



**HAL**  
open science

## Optimisation de la fabrication de moule : Une approche globale des procédés de fraisage et de polissage

Laureen Grandguillaume, Yann Quinsat, Sylvain Lavernhe, Christophe Tournier

### ► To cite this version:

Laureen Grandguillaume, Yann Quinsat, Sylvain Lavernhe, Christophe Tournier. Optimisation de la fabrication de moule : Une approche globale des procédés de fraisage et de polissage. 14eme colloque national AIP Primeca, Mar 2015, La Plagne, France. hal-01122502v2

**HAL Id: hal-01122502**

**<https://hal.science/hal-01122502v2>**

Submitted on 3 Apr 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Optimisation de la fabrication de moule :

## Une approche globale des procédés de fraisage et de polissage

Laureen Grandguillaume  
LURPA, ENS Cachan, Univ Paris-Sud  
F-94235 CACHAN, France  
[laureen.grandguillaume@ens-cachan.fr](mailto:laureen.grandguillaume@ens-cachan.fr)

Yann Quinsat  
LURPA, ENS Cachan, Univ Paris-Sud  
F-94235 CACHAN, France  
[yann.quinsat@ens-cachan.fr](mailto:yann.quinsat@ens-cachan.fr)

Sylvain Lavernhe  
LURPA, ENS Cachan, Univ Paris-Sud  
F-94235 CACHAN, France  
[sylvain.lavernhe@ens-cachan.fr](mailto:sylvain.lavernhe@ens-cachan.fr)

Christophe Tournier  
LURPA, ENS Cachan, Univ Paris-Sud  
F-94235 CACHAN, France  
[christophe.tournier@ens-cachan.fr](mailto:christophe.tournier@ens-cachan.fr)

**Résumé**— Dans le contexte de production de moules et de matrices, la fréquente évolution de formes et l'augmentation de la compétitivité exigent une optimisation de l'ensemble du processus de fabrication. Concernant la fabrication des moules, le procédé est principalement composé d'une opération d'usinage suivi d'une opération de polissage nécessaire pour atteindre la rugosité de surface souhaitée. Cette étude propose une méthode permettant d'améliorer la séquence complète de fraisage de finition et de polissage en prenant en compte les contraintes liées à chacun des deux procédés. L'évolution de la topographie de surface après fraisage permet de trouver le point de fonctionnement pour passer du fraisage au polissage. Grâce à un modèle prédictif de la rugosité, une gamme de polissage et le temps associé peuvent être définis. Ainsi, en jouant sur cet ensemble de paramètres, une réduction du temps total de fabrication peut être réalisée. Afin de valider ces modèles, des essais sont menés sur un moule en aluminium destiné au soufflage de bouteilles en plastique.

**Mots-clés**—Moule, fraisage, polissage, modèle prédictif

### I. INTRODUCTION

La conception et la production de moules jouent un rôle majeur dans le coût et la qualité du produit final. L'augmentation de la compétitivité et les fréquents changements de forme des moules, nécessite d'estimer précisément le coût de production et d'améliorer le processus global de fabrication.

La fabrication d'un moule se décompose généralement en deux étapes : l'usinage et le polissage. A partir d'une pièce brute, le procédé d'usinage permet d'obtenir une forme proche du modèle CAO. Néanmoins, la qualité de la topographie de surface obtenue après fraisage n'est pas suffisante en particulier pour les critères de rugosité. Par exemple, les moules utilisés pour le soufflage de bouteilles en plastique doivent avoir une surface « poli-miroir » afin de garantir la transparence de la bouteille. Par conséquent, un processus d'abrasion est utilisé pour polir la surface issue d'usinage et atteindre cet aspect « poli-miroir ».

Dans la littérature, de nombreuses études améliorent chacun des deux procédés indépendamment.

Concernant le fraisage, plusieurs modèles sont développés pour améliorer la qualité de la surface obtenue. L'objectif est

d'obtenir la meilleure qualité de surface en terme de critères d'états de surfaces pour une erreur de corde donnée [1]. D'un point de vue de la stratégie d'usinage, différentes trajectoires d'usinage ont été développées, comme la stratégie isocrête, dans le but de contenir les écarts géométriques au nominal en dessous d'une tolérance donnée tout en minimisant la distance parcourue [2]. Des études sont également menées pour diminuer le temps d'usinage. L'estimation de la vitesse d'avance pour l'usinage de formes complexes est souvent améliorée grâce à la prise en compte des caractéristiques cinématiques de la machine [3]. Grâce à l'optimisation de la trajectoire et à son exécution par une interpolation en temps réel, la qualité de surface obtenue peut être améliorée.

Concernant le polissage, la modélisation de l'abrasion pour les surfaces de formes complexes reste un obstacle scientifique et technique pour obtenir une optimisation et une automatisation du procédé [4]. La quantification de l'abrasion est principalement donnée par le taux d'enlèvement de matière (TEM) qui correspond à la hauteur de matière enlevée par unité de temps. Pour modéliser le TEM, deux approches différentes existent : les modèles analytiques et les modèles expérimentaux. Les modèles analytiques sont basés sur la modélisation de l'interaction entre l'outil et la pièce au niveau des particules abrasives [5]. Dans le contexte de pièces mécaniques comme les moules destinés au soufflage, les modèles utilisés sont plutôt expérimentaux, issus de l'analyse de nombreux essais. Dans ces modèles, le TEM dépend de la vitesse et de la pression entre l'outil de polissage et la pièce à polir et parfois de constantes à déterminer [6]. La plupart de ces modèles ne prennent pas en compte les caractéristiques géométriques de la surface à polir.

Cependant, pour optimiser le procédé global de fabrication d'un moule, le fraisage et le polissage ne peuvent pas être améliorés indépendamment. Ils sont étroitement liés par le motif obtenu après fraisage sur la surface, la gamme de polissage dépendant fortement de cette topographie de surface. Peu de travaux portent sur la caractérisation de ce lien entre fraisage et polissage. Souza et al. estiment la rugosité en fonction des différentes trajectoires d'usinage et déterminent le temps de polissage associé à cette rugosité [7]. Boujelbene montre l'impact des tolérances d'usinage et du mode d'interpolation en fraisage sur le temps de polissage [8]. Bien que ces études fournissent des modèles prédictifs de temps de

polissage en interaction avec l'opération de fraisage, la variation de paramètres de fraisage qui génèrent la topographie de surface de finition n'a pas été étudiée. Il est ainsi nécessaire d'étudier plus en détail la relation entre la stratégie d'usinage et la gamme de polissage afin d'optimiser le procédé global de fabrication.

L'objectif de ce papier est donc de proposer une méthode permettant de prédire le temps global du procédé (fraisage + polissage) en prenant en compte des conditions actuellement utilisées industriellement en fraisage et en polissage. Il est possible de trouver un point de fonctionnement optimal entre le fraisage et le polissage. Contrairement aux deux études présentées précédemment [7] [8], la stratégie définissant la trajectoire et les tolérances d'usinage ne varient pas. Pour un mode de parcours par plan parallèles et une hauteur de crête bornée, seule l'influence du pas longitudinal et du pas transversal de la trajectoire est étudiée pour établir leur interaction avec le temps de polissage.

Ce papier se présente de la façon suivante ; la partie 2 traite des relations entre la topographie de surface obtenue en fraisage de finition et le temps réel de fraisage. Ensuite dans une troisième partie, cette topographie de surface est reliée au temps de polissage en fonction des différents disques abrasifs utilisés. Puis, une méthode, destinée à minimiser le temps global de fabrication, est détaillée dans la partie 4. La dernière partie est consacrée à la validation expérimentale sur un cas d'étude de moules destinés au soufflage de bouteilles en plastiques.

## II. CONCLUSION

L'augmentation de la compétitivité dans la production de moules et de matrices exige une optimisation du processus global de fabrication incluant le fraisage et le polissage. Par conséquent, l'objectif de cet article est d'optimiser ces deux procédés simultanément par la définition d'un point de fonctionnement entre les deux. Des indicateurs sur le temps de fraisage et le temps de polissage ont été proposés. Comme les temps de fraisage et de polissage dépendent des mêmes paramètres, il est possible d'estimer leur influence relative. Grâce à des mesures expérimentales, un modèle pour estimer le temps de polissage a été mis en place pour différents papiers abrasifs. En faisant varier ces paramètres, il a été possible d'estimer les différents temps associés et les temps globaux de fabrication. Cette méthode peut permettre à une entreprise de choisir les paramètres les plus appropriés en fonction des dispositions du matériel. Cette méthode a été mise en place sur un moule de soufflage de bouteilles en plastiques, et les estimations de temps sont proches de la réalité, en particulier dans les endroits où il n'y a pas trop de cannelures. La méthode pour estimer le temps de polissage pourrait être améliorée en prenant en compte les cannelures et l'usure des disques abrasifs.

## III. REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été menés au sein du groupe de travail « Manufacturing 21 », regroupant 18 laboratoires de recherche français où les thèmes abordés sont la



modélisation des interactions outil matière, le comportement mécanique des structures articulées, l'usine numérique et les procédés innovants et durables.

## IV. REFERENCES

- [1] A. Flutter and J. Todd. A machining strategy for toolmaking. *Computer-Aided Design*, 33(13):1009–1022, November 2001.
- [2] C. Tournier and E. Duc. A Surface Based Approach for Constant Scallop Height Tool-Path Generation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(5):318–324, 2002.
- [3] X. Beudaert, S. Lavernhe, and C. Tournier. Feedrate interpolation with axis jerk constraints on 5-axis NURBS and G1 tool path. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 57(0):73–82, 06 2012.
- [4] X. Pessoles and C. Tournier. Automatic polishing process of plastic injection molds on a 5-axis milling center. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(7):3665–3673, April 2009.
- [5] S. Oh and J. Seok. An integrated material removal model for silicon dioxide layers in chemical mechanical polishing processes. *Wear*, 266(7-8):839–849, March 2009.
- [6] F. Klocke and R. Zunke. Removal mechanisms in polishing of silicon based advanced ceramics. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(1):491–494, 2009.
- [7] A. Fagali de Souza, A. Machado, S. Fischer Beckert, and A. Eduardo Diniz. Evaluating the Roughness According to the Tool Path Strategy When Milling Free Form Surfaces for Mold Application. *Procedia CIRP*, 14(0):188–193, 2014.
- [8] M. Boujelbene, A. Moisan, N. Tounsi, and B. Brenier. Productivity enhancement in dies and molds manufacturing by the use of C1 continuous tool path. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(1):101–107, January 2004.
- [9] D.A. Axinte and R.C. Dewes. Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling-experimental data and empirical models. *Journal of Materials Processing Technology*, 127(3):325–335, October 2002.
- [10] B.H. Kim and C.N. Chu. Texture prediction of milled surfaces using texture superposition method. *Computer-Aided Design*, 31(8):485–494, July 1999.
- [11] I. Buj-Corral, J. Vivancos-Calvet, and A. Dominguez-Fernández. Surface topography in ball-end milling processes as a function of feed per tooth and radial depth of cut. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 53(1):151–159, February 2012.
- [12] Y. Quinsat, L. Sabourin, and C. Lartigue. Surface topography in ball end milling process: Description of a 3D surface roughness parameter. *Journal of Materials Processing Technology*, 195(1-3):135–143, 01 2008.
- [13] X. Beudaert, P-Y. Pechar, and C. Tournier. 5-axis tool path smoothing based on drive constraints. *International*

*Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(12):958–965, December 2011.

- [14] V. Lacharnay, C. Tournier, and G. Poulachon. Design of experiments to optimise automatic polishing on five-axis machine tool. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 12(1):76–87, 2012.
- [15] H. S. Lee, M.S. Park, M.T. Kim, and C. N. Chu. Systematic finishing of dies and moulds. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(9):1027–1034, July 2006.