

EFFETS DE L'USINAGE SUR LA SURFACE ET LA SOUS-COUCHE D'UN MÉTAL PUR

S. BISSEY-BRETON*, J. GRAVIER**, V. VIGNAL**, R. BESNARD*, J. FARRÉ*

*CEA – VALDUC, **INSTITUT CARNOT BOURGOGNE (ICB),
UMR 5209 CNRS-UNIVERSITE DE BOURGOGNE, DIJON.

Les mécanismes complexes mis en jeu lors d'un usinage affectent l'état mécanique, microstructural et topographique des métaux. De nombreux développements technologiques et scientifiques permettent de minimiser l'amplitude des défauts de type géométrique. Toutefois, ces modifications ont également une influence sur la réactivité des surfaces usinées. Le projet présenté, relatif au tournage de super finition du cuivre, permet de caractériser l'influence de paramètres d'usinage sur le matériau, de dégager des réponses significatives telles que des mesures de rugosité, de contraintes ou de réactivité de la surface, mais également d'extraire trois domaines dans la zone affectée, correspondant à des phénoménologies différentes. Une telle analyse permettra d'approfondir la connaissance du procédé d'usinage et d'améliorer l'intégrité des pièces usinées.



La précision et la qualité de surface obtenues par usinage sont liées à une interaction complexe entre le matériau et l'outil coupant, qui génère des dégagements de chaleur et de fortes déformations [1]. L'usinage entraîne également des contraintes résiduelles au cœur du matériau et modifie significativement la microstructure et l'orientation cristallographique en proche surface [2], [3]. Le but de cette étude est de quantifier les relations entre les conditions de coupe et les propriétés d'usage des surfaces usinées. Des essais expérimentaux d'usinage du cuivre (*matériau d'étude*) ont permis de caractériser puis de modéliser l'état du matériau sur trois échelles.

Étude en volume (échelle macroscopique)

Les champs de contraintes déterminés par diffraction des rayons X montrent que les effets thermo-mécaniques de la coupe altèrent l'état de contraintes de la pièce : traction en extrême surface, puis compression en allant vers le cœur du matériau. À cette échelle macroscopique, une modélisation des champs de température, contraintes et déformations, a été développée. Ce modèle s'appuie sur les expressions analytiques des déplacements de la matière à proximité de l'outil données par Jacobus *et al.* [4]. Cette modélisation de type "éléments finis" permet de prédire les champs de contraintes résiduelles et de température dans la pièce.

Étude en proche surface (échelle microscopique)

Cette échelle d'étude permet d'évaluer les modifications métallurgiques et microstructurales. Les observations par microscopie optique (*figure 1*) et par microscopies électroniques à balayage ou à transmission permettent de constater une réduction de la taille des grains en se rapprochant de la surface, en liaison avec les mesures par profilométrie optique (*figure 2*). Par ailleurs, l'augmentation de la densité de dislocations (*représentative de la plastification du matériau*) vers la surface usinée a été quantifiée par nanoindentation. Le modèle établi à l'échelle macroscopique permet aussi de prédire cette évolution de la densité de dislocations, grâce à une approche physique de la plastification du cuivre.

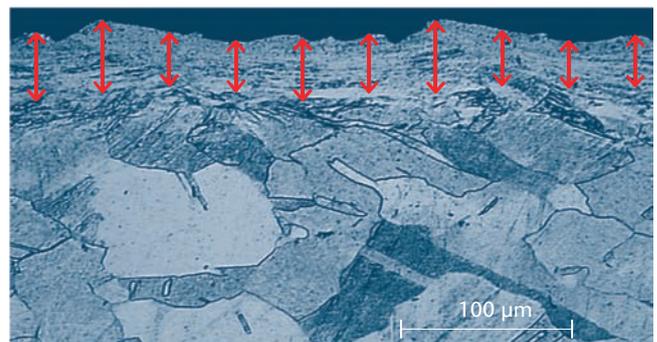


Figure 1
Microstructure de la sous-couche par observation optique.

La confrontation de ces résultats avec le champ de température permet de déterminer si une recristallisation dynamique [5] a eu lieu ou non au cours de l'usinage. Dans ce cas, le modèle indique la profondeur du matériau affectée par le procédé.

Étude en extrême surface (échelle nanométrique)

Il a été montré aux échelles précédentes que l'usinage affecte très sensiblement les propriétés de surface (*contraintes, rugosité, texture cristallographique...*) des matériaux métalliques. Ceci indique que les pièces usinées peuvent réagir différemment lorsqu'elles sont exposées à un environnement agressif. Afin d'étudier cette sensibilité, le comportement électrochimique des surfaces usinées a été étudié à l'aide d'une micro-cellule dans une solution saline. Les analyses ont montré le rôle prépondérant des contraintes de surface qui accélèrent la dissolution anodique des surfaces. D'autre part, il a été aussi remarqué qu'en absence de texture cristallographique de cisaillement, le risque d'amorcer une corrosion par piqûres augmente avec des contraintes élevées [6].

Conclusion

Cette étude nous a permis d'avoir accès à une modélisation thermo-métallurgique de l'impact des conditions d'usinage sur les pièces usinées. Le lien a été établi entre la mécanique et la métallurgie en considérant les effets dynamiques de l'usinage. En parallèle, l'impact des propriétés des surfaces réelles sur leur réactivité a été quantifié. Les développements ultérieurs viseront à établir le lien direct entre les conditions de coupe et les déformations de surface, sans passer par les déplacements de matière induits par la coupe.

Références

- [1] P.L.B. OXLEY, "The mechanics of machining: an analytical approach to assessing machinability", Ellis Horwood Limited, Chichester (1989).
- [2] E. BRINKSMIEIER, J. J. CAMMETT, P. LESKOVAR, J. PETERS, H. K. TONSHOFF, "Residual stresses-measurements and causes in machining processes", *Ann. CIRP*, **31**, p. 491-510 (1982).
- [3] M. JACOBSON, "Surface integrity of hard-turned M50 steel", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, **216**, p. 47-54 (2002).
- [4] K. JACOBUS, R. E. DE VOR, S. G. KAPOOR, "Machining Induced Residual Stresses: Experimentation and Modelling", *Transaction of ASME*, **122**, p. 20-30 (2000).
- [5] R. D. DOHERTY, D. A. HUGHES, F. J. HUMPHREYS, J. J. JONAS, D. J. JENSEN, M. E. KASSNER, W. E. KING, T. R. McNELLEY, H. J. McQUEEN, A. D. ROLLETT, "Current issues in recrystallization: a review", *Materials Science and Engineering, A* **238**, p. 219-274 (1997).
- [6] J. GRAVIER, V. VIGNAL, S. BISSEY-BRETON, J. FARRÉ, "The use of linear regression methods and Pearson's correlation matrix to identify mechanical-physical-chemical parameters controlling the micro-electrochemical behaviour of machined copper", *Corrosion Science*, **50**, p. 2885-2894 (2008).

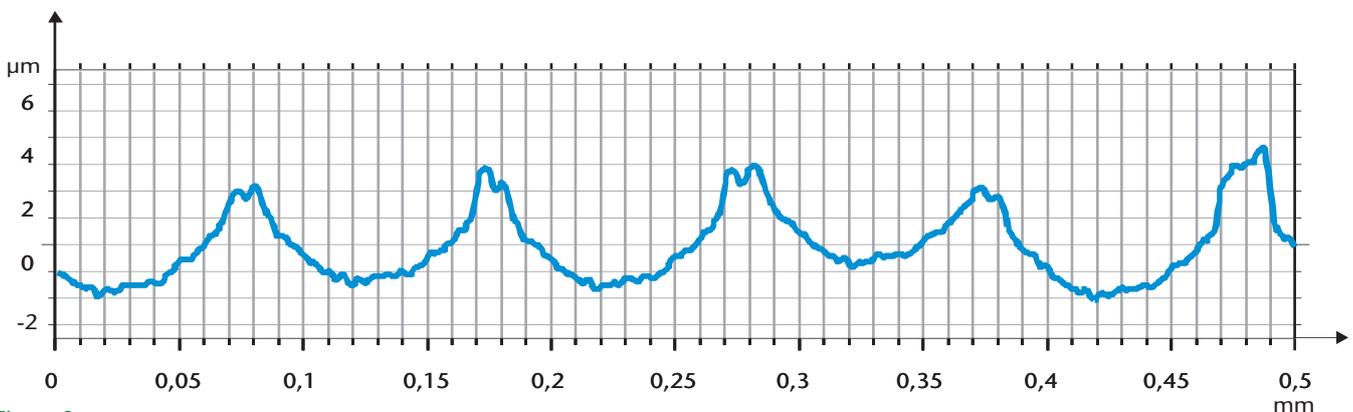


Figure 2
Rugosité d'une surface usinée obtenue par profilométrie optique.