

Contribution à l'étude de la surveillance de l'usure des outils de coupe en usinage

WAFAA RMILI, ROGER SERRA & ABDELJALIL OUAHABI

LMR EA 2640, Polytech'Tours, 7 avenue M. Dassault, 37200 Tours,
E-mail : rmili@univ-tours.fr roger.serra@univ-tours.fr ouahabi@univ-tours.fr

Résumé :

Notre travail porte sur l'analyse des signaux vibratoires en utilisant des approches temporelles et fréquentielles.

L'objectif de cette analyse est de pouvoir identifier l'influence de l'usure d'un outil coupant sur les vibrations produites lors d'un processus d'usinage, puis de déterminer quels paramètres extraits de ces signaux traduisent l'état de l'usinage. Le choix de ces paramètres est validé par une approche expérimentale fondée sur le contrôle direct de l'état de l'outil de coupe caractérisé par la largeur de l'usure en dépouille.

Abstract :

This work is focused on the vibratory analysis signatures using temporal and frequency approaches. The aim of this analysis is to identify the cutting tool wear influence on the vibratory responses produced during machining and to determine some parameters able to inform us about machining quality. The performance of these parameters is validated using the direct control of cutting tool state by measuring flank wear widths.

Mots-clefs :

Usinage ; suivi de l'usure d'outil ; signaux vibratoires

1 Introduction

La qualité de la pièce produite en usinage dépend principalement de l'état de l'outil de coupe utilisé. Ce dernier est exposé à l'endommagement au cours de l'opération d'usinage à cause des frottements avec la pièce à usiner et les copeaux générés Braun et al (1986). D'où l'intérêt de prédire sa durée de vie au cours de l'usinage avant dégradation du processus d'usinage.

Dans les conditions d'usinage normales, l'usure en dépouille est considérée comme l'usure prépondérante. Le développement de ce type d'usure sur une plaquette de coupe n'est pas un phénomène aléatoire, mais on peut observer trois phases au cours de la vie de l'outil (rodage, usure stabilisée et usure accélérée) Zieba (1995). Si la frange de cette usure est uniforme, il est conseillé d'accepter une largeur d'usure, notée VB, égale à 0.3 mm. Si non, la limite admissible est fixée à 0.6 mm Lim (1995).

Dans ce contexte de surveillance de l'outil de coupe, l'approche proposée dans cet article consiste à traiter la signature vibratoire générée en usinage en utilisant des analyses fréquentielles et temporelles. L'objectif de ces analyses est de pouvoir identifier l'influence d'une usure de l'outil de coupe sur les vibrations produites. Inversement, il s'agit de déterminer quels paramètres extraits des signaux vibratoires traduisent l'état de l'usinage et obtenir, par la suite, un ensemble de paramètres descriptifs fiables et capables d'intégrer un système de surveillance automatique de l'usinage.

Pour ce faire, une acquisition des réponses vibratoires générées lors de l'usinage des pièces découpées de la même barre du matériau à l'aide de trente plaquettes issues du même lot de fabrication. Chacune de ces plaquettes usinera au même diamètre avec la même vitesse de rotation de la broche et donc aussi la même longueur usinée tout au long de son utilisation c'est-à-dire sa durée de vie.

L'analyse de ces réponses acquises a été effectuée :

- D'abord, dans le domaine temporel en calculant la moyenne, la puissance du signal, la variance, le skewness (paramètre caractérisant la symétrie de la distribution du signal) et le kurtosis (paramètre permettant d'évaluer l'aplatissement de la loi de probabilité par rapport à une distribution normale) en fonction des essais c'est-à-dire en fonction du temps de l'usinage.
- Ensuite, dans le domaine fréquentiel à l'aide de la méthode des périodogrammes lissés et moyennés pour étudier le comportement des niveaux vibratoires en fonction de l'usure des outils de coupe.

Notre démarche expérimentale permet de conserver toujours les mêmes conditions de génération des réponses vibratoires et de détecter correctement toute déformation du signal vibratoire étroitement liée au changement de l'état de la plaquette de coupe.

2 Protocole expérimental et acquisition des données

2.1 Conditions expérimentales

Les opérations d'usinage ont été réalisées sur un tour à commande numérique de modèle SOMAB « Unimab 450 » (figure 1) en utilisant un outil de coupe DCLNL 2525M 12 portant une plaquette de carbure de tungstène revêtue CNMG 1204 085B OR2500. La plaquette utilisée ici est une plaquette polyvalente dédiée aussi bien pour l'ébauche que pour la semi-finition. Les essais d'usinage ont été effectués sans lubrification et dans les conditions de coupe suivantes: une avance $V_f=0.18$ mm/Tr, une profondeur de passe $a_p=1.5$ mm et une vitesse de coupe $V_c=340$ m/min. La durée de chaque passe d'usinage étant d'une minute.

Le matériau choisi est un cylindre de fonte grise à graphite lamellaire FGL250 avec une dureté de 322 Hv dont les dimensions sont 22 cm de longueur et 19 cm de diamètre.

Dans notre application, l'évaluation limite de la durée de vie de l'outil de coupe a été fixé à 0.3 mm.



FIG. 1 - Tour et unité d'acquisition.

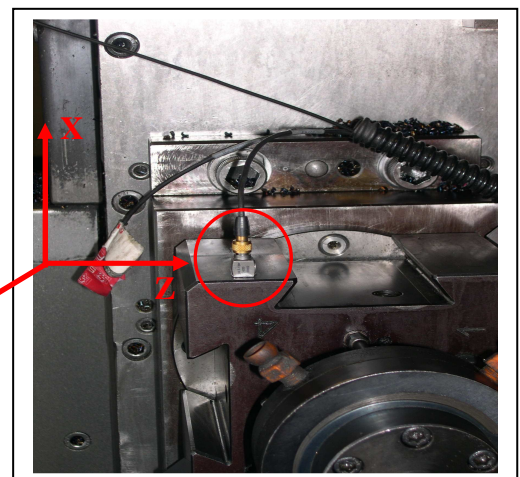


FIG. 2 - Accéléromètre triaxial fixé sur la tourelle.

2.2 Acquisition des réponses vibratoires

Dans cette application, l'acquisition des signaux vibratoires générés en usinage a été effectuée à l'aide d'un système d'acquisition et d'analyse Brüel&Kjær (figure1). Ce système se compose d'un accéléromètre piézoélectrique triaxial de type 4520 et piloté par le logiciel PULSE LAB SHOP. Pour

une bonne acquisition, cet accéléromètre a été fixé sur la tourelle et nous a permis de mesurer les réponses vibratoires selon les trois axes de la machine (X : direction verticale, Y : direction horizontale et Z : direction axiale (axe de la broche)) comme il est illustré dans la figure 2.

Pendant la phase expérimentale, la mesure des réponses vibratoires issues d'accéléromètre a été effectuée sur une bande passante de 6.4 kHz et à une fréquence d'échantillonnage de 16,38 kHz. Ces réponses vibratoires sont enregistrées pendant 70 secondes dont 60 secondes représentent la durée de chaque essai d'usinage et 10 secondes représentent le temps nécessaire pour l'entrée et la sortie de l'outil par rapport à la pièce à usiner.

2.3 Etude complémentaire par mesures non vibratoires

2.3.1 Mesure de la puissance de coupe

Au cours de chaque passe d'usinage, La valeur moyenne de la puissance de coupe, a été relevée en utilisant un Wattmètre installé au niveau du système d'alimentation de la machine. Cette mesure est fiable sur un intervalle d'erreur égal à 20 %.

2.3.2 Contrôle directe des plaquettes de coupe

A intervalles réguliers (après chaque passe d'usinage), l'usinage est arrêté et le développement de l'usure sur la plaquette de coupe est mesuré par un microscope optique de type LEICA MS5 (grossissement 4x la taille réelle) avec une incertitude de mesure égale à 2%. L'usure est quantifiée en termes d'usure en dépouille (usure due aux frottements entre la matière à usiner et la face de coupe de la plaquette utilisée).

3 Résultats et analyse

3.1 Analyse des relevés d'usure et de puissance de coupe

3.1.1 Bilan de dispersion des plaquettes étudiées

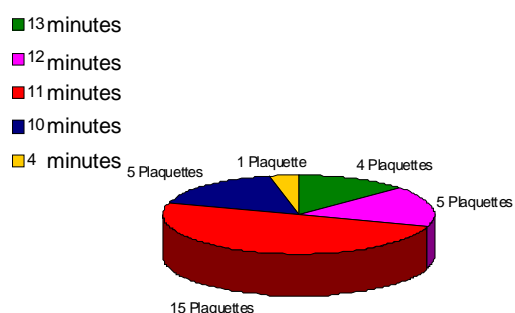


FIG. 3 - Bilan de dispersion de la durée de vie des plaquettes utilisées jusqu'à une largeur d'usure en dépouille supérieure ou égale à 0.3 mm.

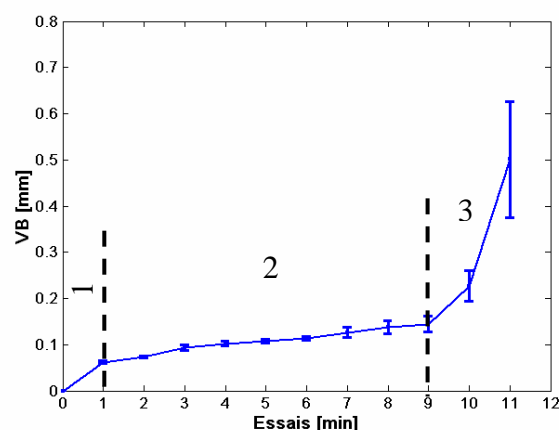


FIG.4 - Evolution moyenne de la largeur de l'usure en dépouille en fonction de passes d'usinage.

Dans ce travail, même si les plaquettes de coupe ont été prises du même lot de fabrication ; elles ont une durée de vie plus au moins différentes c'est-à-dire que sur trente plaquettes utilisées il n'y a que 4 plaquettes qui arrivent jusqu'à 13 minutes d'usinage (figure 3). Cependant 80 % du lot arrivent ou dépassent 11 minutes d'usinage avant d'atteindre sa limite d'utilisation. Par conséquent, nous

avons décidé de classer les plaquettes utilisées en groupes en se basant sur le critère de la durée de vie (10,11, 12 et 13 minutes) et prendre chaque groupe de plaquettes et l'étudier à part

La courbe moyenne des évolutions de la largeur des usures en dépouille (VB) est tracée en fonction de passes d'usinage pour les plaquettes du groupe 11 minutes (Figure 4). Cette figure montre bien les trois phases de la vie des plaquettes : 1) rodage, 2) stabilisation et 3) accélération de l'usure.

3.1.2 Puissance de coupe consommée

La figure ci-dessous illustre la moyenne et l'écart type correspondant aux évolutions de la puissance de coupe consommée lors de l'usinage pour l'ensemble des plaquettes de coupe qui ont duré 11 minutes. Ce paramètre a une allure croissante. Cette allure est due à l'accroissement de l'usure de l'outil de coupe (arête moins tranchante) nécessitant une augmentation des efforts de coupe et par conséquent une augmentation de la puissance de coupe puisque ces deux grandeurs sont proportionnelles. Malgré sa sensibilité à l'usure, la puissance de coupe, n'est pas un paramètre assez précis permettant la détection du point de passage des plaquettes de la phase de stabilisation à la phase d'accélération de l'usure.

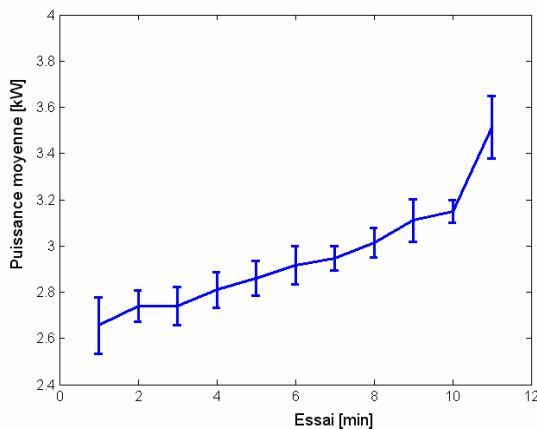


FIG. 5 – Evolution de la puissance de coupe moyenne en fonction de l'essai d'usinage

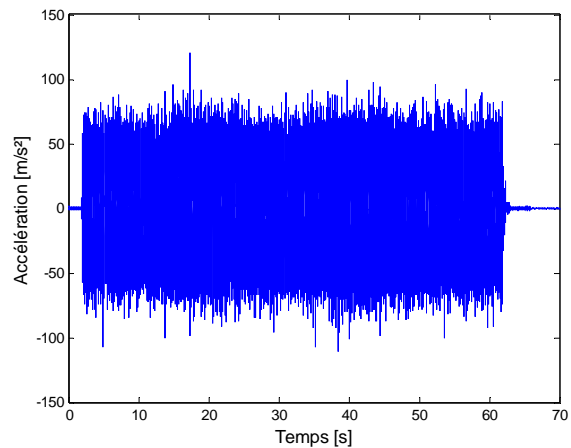


FIG. 6 - : Allure de la réponse vibratoire.

3.2 Analyse des mesures vibratoires

3.2.1 Analyse dans le domaine temporel

Une allure type de la réponse vibratoire acquise selon la direction X de la machine est présentée dans la figure 6. Cette réponse est générée dans le cas d'un usinage avec une plaquette neuve.

L'analyse des réponses vibratoires acquises a été effectuée dans la zone utile des signaux d'usinage (zone comprise entre 4 et 64 secondes sur la figure 6).

L'estimation des paramètres statistiques (moyenne, variance, skewness et kurtosis) a été réalisée par balayage des signaux avec une fenêtre glissante. Les résultats obtenus pour une plaquette du « groupe des 11 minutes » sont illustrés sur la figure 7.

En ce qui concerne l'évolution de la variance, ce paramètre augmente de façon significative à l'essai 9 (540 secondes d'usinage) lorsque la plaquette de coupe se trouve dans la phase d'accélération de l'usure. C'est le début du vieillissement de la plaquette.

Le kurtosis varie en général entre 3 et 4, à l'exception des deux premières passes d'usinage (phase de rodage). D'autre part, le calcul de skewness montre des valeurs non nulles, et présente la même allure que la moyenne du signal. Par conséquent, en dehors de la phase de rodage, la moyenne, le kurtosis et le skewness ne sont pas influencés par le développement de l'usure sur les plaquettes de coupe.

D'après ces résultats, ces paramètres, hormis la variance, ne peuvent pas être retenus comme indicateurs de l'état de l'outil de coupe dans notre étude.

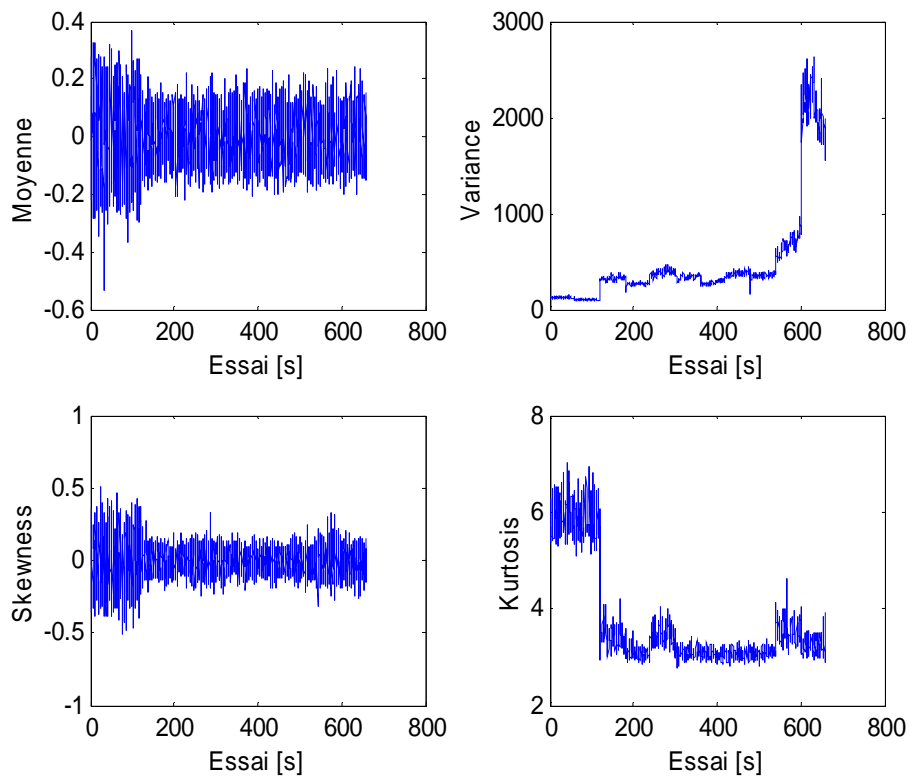


FIG. 7 – Evolution de la moyenne, la variance, le skewness et le kurtosis en fonction des essais

La figure 8 présente la puissance moyenne des signaux vibratoires en fonction des essais pour les 15 plaquettes qui ont duré 11 minutes ainsi que son intervalle de confiance.

Globalement, on retrouve l'allure générale de la courbe de l'usure obtenue expérimentalement par contrôle direct des plaquettes.

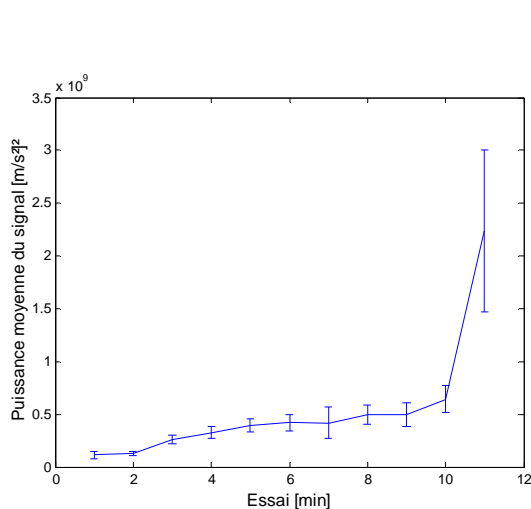


FIG. 8– Evolution de la puissance moyenne des signaux en fonction du temps ou essai

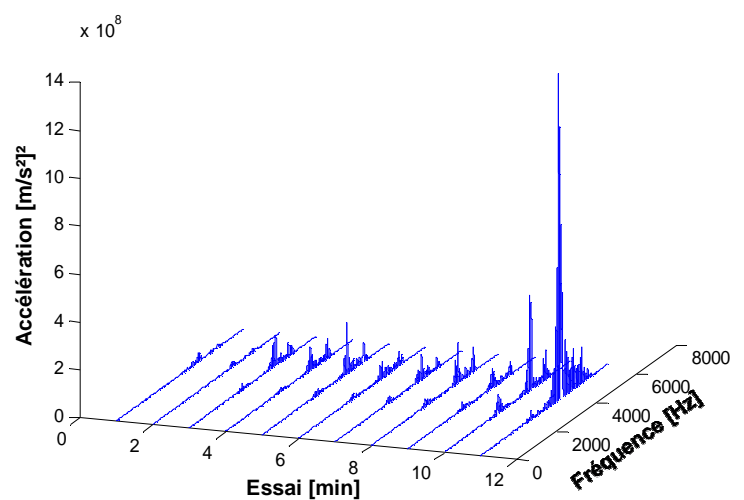


FIG. 9 – Allure type de l'évolution des spectres en fonction de l'accroissement de l'usure

3.2.2 Analyse dans le domaine fréquentiel

Les spectres montrés en figure 9 couvrent toute la vie de l'outil de coupe depuis le premier essai (première utilisation de la plaquette), jusqu'au onzième essai (fin de la durée de vie de la plaquette). D'après cette figure, nous pouvons distinguer une fréquence principale au voisinage de 4000 Hz, cette fréquence représente la fréquence propre de l'ensemble outil - porte outil.

Nous pouvons remarquer également que, pour cette fréquence à 4200 Hz, le niveau de puissance du signal vibratoire relatif à la plaquette usée est très supérieur au niveau de puissance du signal relatif à la plaquette neuve.

Conclusion

Dans cet article, nous nous sommes intéressés à la surveillance de l'usure de l'outil de coupe en tournage. Dans l'optique de réaliser un suivi efficace, trois grandeurs physiques ont été étudiées : le contrôle direct de l'outil de coupe en mesurant la largeur de l'usure en dépouille, la puissance de coupe et les réponses vibratoires relevées en usinage.

Afin d'évaluer l'usure des plaquette de coupe à partir des signaux vibratoires, la stratégie adoptée s'appuie sur une analyse temporelle où des paramètres statistiques (la moyenne, la puissance, la variance, le skewness et le kurtosis) sont étudiés et sur une analyse fréquentielle (périodogrammes lissés et moyennés) à base de Fourier. Cette identification renforcée par la corrélation des trois grandeurs physiques a permis l'extraction d'un nombre pertinents de descripteurs d'usure (notamment, la variance, la puissance du signal et le niveau vibratoire pour une fréquence spécifique).

Références

- Braun, S., Lenz, E. 1986 Machine-tool wear monitoring. Mechanical signature analysis, pp.321-342. Academic Press, UK.
- Lim, G.H. 1995 Tool-wear monitoring in machine turning. *Materials Processing Technology*.**51**, 25-36
- Zieba, S. 1995 Une méthode de suivi évolutif. Application au diagnostic de la qualité d'usinage. *Thèse de doctorat de l'université de technologie de Compiègne*.