

Abstract

In the cutting tool domain, diamond-impregnated tools (DIT: core drills, wire saws, circular and frame saw blades) are widely used to process and size brittle materials. DITs are composed of abrasive diamond crystals embedded in a metallic matrix by sintering. During the cutting operations, the matrix retains the diamonds, which, due to their hardness, can indent the workpiece. Debris from the cut material will inevitably be formed, defining, together with water used to carry them out, a slurry. This debris flow is highly abrasive for the metal matrix and can wear it. Although this wear process is necessary to renew diamonds, it must be controlled in terms of wear rate to attain an optimum balance between service life and free-cutting ability. While several attempts have been made to analyze the wear of the diamonds, the wear process involving the matrix is not yet well understood. Consequently, the principal aim here is to build a multiscale numerical strategy to predict and describe the abrasive wear accounting for the complex tribological interactions involving matrix, diamonds, and debris flow. This strategy is based on two main models: (1) the macroscopic model, built at the scale of the diamond and solved by Finite Elements Method (FEM); the mesoscopic model (2), built at the scale of the debris grains and solved using a discrete element-meshfree open source code MELODY2D to study the wear locally, accounting for the discrete nature of the debris grains and the polycrystalline deformable microstructure of the metal matrix. In the context of the industrial demand, the macroscopic model (1) gives encouraging results in terms of wear rate and can be used as a predictive model in the metal matrix selection. The mesoscopic model (2) is a descriptive model giving access to important phenomena controlling wear that are not accessible at the scale of the diamond and need to be investigated at a smaller one. Finally, the strategy proposed here can be used to predict (1) and describe (2) wear not only in the context of DIT but can also be adapted to other similar tribological situations consisting of the wear of a surface caused by a flow of abrasive particles.

Résumé

Dans le domaine des outils de découpe, les outils diamantés (DIT: outils de carottage, scies à ruban et circulaires) sont largement utilisés pour traiter et dimensionner les matériaux fragiles. Les DIT sont composés de diamants abrasifs noyés dans une matrice métallique par frittage. Lors des opérations de découpe, la matrice retient les diamants qui, grâce à leur dureté, peuvent indenter la pièce. Des débris du matériau découpé se formeront inévitablement, définissant, avec l'eau utilisée pour les éjecter, une suspension dense. Ce flux de débris est très abrasif pour la matrice et peut l'user. Bien que ce processus d'usure soit nécessaire pour renouveler les diamants, il doit être contrôlé en termes de taux d'usure pour atteindre un équilibre optimal entre la durée de vie et la capacité de découpe. Si plusieurs tentatives ont été faites pour analyser l'usure des diamants, le processus d'usure impliquant la matrice n'est pas encore bien compris. Par conséquent, l'objectif principal ici est de construire une stratégie numérique multi-échelles pour prédire et décrire l'usure abrasive en tenant compte des interactions tribologiques complexes impliquant la matrice, les diamants et le flux de débris. Cette stratégie repose sur deux modèles principaux: (1) le modèle macroscopique, construit à l'échelle du diamant et résolu par la méthode des éléments finis (FEM); le modèle mésoscopique (2), construit à l'échelle des débris et résolu avec le code open-source MELODY2D (éléments discretes-meshfree) et qui permet d'étudier l'usure localement, en tenant compte du caractère discret des grains de débris et de la microstructure déformable polycristalline de la matrice métallique. Dans le contexte de la demande industrielle, le modèle macroscopique (1) donne des résultats encourageants en termes de taux d'usure et peut être utilisé comme modèle prédictif dans la sélection de la matrice métallique optimal. Le modèle mésoscopique (2) est un modèle descriptif donnant accès à des phénomènes importants de contrôle d'usure qui ne sont pas accessibles à l'échelle du diamant et doivent être étudiés à un plus petit. Enfin, la stratégie proposée ici peut être utilisée pour prédire (1) et décrire (2) l'usure non seulement dans le cadre des DIT mais peut aussi être adapté à d'autres situations tribologiques similaires consistant en l'usure d'une surface provoquée par un écoulement abrasif.