

Texturation de surface par laser sur un matériau hétérogène

Christophe Vincent^{1,2}, Guy Monteil¹, Thierry Barrière² & Jean-Claude Gelin²

¹Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques

Laboratoire de Microanalyse des Surfaces

26 chemin de l'épitaphe 25000 Besançon

²Institut FEMTO-ST

Département Mécanique Appliquée

24 chemin de l'épitaphe 25000 Besançon

christophe.vincent@ens2m.fr

Résumé :

La texturation de surface fait partie des domaines d'application de la technologie laser. Elle s'applique pour le marquage à des fins de traçabilité de pièces par exemple ou pour l'amélioration des performances tribologiques de pièces en frottement lubrifié.

Le but de cette étude est de montrer la faisabilité d'une texturation de surface avec des répartitions et des formes prédéfinies et le contrôle de leur réalisation pratique. Pour pouvoir visualiser et caractériser ces striations, différentes méthodes ont été utilisées : la profilométrie tactile, la microscopie électronique à balayage et la mesure optique sans contact. Grâce à ces contrôles, l'usinage laser a pu être ajusté de manière à obtenir la striation désirée ce qui se révèle être délicat dans un matériau hétérogène qui est dans notre cas de la fonte à graphite lamellaire. Pour améliorer l'état de surface, un polissage laser peut être réalisé en défocalisant le point d'impact du faisceau laser sur la matière.

Abstract :

The textured surface is a part of the applications of the laser technology. For instance, the laser marking of parts or the increasing of the tribologic performances of parts in lubricated friction.

The aim of the study is to demonstrate the faisability of surface texturation with a define space distribution and cross sections and the characterization of their realization. To be able to observe and characterize the grooves, different methods have been used: roughness profilometry, scanning electron microscopy and non contacting optical measurements. Thanks to these characterizations, the laser engraving have been adjusted to achieve the desired striation which is difficult with a heterogeneous material as lamellar cast iron. To improve the roughness of the engraved surface, a laser polishing can be realized with a defocalization of the laser beam with respect to the surface.

Mots-clefs :

striation laser ; matériau hétérogène ; caractérisation

1 Introduction

Depuis la création du laser et même du maser dans les années 60, il n'y a pas que le laser en lui-même qui a évolué mais aussi ses champs d'application. En passant de l'étude optique, de la mesure dimensionnelle à la découpe, le laser a su tirer profit de ses avantages et inconvénients. L'application qui nous intéresse ici est la texturation de surface par laser. Celle-ci est aujourd'hui très étudiée pour les applications tribologiques, Pettersson (2005), d'où un usinage qui se fait préférentiellement sur un matériau qui a déjà de bonnes propriétés tribologiques. Dans cette étude, le matériau usiné est une fonte à graphite lamellaire.

Généralement, la texturation de surface se traduit par la gravure de trous avec une répartition ordonnée, Ryk *et al.* (2002) et Voevodin *et al.* (2006). Dans cette étude, les trous sont remplacés par des stries avec diverses distribution et section. La caractérisation de ces gravures permet d'ajuster au mieux les paramètres de gravure laser. Cette caractérisation a dû évoluer et s'adapter aux différents problèmes rencontrés lors des mesures de contrôle de la géométrie des stries obtenues.

2 Texturation de surface

La texturation de surface est caractérisée par des stries avec des formes et des répartitions bien précises. Le déroulement de cet usinage est le même que pour un usinage sur une machine à commande numérique. Tout d'abord on réalise la programmation de la surface à réaliser au moyen de la CAO et de la FAO. Dans une seconde étape on procède aux réglages de la machine et au positionnement de la pièce. La dernière étape est l'usinage des stries en lui-même avec une dernière opération de rodage pour éliminer la bavure due à l'usinage.

2.1 La machine de gravure laser

La machine de gravure laser utilisée est le modèle DML 40 SI de Lasertec (groupe Gildemeister - Allemagne). Le laser utilisé est un laser Nd :YAG d'une puissance moyenne de 100 Watts. Le diamètre du spot laser est de 40 μm . La machine est équipée d'une tête galvanométrique qui permet de piloter le faisceau laser (FIG. 1). Grâce à cette tête scanner, deux types de stratégies d'usinage peuvent être sélectionnées. Soit le faisceau laser a une incidence perpendiculaire ou presque par rapport à la surface de la pièce à usiner soit il peut être incliné jusqu'à un angle de 20° ce qui permet d'usiner des parois quasiment verticales.

2.2 Les motifs de la texturation

Dans cette étude, le motif de la gravure est constitué de stries. Elles sont d'abord qualifiées par leur section : semi circulaire, rectangulaire, trapézoïdale et triangulaire. Du point de vue des dimensions, elles seront qualifiées de grosses, moyennes et fines. Toutes les dimensions sont détaillées dans le tableau 1.

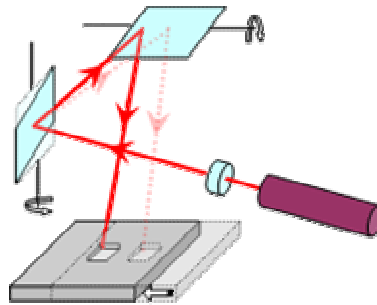


FIG. 1 – Tête galvanométrique.

Texturation	Largeur (μm)	Profondeur (μm)
Fine	60	6
Moyenne	200	20
Grosse	1000	100

Tableau 1: Dimensions des stries.

Comme cela a été précédemment décrit, l'usinage laser provoque une bavure lors de la gravure. Elle est formée par la matière qui est éjectée lors de l'usinage. Bien que la machine soit équipée d'un système d'aspiration, une partie des particules éjectées se dépose au bord des stries. Cette bavure est éliminée par rodage manuel pour pouvoir ne caractériser que les stries.

2.3 La texturation laser

La texturation est réalisée sur de la fonte à graphite lamellaire. Ce matériau hétérogène pose quelques problèmes lors de l'usinage laser de par sa composition. En effet, le graphite a une absorbance plus élevée que la ferrite ce qui a pour effet de révéler les lamelles de graphite avant que la ferrite ne soit ablatée.

En ce qui concerne les temps d'usinage, ils varient fortement suivant la stratégie employée. Lorsque la stratégie qui utilise pleinement la tête scanner est choisie alors le temps est considérablement rallongé à cause des déplacements de table dus au positionnement du faisceau laser pour usiner la paroi.

2.4 Le polissage laser

Après usinage, le fond des stries est en général assez rugueux. Des scories apparaissent ainsi que des crevasses qui correspondent aux lamelles de graphite (FIG. 2). Pour atténuer ce phénomène, un polissage laser est réalisé. Il est obtenu par défocalisation du faisceau laser par rapport à la surface à graver (FIG. 3). L'offset correspond à l'écart entre le plan de focalisation et la surface. Cette technique permet de refondre la surface et d'avoir un gain du point de vue de la rugosité mais ceci peut dépendre du matériau, Dobrev *et al.* (2006).

La rugosité a été mesurée par profilométrie au fond de stries larges réalisées à dessein. Des mesures ont d'abord été relevées sur des tirs simples lesquels ont permis de donner une valeur de référence pour le critère de rugosité Ra. Ensuite, les mêmes types de tirs ont été polis par laser. Avec un offset de -1 mm, la réduction du critère Ra est d'environ 0,5 μm (FIG. 4).

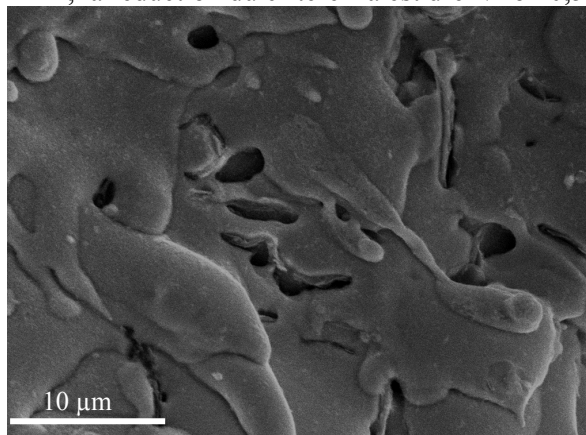


FIG. 2 – Image MEB du fond d'une strie après usinage.



FIG. 3 – Schéma de principe du polissage laser.

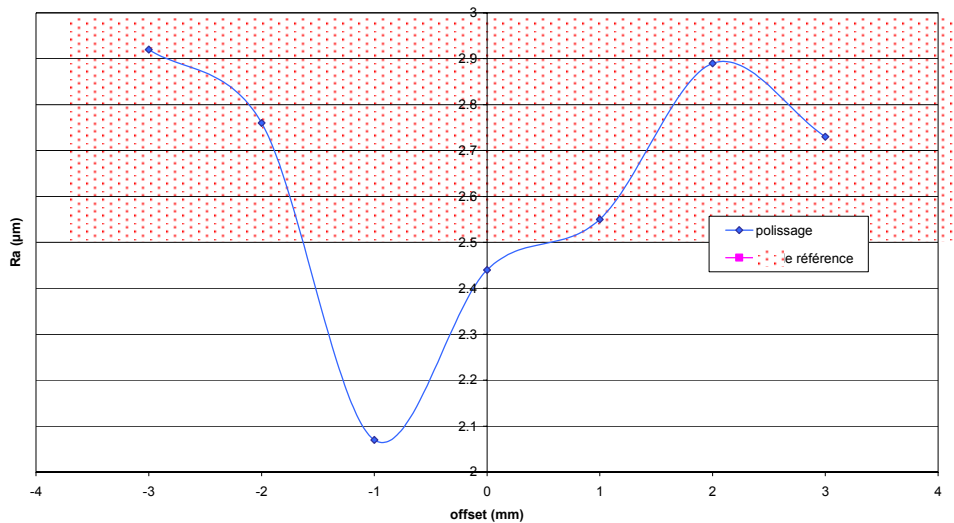


FIG. 4 – Rugosité avant et après polissage.

3 Contrôle de la texturation de surface

Le contrôle de la texturation de surface permet de régler la puissance du laser pour pouvoir graver précisément la profondeur désirée mais aussi de choisir au mieux la stratégie d'usinage. Plusieurs appareils ont été utilisés pour pouvoir contourner les problèmes inhérents aux techniques de mesure. Tous ont permis de mesurer ou de qualifier la texturation de surface.

3.1 La profilométrie

Dans un premier temps, les échantillons ont été mesurés par profilométrie. Le capteur du profilomètre est une pointe diamant conique avec un angle de 120° . Grâce à l'aide d'un logiciel a été développé au laboratoire, il est possible de reconstruire des images en trois dimensions à partir des profils enregistrés par le palpeur (FIG. 5).

Le rapport entre la largeur et la profondeur des stries est égal à 10 ce qui donne des ouvertures très grandes. Malgré cela, l'angle d'ouverture d'une strie peut être insuffisant par rapport à l'angle du palpeur voir même inutile dans le cas d'une strie rectangulaire, les parois étant verticales (FIG. 6).

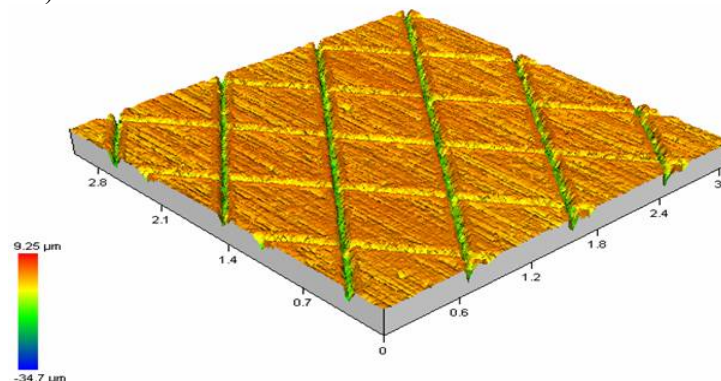


FIG. 5 – Image de stries fines croisées en 3D issue du profilomètre.

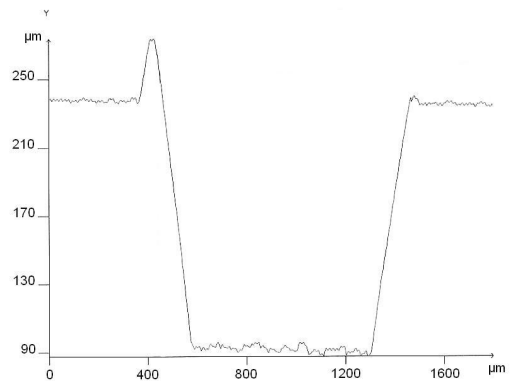


FIG. 6 – Profil d'une grosse strie rectangulaire.

3.2 La microscopie électronique à balayage

Après un nettoyage pour éliminer tous les résidus de l'usinage, les échantillons ont été observés au MEB ce qui permet de visualiser la qualité de l'usinage (FIG. 2 et FIG. 7). Par contre, le contrôle des dimensions ne peut être que qualitatif et non quantitatif. De plus, il est très difficile d'observer le profil des stries. Par conséquent, une réplique en silicone des grosses stries a été réalisée puis métallisée pour pouvoir en observer la géométrie.

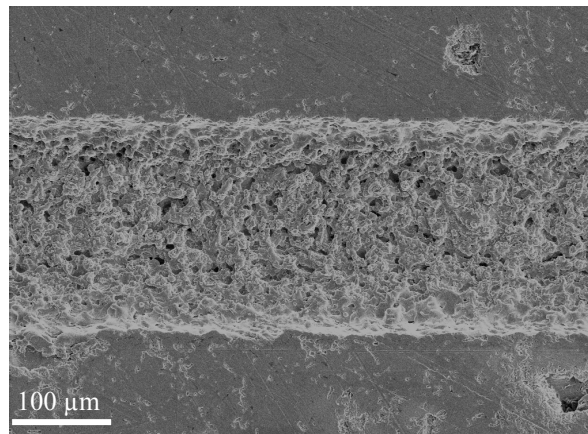


FIG. 7 – Image MEB de strie moyenne.

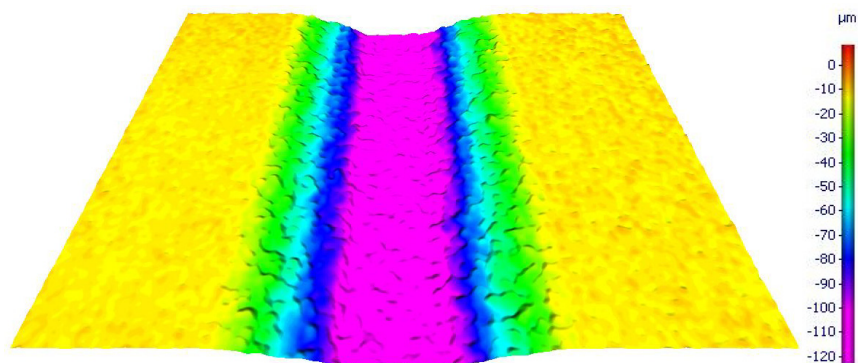


FIG. 8 – Image topographique d'une grosse strie trapézoïdale.

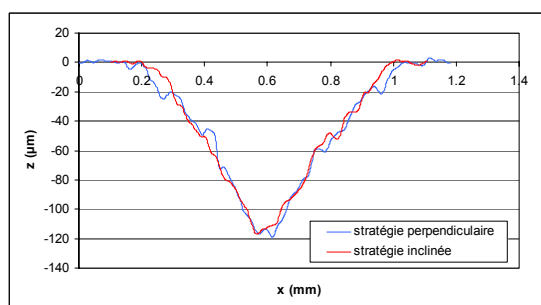


FIG. 9 – Comparaison de l'usinage d'une grosse strie triangulaire avec les deux stratégies.

3.3 La mesure optique sans contact

L'appareil utilisé est un microscope Infinitefocus® d'Alicona (Autriche). Il est basé sur un microscope optique couplé à une caméra. Contrairement à un microscope confocal qui utilise un capteur monochromatique, l'appareil utilise ici un capteur de contraste en couleur. Sur toute une plage de hauteur, le microscope collecte des images qui sont ensuite analysées par le logiciel. Celui-ci analyse chaque pixel et le compare à ses voisins pour vérifier s'il est focalisé ou non. Il reconstruit ensuite une image en trois dimensions à partir de ces points focalisés. A partir de cette image, des mesures dimensionnelles, de surface, de volume, d'état de surface ou de topographie (FIG. 8) sont possibles. Suivant l'objectif sélectionné, la taille de l'image varie de 2,1 x 1,6 mm² à 103 x 83 µm² et la résolution en hauteur de 444 nm à 20 nm. Si l'échantillon ou la zone intéressante est plus grande que la taille de capture de l'objectif sélectionné il est alors possible de réaliser une acquisition multi champs grâce à des tables motorisées.

Grâce à cet appareil, il est possible de caractériser précisément les profils des stries surmontant ainsi les difficultés rencontrées avec les moyens précédemment décrits. De plus, étant donné que la mesure donne accès à une cartographie 3D, d'autres informations sont également disponibles (rugosité 3D...).

4 Conclusions

Les différentes méthodes d'analyse de la striation de surface ont permis d'identifier des conditions d'usinage propres à réaliser différents types de profil de stries. La stratégie qui utilise pleinement le scanner permet d'obtenir un usinage des flancs de stries plus réguliers que l'autre stratégie (FIG. 9). En ce qui concerne le réglage des paramètres du laser, ils ont été affinés par la comparaison entre la profondeur gravée et désirée grâce à la profilométrie et au microscope optique sans contact. Enfin, l'analyse des données du profilomètre et des images MEB a permis d'observer l'effet de lissage de la surface par le polissage laser.

Références

- Pettersson U. 2005 Surfaces designed for high and low friction. Ph.D. thesis, Uppsala University
- Ryk, G and al. 2002 Experimental investigation of laser surface texturing for reciprocating automotive components. *Tribology Transactions*. **45**, 444-449
- Voevodin A.A. and al. 2006 Laser surface texturing for adaptive solid lubrication. *Wear*. **261**, 1285-1292.
- T. Dobrev and al. Laser polishing. In *Multi-Material Micro Manufacture-2006*, ed. W. Menz and al., 4M 2006 Proceedings, Grenoble, 2006, pp. 273-276.