

Mesure de champs cinématiques par corrélation en coupe orthogonale : Possibilités et précision de l'imagerie double-frame avec éclairage laser pulsé

S. Campocasso ^{a,b}, T. Baizeau ^b, G. Fromentin ^b, R. Besnard ^a

a. CEA, DAM, Valduc, 21120 Is-sur-Tille, France

b. Arts et Métiers ParisTech, LaBoMaP, 71250 Cluny, France

...

Résumé :

Dans le but de valider les simulations de la coupe visant à prédire l'intégrité de surface, une instrumentation basée sur une caméra double-frame et un éclairage laser pulsé a été développée. A partir des doublets d'images obtenus par ce moyen d'acquisition, les dépouillements possibles par corrélation d'images sont détaillés, accompagnés d'estimations d'incertitudes de mesure.

Abstract :

In order to validate cutting simulations, an experimental device using a double-frame camera and a pulsed laser light has been developed. From the picture pairs obtained with this novel acquisition device, the possible ways to analyse the results by Digital Image Correlation (DIC) are detailed, together with an evaluation of the measurement uncertainties of the presented fields.

Mots clefs : Usinage, Coupe orthogonale, Mesure de champs, Corrélation d'images, Imagerie rapide

1 Introduction

La tenue en service des pièces usinées, en fatigue ou en corrosion, est grandement liée à l'intégrité de surface résultant du procédé de coupe utilisé. Les propriétés surfaciques et sub-surfaciques de la pièce peuvent être prédites par des simulations de la coupe, qui nécessitent d'être validées, voire recalées, par des données expérimentales. Ces données sont souvent macroscopiques, comme les efforts de coupe ou la forme et les dimensions du copeau. Plus rarement, l'angle de cisaillement ou le profil de contraintes résiduelles dans la pièce sont également pris en compte. Des travaux scientifiques récents font état de l'utilisation de techniques de corrélation d'images pour l'étude de la coupe, mais l'objectif n'a pas été focalisé sur la surface usinée, en dépit de l'intérêt qu'elle représente d'un point de vue fonctionnel, et les vitesses utilisées sont souvent faibles. L'objectif des présents travaux est de pouvoir quantifier expérimentalement les déformations générées par la coupe au niveau de la pièce au plus près de la surface usinée et pour des vitesses de coupe représentatives des applications industrielles.

2 Dispositif expérimental

L'originalité de l'étude réside dans le matériel mis en œuvre, normalement destiné à la mécanique des fluides. Une caméra *double-frame* et un laser pulsé double-cavité pour l'éclairage sont utilisés pour acquérir des paires d'images. L'intérêt du système est le temps d'exposition effectif donné par la durée du pulse laser (5 à 8 ns), garantissant des images nettes. La résolution de 2560x2160 pixels du capteur sCMOS 16 bits, couplée à un objectif télécentrique x10, permettent d'obtenir des images de très bonne qualité, avec un temps inter-images dans une paire de 120 ns au minimum. La résolution spatiale est de 0,66 μm /pixel pour un champ observé de 1,7x1,4 mm². Ce système d'imagerie a été implanté dans une fraiseuse équipée de moteurs linéaires, permettant de déplacer l'outil de coupe en translation pour effectuer une opération de coupe orthogonale à des vitesses allant jusqu'à 120 m/min.

3 Stratégies de dépouillement

Le matériel utilisé étant conçu pour acquérir des paires d'images, seulement deux images peuvent être réalisées durant la coupe. Néanmoins, pour chaque essai, quatre paires d'images sont enregistrées :

- deux paires avant l'essai, permettant par la suite de caractériser les incertitudes de corrélation;
- une paire pendant l'essai, avec l'outil dans le champ de l'image;
- une paire à la fin de l'essai, après la coupe.

A partir de ces paires d'images, plusieurs stratégies de dépouillement sont possibles :

- Corrélation Pendant/Avant, permettant de mesurer les champs de déplacements totaux résultant du chargement imposé par l'opération de coupe;
- Analyse des images Après/Avant pour évaluer les déformations résiduelles dans la pièce finie;
- Corrélation Pendant/Pendant (intra-paire) pour étudier la formation du copeau.

4 Mesure de champs par corrélation d'images et incertitudes

Les champs de déplacements ont été mesurés par corrélation d'images numériques avec Correli^{Q4} en utilisant l'état de surface de la pièce comme marqueur. Les champs de déformations ont été calculés avec une méthodologie développée spécialement, afin d'exprimer les déformations en fonction de la profondeur sous la surface usinée – i.e. en configuration déformée –. Outre une analyse d'incertitude sur images non déformées pour évaluer différents procédés de marquage, la répétabilité des champs a été quantifiée en calculant les champs d'écart-types pour une dizaine d'essais réputés identiques.

5 Résultats et perspectives

La paire d'images obtenue pendant la coupe permet d'obtenir l'angle de cisaillement et de répéter cette mesure beaucoup plus facilement qu'avec des essais de coupe brusquement interrompus. Les dépouillements "Pendant/Avant" montrent que le chargement appliqué sur la pièce est principalement dû à la formation du copeau et engendre des déformations élastiques en profondeur. La profondeur affectée sous la surface usinée – de quelques centaines de microns au maximum – peut aisément être mesurée à partir du dépouillement "Après/Avant", mais la mesure à proximité de la surface reste difficile compte-tenu des très grandes déformations. Une perspective est donc d'utiliser une caméra rapide conventionnelle afin de déterminer les champs par corrélation incrémentale à partir d'un film.