

MODELISATION ANALYTIQUE-EF DES CONDITIONS TRIBOLOGIQUES EN USINAGE A SEC DE L'ALLIAGE D'ALUMINIUM AA2024-T351 : EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LE FROTTEMENT APPARENT

Y. Aveyor¹, A. Moufki¹, M. Nouari²

1. Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, LEM3, UMR CNRS-UMR 7239, Université de Lorraine, Ile du Sauley, 57045 Metz, France

2. Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée, LEMTA CNRS-UMR 7563, Mines Nancy, Mines Albi, GIP-INSIC, 27 rue d'Hellieule, 88100 Saint-Dié-des-Vosges, France

MOTS CLES

Usinage à sec, contact collant /glissant, frottement local/global, modélisation multi-échelles, approche Analytique-EF.

En usinage, la qualité de la pièce usinée et l'optimisation du procédé sont conditionnées par le choix des conditions de coupe (vitesse de coupe, vitesse d'avance, géométrie l'outil...). De mauvais choix peuvent générer des effets indésirables tels que des vibrations importantes, des efforts de coupe excessifs, une usure prématurée de l'outil, conduisant à des qualités de surfaces médiocres. Dans l'industrie, l'utilisation des moyens expérimentaux seuls pour opérer ce choix se révèle couteux et difficilement exploitable. Le développement d'outils de simulation basés sur des modèles prédictifs s'avère nécessaire. Ces modèles permettent de maîtriser et de comprendre les phénomènes thermomécaniques aux interfaces outil- copeau et outil- pièce.

Lors du processus thermomécanique de formation du copeau, le matériau usiné subit un cisaillement intense (zone primaire de cisaillement) sous l'action de l'arête de coupe combiné au frottement du copeau le long de la face de coupe de l'outil, [1,5]. La compréhension des phénomènes thermiques et la détermination des champs de températures dans les zones affectées par l'usinage sont étroitement liées à celles des conditions tribologiques. Dans la littérature, plusieurs modèles analytiques de coupe orthogonale proposent différentes approches pour prendre en compte les conditions tribologiques à l'interface outil-copeau. Dans Oxley [6], le contact est supposé collant et ceci indépendamment des conditions de coupe et du couple outil-matière. Moufki et al [7] ont proposé une loi de frottement où le coefficient de frottement apparent $\bar{\mu}$ évolue en fonction de la température moyenne de la face de coupe de l'outil. Cette loi a permis de reproduire plusieurs tendances expérimentales comme la baisse de $\bar{\mu}$ quand la vitesse de coupe augmente.

L'interaction entre l'outil et le matériau usiné dépend fortement du comportement thermomécanique à l'interface outil-copeau qui varie d'une manière complexe avec les conditions de coupe, le couple outil-matière et le procédé d'usinage. La simulation des procédés d'usinage nécessite donc l'identification et la modélisation des conditions de frottement aux interfaces outil-copeau et outil-pièce. Ces conditions de frottement représentent des verrous scientifiques de première importance dont l'intérêt apparaît clairement dans les problématiques liées à l'intégrité des surfaces usinées et à l'usure des outils de coupe. A l'interface outil-copeau, le contact présente un caractère mixte, collant-glissant, qui dépend d'une manière complexe des conditions d'usinage.

Dans ce travail, on propose une modélisation multi-échelle basée sur une approche hybride "Analytique-Eléments Finis". La partie analytique du modèle concerne l'échelle locale: (i) l'écoulement thermomécanique de la matière dans la zone primaire de cisaillement (ZPC,) (ii) la longueur totale du contact outil-copeau, (iii) le ratio entre la zone collante et la zone glissante, (iv) la pression le long de la face de coupe de l'outil et (v) la relation entre le frottement local μ dans la zone glissante et le frottement apparent $\bar{\mu}$. Ensuite, le problème thermique non linéaire dans le système

copeau-outil-pièce (échelle globale) est résolu numériquement par EF à partir d'une formulation du type Petrov-Galerkin avec un schéma implicite en temps.

La ZPC est assimilée à une bande d'épaisseur uniforme. Cette hypothèse est bien adaptée aux grandes vitesses de coupe. Afin de modéliser l'écoulement thermomécanique de la matière dans la ZPC, on propose une nouvelle approche basée sur le couplage entre une formulation unidimensionnelle par 'tranche' (échelle locale) et le problème thermique EF (échelle globale). Le matériau usiné est considéré comme isotrope et rigide (la déformation élastique est négligée) et son comportement thermoviscoplastique est donné par la loi de Johnson–Cook.

Le modèle permet de déterminer, en fonction des conditions de coupe, les efforts de coupe, l'étendue de la zone collante à l'interface outil-copeau ainsi que les distributions de la température, de la pression et de la contrainte de cisaillement le long de la face coupe de l'outil. Il permet également de calculer les flux de chaleurs dans la pièce et dans l'outil en déterminant le partage de la source de chaleur due au frottement dans la zone glissante du contact outil-copeau. La comparaison entre le modèle et les essais de coupe orthogonale à sec de l'alliage d'aluminium AA2024-T351 montre une bonne adéquation entre les prédictions du modèle et les données expérimentales (efforts de coupe et longueur de contact).

Références

- [1] E. Merchant. (1945) « Mechanics of the metal cutting process. II. Plasticity conditions in orthogonal cutting », *J. Appl Phys*, **16**, pp. 318-324.
- [2] N.N. Zorev, H.S.H. Massey. (1966) « Metal Cutting Mechanics », Pergamon Press.
- [3] E. Doyle, J.G. Horne, and D. Tabor, (1979). « Frictional interaction between chip and rake face in continuous chip formation », *Proc. R. Soc. London*, **A 336**, pp. 173–187.
- [4] P. K. Wright, (1981). « Frictional interactions between transparent sapphire and steel cutting tools », *Met. Technol*, pp. 150–160.
- [5] E. M. Trent. (1988) « Metal cutting and tribology of seizure », *wear*, **128**, pp. 29–45
- [6] P.L.B. Oxley. (1989) « Mechanics of Machining », Ellis Horwood, Chichester, UK.
- [7] A. Moufki, A. Molinari, D. Dudzinski. (1998) « Modelling of orthogonal cutting with temperature dependent friction law », *Journal of Mechanical Physics of Solids*, **46** (10), pp. 2103-2138.