Simulations comme préalable à l’application du procédé ‘durcissage intégré au laser’

17 février 2017, 01:00

Olivier Malek

Le durcissage intégré au laser présente de multiples avantages dans la fabrication de composants d’outils, mais le paramétrage adéquat du laser, en fonction des nouveaux matériaux et des propriétés de surface, est souvent réalisé de manière empirique. Pour simplifier et accélérer cette étape préalable, la simulation est une bonne solution.

Le durcissage intégré au laser est une technologie qui apporte de multiples avantages dans la fabrication de composants d’outils, par exemple, les buses d’injection, matrices, outils d’estampage, roues dentées, lames de couteau et glissières. Ce procédé d’usinage permet de réduire fortement le temps de réalisation (le fraisage et durcissage localisé sont réalisés au cours d’une même étape), et il permet d’éviter les coûteux mouvements de logistique. Le durcissage au laser étant très localisé et la vitesse de refroidissement nettement plus rapide que le procédé conventionnel, les rectifications par enlèvement de matière sont superflues. Et il est possible de maximiser le degré de dureté, avec une incidence positive sur la tenue des outils. Le procédé permet également d’économiser 40 pour cent sur les coûts de production, en comparaison avec la méthode classique de durcissage et rectification par enlèvement de matière.

Toutefois le paramétrage adéquat du laser, en fonction des nouveaux matériaux et des propriétés de surface, est souvent réalisé de manière empirique. Il s’agit d’éviter à tout moment une fusion à la surface du matériau. Certes, les surfaces ayant été fondues se caractérisent par une dureté plus élevée, mais également par une plus grande rugosité, et des tensions de traction se sont formées dans le métal, tandis que pour sa part le procédé normal de durcissage au laser n’occasionne aucun changement de rugosité et introduit des tensions de compression élevées (> 500 MPa). Les zones fondues ont une durée de vie plus courte et nécessitent une rectification par meulage ou fraisage.

Simulation

Pour simplifier et accélérer la détermination du paramétrage adéquat, Sirris a développé une méthode permettant de simuler le durcissage au laser. Sur la base d’un modèle 3D-CAO, ainsi que des propriétés thermiques du matériau et de l’état de surface (meulée, fraisée ou sablée), il est possible de déterminer la distribution de la température dans le matériau, en fonction de différents paramètres (vitesses, diamètres du spot et puissances du laser). Sur la base du diagramme de la phase du matériau, et donc de la température de fusion connue, on peut ensuite déterminer quels sont les paramètres à utiliser pour durcir le matériau de manière adéquate au laser. La méthode permet également de déterminer la profondeur du durcissage, ce qui est très utile lorsqu’il s’agit d’usiner une pièce unique : une analyse métallurgique n’est pas toujours souhaitée.

A titre d'illustration, nous avons modélisé le couteau évoqué dans l'article Techniline avec le logiciel COMSOL.



(Cliquer sur l'image pour l'agrandir et la faire pivoter)
Distribution de la température sous l'incidence d'un spot laser se déplaçant le long du tranchant



Maillage du couteau (à gauche) et les contours de la chaleur d'un spot laser se déplaçant le long du tranchant (à droite)

En utilisant les conductibilités thermiques dépendant de la température, des expansions, densités et coefficients spécifiques de température, il est possible de modéliser la distribution de la température sous l'incidence d'un spot laser en mouvement. Sur la base de la température de fusion et de la température dans le diagramme de phase binaire de l'acier, où l'austénite commence à se former (ce qui est nécessaires pour la formation de la martensite, acier durci), il est possible alors de déterminer la profondeur du durcissement. Au moyen de la température maximum, on peut également déterminer si la pièce présente ou non des zones fondues. La combinaison des paramètres puissance/vitesse d'avancement du laser ne produisant aucune fusion dans la simulation, est la combinaison qui permet d'obtenir le degré de dureté le plus élevé et la profondeur maximale de durcissement.



Température de fusion simulée (en bleu) et dureté mesurée (orange) pour l'acier C45; à la puissance 250 W

En comparant les simulations avec les données expérimentales, on voit que la combinaison 600 mm/min à 250 W fait fondre le tranchant du couteau, et qu'il existe une bonne corrélation entre la réalité et la simulation. A la vitesse de 800 mm/min, la température selon les simulations était juste sous la température de fusion, et par conséquent on peut voir de manière expérimentale l'absence de fusion à cette température, allant de pair avec une dureté maximale. Si on continue à augmenter la vitesse, on diminue la température, ce qui réduit le degré produisible de dureté. Si l'on regarde la distribution de la température dans la lame du couteau (vue en coupe), on voit également que la température à laquelle se forme l'austénite est maintenue jusqu'à environ 1 mm de profondeur. Ce qui correspond à la valeur mesurée pour la profondeur du durcissement et la longueur.



Vue en coupe de la distribution de la température du tranchant du couteau, températures en degrés Kelvin

La possibilité de simuler de manière précise et fiable le procédé de durcissage au laser permet d'utiliser cette technologie pour durcir au laser des pièces complexes et coûteuses, sans longue

procédure expérimentale, à condition que soient connues les propriétés thermiques du matériau. Dans beaucoup de cas, il est alors possible de fabriquer les pièces correctement du premier coup (‘first-time-right’).

Auteurs



Olivier Malek