2 à 1.0 (mm)	Elévation de Ra de 1.45 fois
	Augmentation de la vitesse de 60 à 180 (m/min)	Diminution de Ra de 1.6 fois

Tableau 7 : Conséquences pratiques des paramètres de coupe sur la rugosité.

- L'analyse des différents résultats montre que la profondeur de passe n'a pas une influence significative sur la rugosité. Ce constat permet de recommander qu'il est toujours préférable l'augmentation de la profondeur de passe (3 fois dans notre cas), (3 fois dans notre cas) au lieu de l'avance si on veut augmenter le débit de copeau tout en gardant presque la même valeur de la rugosité.

- Les qualités des surfaces obtenues lors du tournage de l'acier 100Cr6 trempé à l'aide du CBN 7020, sont comparables à celles obtenues en rectification. Ceci est valable même lorsqu'on travaille avec des avances et des profondeurs de coupe élevées (Tableau 8) :

Procédés d'usinages	Ra (μm)	Rt (μm)	Rz (μm)
Tournage avec CBN 7020	0,18 ÷ 1,05	1,4 ÷ 5,8	1,1 ÷ 5,2
Rectification	0,2 ÷ 1,6	4 ÷ 10	0,5 ÷ 4,0

Tableau 8 : Comparaison entre la rugosité obtenue en tournage et en rectification.

D'après la comparaison du tableau 8, on peut affirmer que la mise en œuvre des outils en nitrure de bore cubique permet au tournage de remplacer ou/et compléter la rectification. Par conséquent les opérations d'ébauche et de finition peuvent être accomplies sur la même machine et avec le même outil. On obtient, ainsi une réduction importante des temps de production, un taux d'enlèvement de matière excellent (une meilleure productivité), une bonne géométrie des pièces (la pièce est réalisée en un seul montage, pas d'erreurs de reprise).

- Les modèles mathématiques de la rugosité obtenus, expriment la relation entre les différents critères de rugosité (R_a , R_t , R_z) et les éléments du régime de coupe (V_c , f , a_p). Par conséquent l'augmentation de chacun des facteurs (f) et (a_p) contribue à l'élévation de la rugosité, alors que la vitesse influe dans le sens contraire. Le classement des exposants des différents modèles mathématiques, traduit l'ordre du degré d'influence de chaque élément (V_c , f , a_p) sur la rugosité.
- Les coefficients de corrélation des différents modèles trouvés, sont tous élevés et convergent vers l'unité, ce qui traduit la bonne corrélation avec les résultats expérimentaux. Ils permettent de posséder un ensemble de données capable de renseigner sur l'optimisation des opérations de tournage de la nuance de l'acier étudié avec le matériau de coupe utilisé.

Conclusion :

D'après les résultats des essais de rugosité, on peut dire que la tenue exceptionnelle des arêtes de coupe du CBN 7020, rend ce genre de matériau de coupe particulièrement approprié aux travaux de finition des pièces dont la dureté dépasse les 45HRC. On obtient des qualités de surface qui ne nécessitent pas d'opérations ultérieures de rectification. Les opérations d'ébauche et de finition des pièces peuvent être réalisées sur la même machine, on aura ainsi une réduction importante de temps de production, un taux d'enlèvement de matière élevé et une réduction importante des erreurs de reprises. Les modèles proposés dans cette étude sont en bonne corrélation avec les valeurs obtenues expérimentalement, ces modèles sont très utiles pour faire une étude économique d'une opération de tournage et permettent aussi de posséder un ensemble de données sur les paramètres du régime de coupe afin d'obtenir la productivité optimale.

En dernier lieu, on peut dire que l'introduction des outils CBN a révolutionné les méthodes d'usinage en fournissant une alternative efficace et économique à la rectification des aciers durs. Toutefois, en raison du coût de ce matériau d'outil, un bilan économique précis des avantages induit par son utilisation est nécessaire avant de décider de son application industrielle. Ce travail intéresse toutes les entreprises d'usinage, du fait qu'actuellement le CBN est en pleine évolution. Par conséquent les résultats obtenus, peuvent être exploités directement par les entreprises de fabrication mécanique.

Référence bibliographiques :

- [1] J. RIOUT, "Les états de surface " CETIM- note technique, N°18, déc. 1985.
- [2] J. GIRART, "Les états de surface en tournage, choix des conditions de coupe, influence des principaux paramètres de coupe" CETIM-information, N°61, mai 1979.
- [3] P. CHANCEL, Qualité des surfaces fraisées, CETIM-Information, N°161, déc. 1998.
- [4] M.A. YALLESE, et BOULANOUAR Etude du comportement des matériaux de coupe modernes, Projet de recherche N°J2425/01/99, Université de Guelma, Algérie.
- [5] M.A. YALLESE et BOULANOUAR, Etude des performances des outils céramiques lors du tournage, Conférence internationale sur la productique CIP 2001 juin 2001, pp345 à 350.
- [6] C. BEDRIN et B. ROUMESY, usinage pa outil coupant, fascicule 1-2, INSA lyon 1989.
- [7] S. ENACHE, La qualité des surface usinées. Dunod, 1972.
- [8] A. CHEVALIER, guide du dessinateur industriel, hachette technique 1979.
- [9] J.L. HUG, Tournage des métaux durs, machine de production, 1995, pp.17-19.
- [10] W. KONIG et al., Machining of hard materials, Annals of the CIRP, 1984, pp.417-427.
- [11] A.T. NOTTER et P.J. HEAT, Usinage des métaux ferreux de grande dureté à l'aide de l'amborite, machine-outil, N°386, 1981, pp. 166-167.
- [12] C.O. NONGA, Etat de surface d'un composite usiné, CETIM-Information, N°141 Déc 1994.
- [13] H. PASTOR, The évolution of cutting tool matériels, Bulletin du cercle d'études des métaux N°=13, nov 1996.
- [14] P. CHANCEL, les nouveaux outils coupants, CETIM information N°= 147, fév 1996.

Nomenclature :

a_p	profondeur de passe [mm]
f	avance [mm/tr]
HB	dureté brinell
HRC	dureté rockwell
r	rayon de bec de l'outil [mm]
R	coefficient de corrélation
R_a	écart arithmétique moyen [μm]
R_t	écart total de la rugosité [μm]
R_z	profondeur moyenne de la rugosité [μm]
[VB]	usure en dépouille admissible [mm]

V_c	vitesse de coupe [m/min]
α	angle de dépouille principale [degré]
χ_r	angle de direction principale [degré]
γ	angle de coupe [degré]
λ	angle d'inclinaison d'arête [degré]