

# Comportement à l'usure des céramiques de coupe ( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ et $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}$ ) en tournage des pièces trempées

B. Fnides, M. A. Yallese et H. Aouici

Laboratoire Mécanique et Structures (LMS), Département de Génie Mécanique, Université 08 Mai 1945, BP 401 Guelma 24000, Algérie, E-Mail : fbrahim@yahoo.fr

**Résumé :** Ce travail vise à étudier le comportement à l'usure des outils de coupe en céramique (mixte et composite) en tournage dur à sec de l'acier X38CrMoV5-1 [AISI H11] traité à 50HRC. Cet acier est destiné pour le travail à chaud, exempt de tungstène sur base CrMoV, insensible aux changements de température et ayant une résistance à l'usure élevée. Il est employé pour la fabrication des matrices, des coquilles, des moules et inserts de coulée sous pression fortement sollicités avec durée de vie élevée. Les essais de chariotage ont été effectués selon la méthode de planification des expériences. Les résultats ont permis d'étudier l'influence du temps d'usinage sur l'usure de ces deux outils. L'évolution des efforts de coupe en fonction des variables (avance, vitesse de coupe et profondeur de passe) lors de l'usinage de cet acier par la plaquette CC650 a aussi été étudiée. Ainsi, les plages de conditions de coupe les mieux adaptées et les durées de vie de ces outils, ont été déterminées.

**Mots clés :** Tournage dur, X38CrMoV5-1, Usure, Céramique mixte, Céramique composite, Effort de coupe.

## 1 Introduction

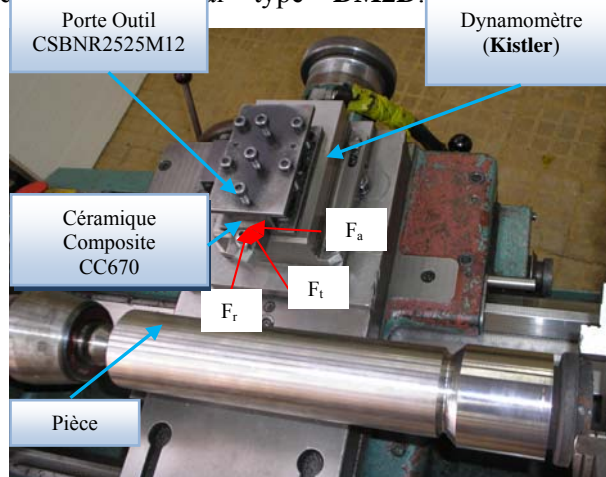
L'usure est un facteur très important dans un processus d'usinage. Elle influe sur l'état de surface des pièces usinées et elle définit la durée de vie des outils. Les efforts de coupe sont à la base de l'évaluation de la puissance nécessaire à la coupe (choix du moteur électrique). Ils servent au dimensionnement des organes de la machine-outil (boîte des vitesses et des avances, bâti) et du corps de l'outil. Ils influent sur la stabilité du système usinant [1-6].

## 2 Procédure expérimentale

Les opérations de chariotage relatives aux essais sur l'usure et les efforts de coupe ont été faites sur des éprouvettes en acier de nuance X38CrMoV5-1 traité à 50HRC, de 75mm de diamètre et de 400mm de longueur. Cet acier est fortement allié, destiné pour le travail à chaud, possède une excellente résistance à la fatigue thermique. Sa résistance à haute température, sa ténacité, son aptitude au polissage et sa résistance aux chocs thermiques, lui permettent de répondre aux sollicitations les plus sévères dans les domaines du matriçage à chaud, des moules sous pression [7 et 8]. Sa composition chimique est la suivante : 0.35%C ; 5.26%Cr ; 1.19%Mo ; 0.5%V ; 1.01%Si ; 0.32%Mn ; 0.002%S ; 0.016%P ; 90.31%Fe et 1.042%Autres éléments. Pour atteindre une dureté de 50HRC, cet

utilisées sont en céramique composite (CC670) et en céramique mixte (CC650), amovibles et de forme carrée. La première se fixe par bride et ayant la désignation SNGN120408 T01020 et la composition

acier a subi une trempe à 1020°C. Ce traitement thermique a été effectué dans un four à chambre électrique. La dureté a été mesurée par un duromètre digital type **DM2D**. L'usure des



plaquettes a été mesurée à l'aide d'un microscope optique type Hund (W-AD). Pour la mesure des trois composantes de l'effort de coupe ( $F_a$ ,  $F_v$  et  $F_r$ ), nous avons utilisé un dynamomètre **KISTLER** modèle 9257 B (figure 1).

Fig.1-Configuration expérimentale pour le chariotage des éprouvettes

Le tour qui a servi pour les opérations d'usinage est de marque TOS TRENCIN, modèle SN40C, d'une puissance sur la broche de 6.6KW. Les plaquettes de coupe chimique ( $75\%\text{Al}_2\text{O}_3+25\%\text{SiC}$ ) et la deuxième est avec trou à fixation par levier central ayant la désignation SNGA120408 T01020 et la composition chimique ( $70\%\text{Al}_2\text{O}_3+30\%\text{TiC}$ ). Les porte outils sont de désignation (CSBNR2525M12 et PSBNR2525K12)

avec une géométrie de la partie active caractérisée par les angles suivants :  $\chi = 75^\circ$  ;  $\alpha = 6^\circ$  ;  $\gamma = -6^\circ$  ;  $\lambda = -6^\circ$  [9 - 11].

**3 Résultats et discussion**

**3.1 Influence du temps d'usinage sur l'usure en dépeuille à deux vitesses différentes**

**A – Plaquette CC650**

Les figures 2a et 2b montrent l'évolution de l'usure en dépeuille de la céramique mixte en fonction du temps d'usinage à deux vitesses différentes. Avec l'augmentation du temps d'usinage, le frottement augmente ce qui accélère le mécanisme d'usure.

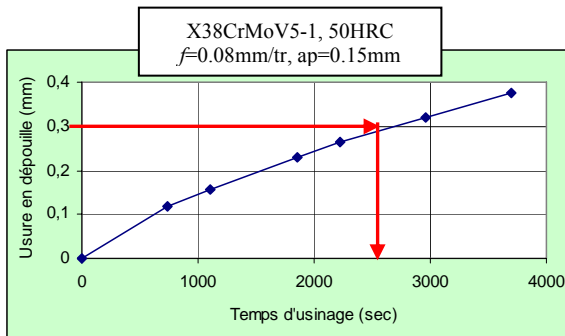


Fig. 2a-Evolution de l'usure en dépeuille VB en fonction du temps d'usinage à Vc = 120m/min

A la vitesse de coupe de 120m/min et pour un temps d'usinage de 740secondes, l'usure en dépeuille est de 0.118mm. Pour un temps de 3700secondes, l'usure atteint la valeur de 0.374mm. Cette variation correspond à une augmentation de 217%. D'après la figure 2a, la tenue de la plaquette CC650 est de 49minutes.

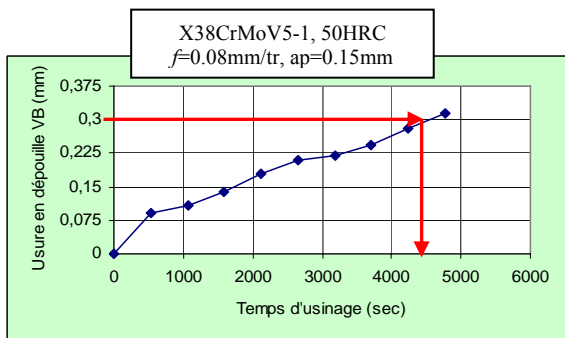


Fig. 2b-Evolution de l'usure en dépeuille VB en fonction du temps d'usinage à Vc = 90m/min

A t = 530secondes et pour Vc = 90m/min, l'usure de cet outil est de 0.091mm. A la fin du chariotage (à t = 4470secondes), l'usure est de 0.315mm. Ce qui représente un accroissement de 244%. D'après la figure 2b et pour VB = 0.3mm, la durée de vie de l'outil est de 79minutes. La tenue de la céramique mixte CC650 à Vc = 120m/min est inférieure à 63% de sa valeur à Vc = 90m/min. Ce constat nous permet de conclure que la vitesse de coupe a un grand effet sur la tenue de l'outil.

**B – Plaquette CC670**

Les figures 3a et 3b illustrent l'impact du temps d'usinage sur l'usure en dépeuille de la plaquette CC670 à deux vitesses de coupe différentes. Pour la première opération de chariotage (à t = 370secondes) et à Vc = 120m/min, l'usure est de 0.243mm. Cette dernière dépasse largement sa valeur admissible pour un temps d'usinage de 740secondes. Ce qui représente une augmentation de 76.5%. En examinant l'allure de cette courbe, on enregistre une durée de vie de cet outil de 8minutes.

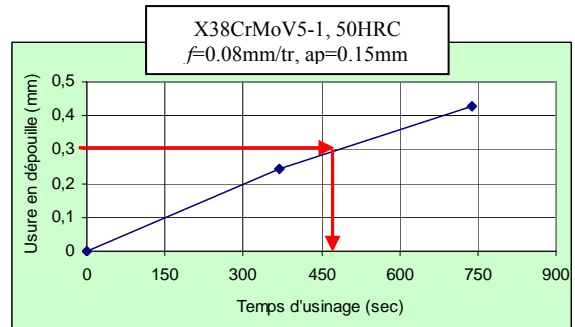


Fig. 3a-Evolution de l'usure en dépeuille VB en fonction du temps d'usinage à Vc = 120m/min

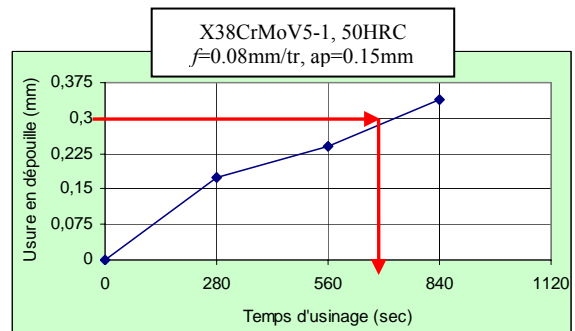


Fig. 3b-Evolution de l'usure en dépeuille VB en fonction du temps d'usinage à Vc = 90m/min

A Vc = 90m/min et au début de l'usinage (à t = 280secondes), l'usure en dépeuille est de 0.173mm. A la fin de l'usinage (à t = 840secondes), la valeur de l'usure en dépeuille est de 0.338mm. Cet accroissement vaut 95.4%. D'après la figure 3b, la tenue de la céramique composite est de 12minutes.

Ces résultats confirment que pour toutes les conditions de coupe testées, la durée de vie de la céramique mixte est largement supérieure à celle de la céramique composite. A titre d'exemple et à la vitesse de 120m/min, la tenue de la céramique composite ne dépasse pas le taux de 17% de celle de la céramique mixte. A Vc = 90m/min, la durée de vie de la céramique composite est inférieure à 16% de celle de la céramique mixte. Cette synthèse nous permet de conclure que la céramique mixte est plus performante que la céramique composite en terme de résistance à l'usure.

### 3.2 Influence du régime de coupe sur les efforts de coupe

#### 3.2.1 Influence de l'avance

Les résultats présentés sur la figure 4 montrent l'évolution des efforts de coupe en fonction de l'avance. Si l'avance augmente, la section du copeau cisailé accroît, d'où le métal résiste plus à la rupture et nécessite des efforts plus grands pour l'enlèvement du copeau. On remarque que l'effort radial est prépondérant par rapport aux deux autres et cela pour toutes les avances testées. Les conséquences sur le plan pratique de l'influence de l'avance sur les efforts de coupe sont comme suit : l'augmentation de l'avance de 0.08 à 0.24mm/tr accroît les composantes de l'effort de coupe (Fr, Fv et Fa) successivement de 48.53% ; 188.7% et 124%). On constate que l'effort tangentiel est très affecté par l'avance, suivi de l'effort axial et en dernier lieu de l'effort radial.

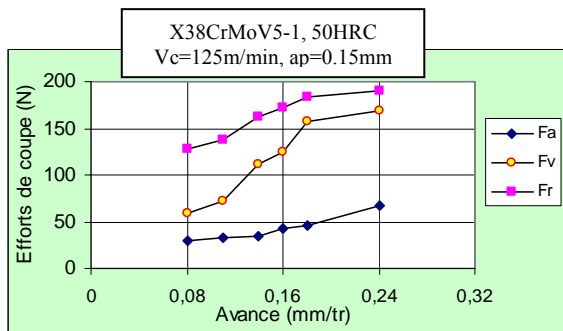


Fig. 4-Evolution des efforts de coupe en fonction de l'avance

#### 3.2.2 Influence de la vitesse de coupe

La figure 5 montre qu'une augmentation de la vitesse de coupe conduit généralement à une diminution des composantes de l'effort de coupe. Ceci est dû à l'élévation de la température dans la zone de coupe qui rend le métal usiné plus plastique et par conséquent les efforts nécessaires à la coupe diminuent. En examinant l'allure des trois courbes, on enregistre une décroissance très nette de l'effort radial jusqu'à la vitesse de 125m/min, au-delà de cette limite, il se stabilise et reprend légèrement une allure ascendante. Par contre les efforts axial et tangentiel diminuent jusqu'à la vitesse de 250m/min, au-delà de cette limite, ils se stabilisent légèrement. On note que les valeurs maximales des efforts de coupe (Fa, Fr et Fv) sont respectivement de (42.28 ; 81.47 et 144.53) N. Elles ont été enregistrées à la vitesse de 45m/min.

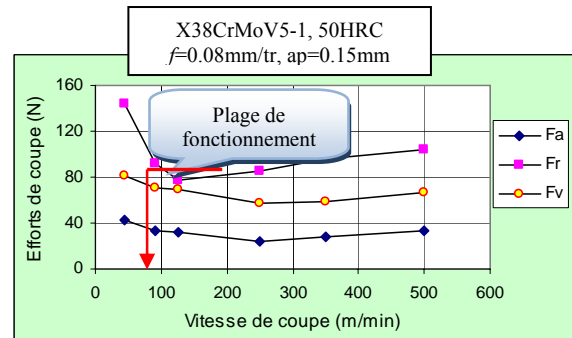


Fig. 5-Evolution des efforts de coupe en fonction de la vitesse de coupe

#### 3.2.3 Influence de la profondeur de passe

Les résultats obtenus sur la figure 6 illustrent l'évolution des efforts de coupe en fonction de la profondeur de passe.

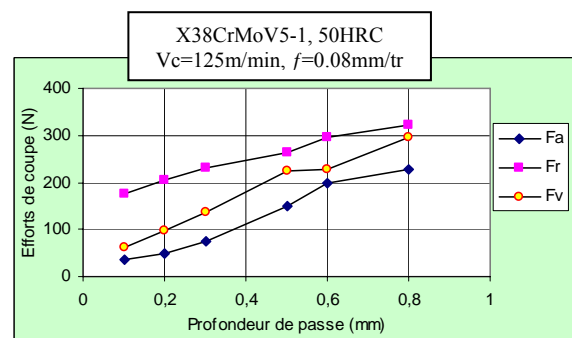


Fig. 6-Evolution des efforts de coupe en fonction de la profondeur de passe

Avec une augmentation de cette dernière, l'épaisseur du copeau devient importante ce qui cause une croissance de volume du métal déformé et cela nécessite d'énormes efforts de coupe pour tailler le copeau. Pour les valeurs prises de profondeur de passe de (0.1 à 0.8) mm, on enregistre une augmentation des composantes de l'effort de coupe (Fr, Fv et Fa) successivement de (84% ; 481% et 528%). D'après ces résultats, c'est l'effort axial qui est le plus sensible à l'augmentation de la profondeur de passe, suivi de l'effort tangentiel et en dernier lieu de l'effort radial. Il est à signaler que parmi les paramètres de coupe ( $f$ ,  $V_c$  et  $a_p$ ), c'est la profondeur de passe qui affecte les efforts de coupe d'une manière considérable.

### 4 Conclusion

Les essais d'usinage pratiqués sur l'acier X38CrMoV5-1; traité à 50HRC; usiné par deux outils en céramique (mixte et composite), nous ont permis d'étudier l'influence du temps d'usinage sur l'usure en dépouille (VB) à deux vitesses de coupe différentes.

Il est à signaler que l'usure en dépouille est très sensible à la variation du temps d'usinage et de la vitesse de coupe. D'après les résultats, la tenue de la céramique mixte est largement supérieure à celle de la céramique composite.

L'évolution des efforts de coupe lors du chariotage de cet acier par la plaquette CC650 en fonction des éléments du régime de coupe a aussi été étudiée. Il ressort que la profondeur de passe affecte les efforts de coupe d'une manière considérable.

Ainsi, les plages de conditions de coupe les mieux adaptées et les durées de vie de ces deux outils, ont été déterminées.

Cette étude confirme qu'en tournage dur à sec de cet acier et pour toutes les conditions de coupe testées, la céramique mixte est plus performante que la céramique composite en terme de résistance à l'usure et l'effort principal est l'effort radial.

### Nomenclature

- $a_p$ : Profondeur de passe (mm).  
 $f$ : Avance par tour (mm/tr).  
 $F_x$  (Fa): Effort de coupe axial (N).  
 $F_y$  (Fr): Effort de coupe radial (N).  
 $F_z$  (Fv): Effort de coupe tangentiel (N).  
HRC: Dureté Rockwell.  
VB: Usure en dépouille (mm).  
Vc: Vitesse de coupe (m/min).  
 $\alpha$ : Angle de dépouille principal (degré).  
 $\gamma$ : Angle d'attaque (degré).  
 $\lambda$ : Angle d'inclinaison d'arête (degré).  
 $\chi$ : Angle de direction principal (degré).

### Références bibliographiques

- [1] Barrau, O., 2004, Etude de frottement et de l'usure d'acier à outils de travail à chaud. Thèse de doctorat, INP de Toulouse.  
[2] Boulanouar, L., Yallese, M. A., Chaoui, K. et Dominiak, S., 2006, Etude comparative sur le comportement à l'usure des outils céramique et CBN lors du tournage dur d'un acier à roulement, JM'EMP05.  
[3] Yallese, M. A., Rigal, J. F., Chaoui, K. et Boulanouar, L., 2005, The effects of cutting conditions on mixed ceramic and cubic boron nitride tool wear and on surface roughness during machining of X200Cr12 steel (60HRC), Journal of Engineering Manufacture, Proceedings of the ImechE part B, Vol. 219, 35-55.  
[4] Fnides, B., Aouici, H., Yallese, M. A., 2008, Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic, Mechanika, Kaunas: Technologija, 2(70), 73-78.  
[5] Bissey, S., 2005, Développement d'un modèle d'efforts de coupe applicable à des familles d'outils: cas du fraisage des aciers traités

thermiquement. Thèse de doctorat, ENSAM de Cluny.

- [6] Lima, J. G., Avila, R. F., Abrao, A. M., Faustino, M., Paulo Davim, J., 2005, Hard turning: AISI 4340 high strength low alloy steel and AISI D2 cold work tool steel, Journal of Materials Processing Technology, 169, 388-395.  
[7] Site internet : [http : //www. buderus-steel.com](http://www.buderus-steel.com)  
[8] Site internet : [http : //www. premium-stahl.de/1.2343ESU](http://www.premium-stahl.de/1.2343ESU)  
[9] Sandvik Coromant, 2007, Catalogue Général : Tournage – Fraisage – Perçage – Alésage – Attachements.  
[10] Fnides, B., Aouici, H., Yallese, M. A., 2008, Rugosité de surface et température en tournage dur de l'acier X38CrMoV5-1 usiné par une céramique mixte ( $Al_2O_3+TiC$ ), 2<sup>ème</sup> Congrès National de Mécanique, Constantine, 07-08 Avril, F37.  
[11] Fnides, B., Yallese, M. A., Aouici, H., 2008, Hard turning of hot work steel AISI H11: Evaluation of cutting pressures, resulting force and temperature, Mechanika, Kaunas: Technologija, 4(72), 59-63.