

# Lissage de la surface de contact par une interpolation quasi C1

M. Hachani<sup>1</sup>, L. Fourment<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Mines ParisTech, CEMEF - Centre for Material Forming, CNRS UMR 7635,  
BP 207, 06904 Sophia Antipolis Cedex, France

La simulation numérique des procédés de mise en forme ayant une faible portion de matière en contact, tels que le laminage circulaire, le laminage droit, l'étirage, le tréfilage, etc., n'est pas toujours parfaitement satisfaisante avec le logiciel FORGE®. Bien que les calculs sont trop longs (temps de simulation est de l'ordre des semaines sur des machines parallèles), il arrive que les calculs ne soient pas suffisamment précis dans la zone de contact où est imposé l'essentiel de la déformation. Ce manque de précision conduit à des erreurs importantes sur l'écoulement de matière et sur les variables thermomécaniques du procédé. Notre travail consiste alors à améliorer la modélisation du contact en vue d'obtenir de meilleurs résultats de simulation tout en ne pas augmentant les temps de calculs qui sont déjà rédhibitoires. En d'autres termes cela revient à ne pas à diminuer les pas de temps des calculs ni à augmenter le nombre de nœud du maillage.

L'approche qu'on propose repose sur une amélioration de la description de la surface de contact généralement décrite par des éléments plans  $C^0$  en utilisant un lissage des outils.

Pour rétablir la continuité de la courbure des géométries quelconques plus ou moins complexes utilisées pour la simulation de tout procédés, on utilise la méthode de Nagata [1]. C'est une méthode d'approximation quadratique locale facette par facette de la surface courbe générale en utilisant seulement les positions des nœuds de la face et les normales aux nœuds. Le principe de cette méthode consiste à approcher la surface réelle par une surface discrétisée en éléments courbe  $C^1$  au lieu des éléments plan  $C^0$ . On passe donc des éléments  $P1$  aux éléments  $P2$  et cela en déterminant pour chaque élément  $C^0$  la position des nœuds de mi-arête. Une facette d'une surface triangulée comprend trois arêtes. On estime tout d'abord la courbe pour chaque arête à l'aide d'une interpolation hiérarchique d'ordre 2. Ensuite, on déduit des trois courbes frontières la surface courbe pour l'ensemble de la facette.

Pour assurer la continuité de la nouvelle surface interpolée, le traitement des points de singularité est pris en compte en considérant les normales discontinues en chaque nœud de l'arête. Ces discontinuités géométriques peuvent être des coins (3 normales par nœud) ou des arêtes (deux normales par nœud).

Le caractère complètement local de cette méthode rend une éventuelle parallélisation aisée. En outre, cette méthode garantit la continuité  $C^1$  des normales sur l'ensemble du domaine. Elle est également robuste et efficace du fait du faible degré d'interpolation. Cette approche a été appliquée pour la modélisation des outils utilisés dans la simulation éléments finis des procédés de mise en forme des tôles et elle a donné des bons résultats [2].

L'information essentielle pour pouvoir réaliser l'interpolation de la surface discrétisée en utilisant la méthode de Nagata est la normale aux nœuds du maillage. Il est important alors d'avoir une bonne précision de ce calcul pour assurer une meilleure description de la surface interpolée. On choisit de calculer une normale votée en chaque nœud à partir du patch entourant le nœud de maillage considéré [3]. L'idée se résume au fait que les voisins de chaque nœud influent l'orientation de ce nœud. On construit, par la suite, un tenseur appelé « Voting Tensor » [4] qui est la matrice de covariance où on collecte toutes les contributions des triangles du patch [3]. Cette matrice est par la suite diagonalisée et les vecteurs propres sont les normales au nœud considéré. Enfin, moyennant un critère sur les valeurs

propres et les vecteurs propres, on choisit les normales en chaque nœud. Utilisée dans diverses applications telles que l'imagerie [5] et la régulation du maillage [6], il a été montré dans la littérature que cette méthode permet une bonne précision dans le calcul des directions principales d'une surface discrétisée.

Enfin, cette méthode a été intégrée dans l'algorithme de contact. On ne projette plus alors sur la surface discrétisée des outils (approchée par des éléments plans) mais plutôt sur la nouvelle surface courbe obtenue après lissage.

Afin de valider la technique présentée ci-dessus, elle a été appliquée premièrement au lissage des géométries analytiques (sphère et cylindre). Une nette amélioration de la description de la forme est obtenue avec cette nouvelle méthode de lissage montrant ainsi l'efficacité de cette approche. Les résultats de simulation de plusieurs procédés de laminage produits plats, laminage produits longs, tréfilage... ont montré que le lissage du contact permet une meilleure précision dans la gestion de contact ce qui permet de réduire les oscillations numérique des forces, d'améliorer la précision des résultats de simulation et d'améliorer la convergence de l'algorithme de Newton Raphson dû à la continuité de la normale surtout pour un schéma implicite. En d'autre part, cette méthode s'avère non coûteuse. On a généralement une augmentation du temps CPU qui ne dépasse pas les 5%.

**Mots clefs** — contact, lissage de surface, normales nodales, forgeage, laminage

## Références

- [1] T. Nagata *Simple local interpolation of surfaces using normal vectors* Computer Aided Geometric Design, vol. 22, pp. 327–347, 2005
- [2] T. Hama, T. Nagata, C. Teodosiu, A. Makinouchi, H. Takuda *Finite-element simulation of springback in sheet metal forming using local interpolation for tool surfaces* International Journal of Mechanical Sciences, vol. 50, pp. 175–192, 2008
- [3] D. L. Page, Y. Sun, A. F. Koschan, J. Paik, and M. A. Abidi. *Normal Vector Voting: Crease Detection and Curvature Estimation on Large, Noisy Meshes*. Graphical Models 2002.
- [4] G. Medioni, M. Lee, and C. K. Tang *A Computational Framework for Segmentation and Grouping* Elsevier, Amsterdam, 2000.
- [5] H.S. Kim, H. K. Choi, K. H. Lee, *Feature detection of triangular meshes based on tensor voting theory*, Computer-Aided Design 41 (2009) 47\_58.
- [6] Takafumi Shimizu, Hiroaki Date, Satoshi Kanai, Takeshi Kishinami *A New Bilateral Mesh Smoothing Method by Recognizing Features*, Ninth International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics (CAD/CG 2005).