

## Simulation numérique d'une opération de dressage du procédé de tournage sur une pièce d'acier dur et l'étude de l'influence des phénomènes induits lors de cette opération

Temmar Mustapha, Benrad Hocine, Melzi Nesrine  
Département de Mécanique, Université de Blida, BP 270, Algérie  
temmar\_m@yahoo.fr

L'usinage par enlèvement de matière permet d'élaborer des pièces mécaniques finies. L'outil de coupe enlève de la surépaisseur pour générer une nouvelle surface. Cette coupe est influencée principalement par les propriétés du matériau de la pièce à usiner, la géométrie de l'outil de coupe, les conditions de coupe, les conditions de lubrification et les paramètres dynamiques (raideur, amortissement) du système usinant.

L'apparition de vibrations pendant le fonctionnement de la machine-outil ne peut être évitée car ces vibrations représentent généralement des déplacements périodiques du système élastique autour de sa position d'équilibre. Celles-ci sont générées par l'interaction entre le système usinant élastique et le processus d'usinage associé au fonctionnement de la machine.

Notre travail consiste à étudier une opération de dressage du procédé de tournage sur une pièce d'acier dur et l'étude de l'influence des phénomènes induits lors de cette opération.

Les résultats obtenus vont nous permettre d'établir des corrélations fortes entre les vibrations auto-entretenues et les paramètres de coupe et de déterminer la rugosité conditionnée par deux paramètres : la géométrie de l'outil de coupe (rayon du bec) et l'avance de l'outil de coupe. Aussi, et grâce à ces paramètres de coupe, il est possible d'étudier l'évolution du système vibrant outil-pièce.

En tournage, les paramètres de coupe sont d'une part d'ordre cinématique, représentant les déplacements de la pièce et de l'outil de coupe, et d'autre part d'ordre géométrique, représentant les valeurs des surépaisseurs d'usinage et des dimensions de coupe. Pour obtenir les meilleures conditions d'usinage, il faut prendre en considération l'interaction entre les éléments du système POM (Pièce/Outil de coupe/Machine-outil).

Plusieurs modèles mathématiques permettant la reproduction fidèle de la structure géométrique des surfaces usinées ont été développés. Le but était de bien comprendre le mécanisme de la génération des surfaces usinées, et les relations de cette dernière avec la variation de la géométrie des pièces mécaniques. En appliquant ces modèles, on déterminera l'état de surface des pièces usinées et leurs variations en fonction des différents paramètres de coupe qu'il soit géométrique ou cinématique.

Parmi ces modèles, on peut citer celui de Gao et Al, et de Cheung et Lee.

Pour notre étude, on a opté pour le deuxième modèle cité, basé sur une description géométrique de la surface usinée. Le profil de la rugosité est estimé sur la base de la topographie de la surface usinée. Les vibrations sont les facteurs dominants pris en considération.

Les données de la rugosité sont déterminées à partir d'une description géométrique qui décompose la surface dressée en un nombre fini de sections radiales  $N_p$  et exprimées par :

$$N_t = 2 \cdot \pi / \Delta \theta$$

Avec :

$\Delta \theta$  : Résolution angulaire adoptée

La modalisation de la topographie de la surface usinée commence par la détermination de la position de l'outil suivant les trois dimensions. Le déplacement relatif en fonction du temps dans la direction de la coupe  $Z_c(t)$  entre l'outil et la pièce peut être exprimé par :

$$Z_c(t) = Z_m(t) + A \sin(2\pi \cdot f_z \cdot t - \phi)$$

Dans des conditions idéales, le profil de la rugosité est formé par la répétition du profil du point générateur de l'outil à des intervalles représentant l'avance par tour de la pièce. Mais il existe toujours des vibrations relatives entre l'outil de coupe et la pièce usinée.

Pour pouvoir reproduire une surface usinée obtenue par une opération de dressage, il est nécessaire de développer un modèle mathématique qui englobe l'influence des paramètres de coupe, la vibration et la géométrie de l'outil de coupe. Ce modèle mathématique proposé va reproduire l'image virtuelle d'une surface dressée. Lors d'une opération de dressage, le mouvement d'avance (mouvement de l'outil de coupe) est une translation rectiligne perpendiculaire à l'axe de rotation, ce qui diminue la longueur de la pièce et génère une surface orthogonale à l'axe.

A partir de la représentation graphique de l'altitude  $Z_i$ , on peut écrire :

$$Z_i = A - Z$$

Après des simplifications, l'altitude  $Z_i$  de chaque point  $M_i$  s'exprime sous la forme :

$$Z_i = r_\varepsilon - \sqrt{r_\varepsilon^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2} - \sqrt{r_\varepsilon^2 - \left(\sqrt{x_i^2 + y_i^2} - \left(\frac{(\mu + 2 \cdot P \cdot \pi) \cdot f}{2 \cdot \pi} + \frac{f}{2}\right)\right)^2}$$

Cette équation donne les valeurs des altitudes des spires qui sont formées par la pointe de l'outil de coupe lors de l'usinage.

L'état de surface est déterminé en calculant l'altitude  $Z_i$  des spires tout en tenant compte des vibrations induites lors de l'usinage. Pour cela, il est nécessaire de développer un modèle de coupe dynamique pour avoir le résultat souhaité.

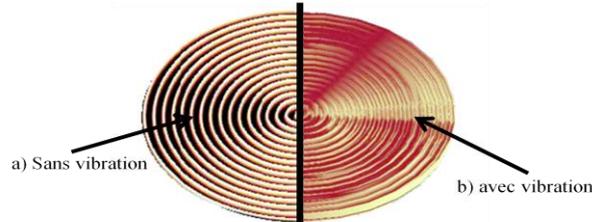
Le modèle utilisé est tridimensionnel et représente la modélisation des vibrations provoquées par interaction de l'outil de coupe et la pièce à usiner dans les trois directions (x, y, z) qui constituent un système à 3 degrés de liberté. Aussi, les conditions d'usinage sont : la vitesse de coupe ( $V_c$ ), l'avance (f), la profondeur de passe (a), et la géométrie de l'outil.

Le système dynamique est modélisé par un système d'équations différentielles, où les oscillations instantanées sont données suivant chaque direction par :

$$\begin{cases} m_x \cdot \ddot{x} + c_x \cdot \dot{x} + k_x \cdot x = F_x(t) \\ M_y \cdot \ddot{y} + c_y \cdot \dot{y} + k_y \cdot y = F_y(t) \\ M_z \cdot \ddot{z} + c_z \cdot \dot{z} + k_z \cdot z = F_z(t) \end{cases}$$

En comparant les deux cas utilisés (avec et sans vibration), l'allure de la forme de spirale diffère. En effet, et pour le deuxième cas, cette forme de l'allure n'est pas homogène et conforme. Cette différence peut être traduite par les mouvements engendrés par l'outil de coupe lors de son battement sur la pièce à usiner et surtout lors de l'interaction entre les éléments du système POM (Pièce/Outil de coupe/Machine-outil).

La figure suivante illustre bien cette différence :



**Figure 1 :** Différence des allures des états de surface  
(a) sans vibration et b) avec vibration)

**Mots clés :** Usinage par enlèvement de matière, surépaisseur, tournage, paramètres de coupe, modèle Cheung et Lee, vibrations, simulation numérique.