Stressomètre haute performance à réseaux de Bragg pour le contrôle en ligne de la planéité de toles minces produites par laminage à froid

Sylvain Magne, Nicolas Legrand, Stéphane Ertz, Gwenael Jouvin, Julien Lebecq, Guillaume Laffont, Pierre Ferdinand, Vivien André, Pascale Pommier, Laurent Boissonnet, et al.

▶ **To cite this version:**

Sylvain Magne, Nicolas Legrand, Stéphane Ertz, Gwenael Jouvin, Julien Lebecq, et al.. Stressomètre haute performance à réseaux de Bragg pour le contrôle en ligne de la planéité de toles minces produites par laminage à froid. JNOG 2019 - 39e Journées Nationales d'Optique Guidée, Université Paris-Saclay, Jul 2019, Saclay, France. cea-04096333

HAL Id: cea-04096333
https://cea.hal.science/cea-04096333

Submitted on 12 May 2023

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.

STRESSOMETRE HAUTE PERFORMANCE A RESEAUX DE BRAGG POUR LE CONTROLE EN LIGNE DE LA PLANEITE DE TOLES MINCES PRODUITES PAR LAMINAGE A FROID

Sylvain Magne[1], Nicolas Legrand[2], Stéphane Ertz[2], Gwenael Jouvin[1], Julien Lebecq[1], Guillaume Laffont[1], Pierre Ferdinand[1], Vivien André[2], Pascale Pommier[3], Laurent Boissonnet[3] et Hamid Zahrouni[4]

[1] *CEA, LIST, Laboratoire Capteurs Fibres Optiques, F-91191 Gif-sur-Yvette, France*

[2] *ArcelorMittal Global R&D, Voie Romaine, BP 30320 F-57283 Maizières-les-Metz, France*

[3] *C-TEC Constellium Technology, Centr'Alp 725, rue A. Bergès CS10027, F-38341 Voreppe, France*

[4] *Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3, F-57000 Metz, France*

sylvain.magne@cea.fr

RÉSUMÉ

Le contrôle en ligne de la faible épaisseur des bandes métalliques obtenues par laminage à froid constitue un défi technologique. Un stressomètre (rouleau de planéité) prototype de haute performance (en résolution spatiale (5 mm) et en pression (kPa)) a été mis au point par Arcelor-Mittal (AM) et le CEA LIST. La répartition des efforts sur une génératrice est mesurée par réseaux de Bragg, à haute cadence (kHz) de façon synchrone.

MOTS-CLEFS : *laminage, bande, planéité, rouleau, fibre optique, réseaux de Bragg*

1. INTRODUCTION

Les marchés de l'emballage et de l'automobile poursuivent un objectif de réduction des épaisseurs des produits laminés. Dans l'emballage, cette tendance conduit à une réduction de matière et des déchets à recycler. Pour l'automobile, elle est essentiellement motivée par des réductions de coût, de poids et indirectement de consommation et de pollution des véhicules.

Les problèmes de planéité constituent un souci majeur pour les industriels du laminage car leurs produits sont toujours plus larges, plus minces et plus durs. Les problèmes de flambage des tôles minces (quelques dixièmes de mm) obtenues par laminage à froid deviennent alors critiques. Les fortes réductions d'épaisseurs peuvent créer des contraintes résiduelles importantes (sur-tractions) en bords de rives avec un risque de rupture du produit et des défauts de type « frisettes » (sous-traction) peuvent également apparaitre. Les défauts de planéité qui en résultent (inhomogénéité de pression dans l'emprise) conduisent à une différence de traction dans la largeur.

Un dispositif de contrôle en ligne de la planéité agit en boucle fermée. Le signal utile pour l'exploitant (donnée d'entrée des actionneurs en cage de laminoir) est le vecteur de planéité, indicateur de la planéité latente, vecteur différentiel de pression obtenu par soustraction du relevé linéaire avec la pression moyenne induite par la traction de bande. Celui-ci est injecté dans la boucle de contre-réaction du système d'asservissement des actionneurs pour agir sur la distribution de pression de laminage dans l'emprise et ainsi corriger les défauts de planéité.

Le contrôle des faibles épaisseurs constitue également un défi technologique en termes de cadence d'acquisition, de résolution spatiale et en effort. La planéité latente est essentiellement évaluée à l'aide de rouleaux de planéité ou stressomètres (*stressometer, shapemeter*) insérés dans le circuit de défilement de bande dans le but de mesurer le profil de pression appliqué par la bande le long de sa génératrice (*i.e.* parallèlement à son axe) [1-2]. La bande est alors délibérément mise en flexion afin de générer un effort moyen proportionnel à la traction de bande et à l'angle d'embarrage (compris entre 5° et 180°). Les rouleaux commerciaux (ABB, BFI, …) sont constitués

d'un cylindre plein comportant une ou plusieurs génératrices (typ. 1,5 m de longueur, 4 mesures par tour) incorporant des capteurs de différentes technologies (piezorésistif, inductif, etc.), de conception ancienne et d'encombrement important. De plus, la résolution spatiale des stressomètres actuels (~ 25 à 50 mm) est insuffisante à proximité des rives des produits laminés où des variations brusques de contraintes (prédites par simulation) sont indétectables. Le développement d'un stressomètre de haute résolution spatiale (millimétrique) et de grande sensibilité de mesure (pouvoir distinguer un défaut de 5 UI, soit 50 µm/m) est donc nécessaire pour mesurer la planéité sous traction dans ces conditions. De plus, pour éviter de marquer les pièces laminées, les rouleaux sont souvent chemisés par une frette continue de faible épaisseur (~ 2 mm) transmettant les efforts aux capteurs logés dessous, mais qui a néanmoins l'inconvénient de dégrader la résolution spatiale (couplage axial des efforts). Une résolution en pression de l'ordre du kPa est recherchée pour une gamme de plus de 3 ordres de grandeur ([kPa-MPa]) (*e.g.* la pression de contact exercée par une bande de 0,2 mm d'épaisseur est d'environ 50 kPa pour un angle d'embarrage $\vartheta = 20°$ et une traction de 10 MPa). Enfin, la vitesse de défilement de bande peut atteindre 1 000 m/min en production, imposant une cadence d'acquisition minimale de l'ordre du kHz.

La métrologie par réseaux de Bragg, également mise en œuvre pour des rouleaux destinés à l'industrie papetière [3], est proposée par le CEA LIST et Arcelor-Mittal (AM R&D) dans le contexte d'un projet ANR (PLATFORM) afin d'aboutir à une preuve de concept d'un stressomètre innovant à fibres optiques.

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU STRESSOMETRE A FIBRES OPTIQUES

Le stressomètre prototype mis au point par le CEA LIST et AM R&D se présente sous la forme d'un cylindre de 30 cm de diamètre et de 30 cm de longueur (Fig. 1 – gauche).

Un logement de section en forme d'écusson a été usiné sous la surface, formant une frette de 1 mm d'épaisseur et un second logement d'équilibrage (Ø = 54,5 mm) a été aménagé à 180°. La frette ainsi formée a été découpée en lamelles afin de réduire le couplage axial des efforts. Une série de 25 réseaux a été photo-inscrite sur la même fibre, déployée à l'intérieur du logement en écusson. Chaque réseau de Bragg est ainsi collé de façon orthoradiale et subit une déformation proportionnelle à la pression exercée sur la lamelle dont le dimensionnement a été mené par AM R&D à l'aide d'un logiciel de simulation par éléments-finis (Abaqus, Dassault Systèmes).

Un premier étalonnage en effort est réalisé à l'aide d'une presse et d'un capteur d'effort (sensibilité ~ 50 à 60 pm/N). Un second étalonnage statique en pression est réalisé sur pilote de défilement de bande (Fig. 1 – droite). Les sensibilités obtenues sont de l'ordre de 6 à 13 µm/m.kPa. La performance de détection est évaluée par un critère de « capabilité » $C = 0{,}25.\sigma_m/\sigma_c$ où σ_m et σ_c sont respectivement l'incertitude recherchée sur la mesure de planéité (5 UI) et l'incertitude sur la mesure différentielle (~ 4 µm/m). Pour une bande d'acier de 0,1 mm, ce critère est de l'ordre de 3, proche de ceux des meilleurs dispositifs commerciaux. En rotation, le signal optique est extrait à l'aide d'un joint tournant optique monomode (Princetel MJXA-155) connecté sur l'un des paliers. La pression dans le contact est déduite par soustraction d'un premier signal obtenu lorsque la bande est en contact avec un second signal de référence acquis lorsque la bande est hors contact. La compensation en température est ainsi obtenue naturellement lors de la rotation du rouleau.

Fig. 1 : Vue du stressomètre à fibres optiques mis au point par le CEA LIST et ARCELOR-MITTAL (gauche) et insertion dans un circuit de défilement de bande (AM R&D, droite).

3. ESSAIS SUR CIRCUITS DE DEFILEMENT DE BANDES ACIER (AM) ET ALUMINIUM (C-TEC)

La figure 2 illustre le schéma expérimental mettant en œuvre l'unité de mesure BraggLight (CEA LIST) pour les démonstrations. Cette unité incorpore une source optique (fibre dopée erbium émettant en régime d'émission spontanée amplifiée) générant un spectre continu dans la bande C+L ([1510 nm-1580 nm]) et un spectromètre intégré (IMON-512, Ibsen) équipé d'une barrette CMOS de 512 photodétecteurs InGaAs (G11620, Hamamatsu). Les longueurs d'onde de Bragg sont déterminées par un algorithme d'ajustement gaussien et stockées en mémoire à la cadence de 1 kHz.

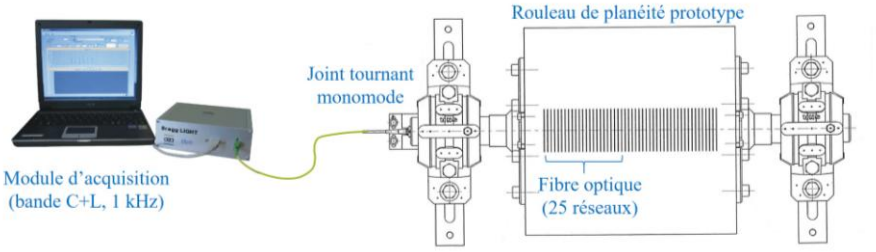

Fig. 2 : Schéma optique de montage du stressomètre prototype sur circuits de défilement de bande

Par ligne de mesure, cette unité démodule jusqu'à 25 réseaux spectralement espacés de 3 nm. Le rouleau étalonné, équipé de son joint tournant a été installé sur lignes pilotes acier (AM R&D) puis aluminium (C-TEC). La figure 3 montre un signal en déformation obtenu sur un réseau du stressomètre prototype lors d'un test de défilement (10 m/min) de bande acier (0,2 mm) sous différents efforts de traction.

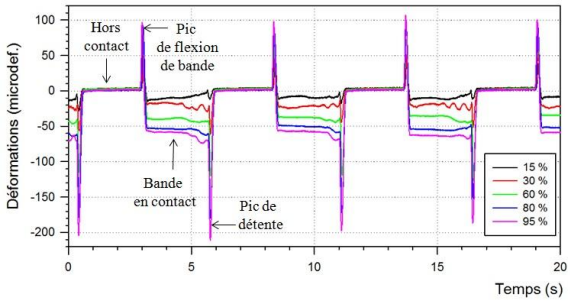

Fig. 3 : Signal de déformation obtenu sur un réseau de Bragg équipant le stressomètre prototype durant un test de défilement de bande acier (ϑ = 180°, X % de 300 kg).

CONCLUSION

Un stressomètre prototype à fibres optiques a été mis au point par AM R&D et le CEA LIST, de « capabilité » équivalente aux meilleurs dispositifs commerciaux. L'emploi de réseaux de Bragg comme jauges extensométriques permet d'améliorer la résolution spatiale (5 mm) tout en simplifiant la connectique et en assurant une mesure synchrone sur une génératrice grâce au multiplexage spectral, rendant la mesure de planéité moins sensible aux perturbations de production. La répartition de la pression sur une génératrice est ainsi mesurée à haute cadence (kHz) et présente une dynamique de plus de 3 ordres de grandeur ([kPa-MPa]) et une résolution de l'ordre du kPa. Une preuve de concept a été apportée sur lignes pilotes (AM) acier et aluminium (C-TEC).

RÉFÉRENCES

[1] N. Legrand, K. Swatch, C.C. Peirera Santos, A. Ehrlacher, "Review of shapemeter rolls technologies to measure strip share in hot and cold rolling conditions," 10th Int. Rolling Conf., June 06-09 2016, Graz (Austria).

[2] J. Molleda, R. Usamentiaga and D.F. Garcia, "On-line flatness measurement in the steelmaking industry," Sensors, Vol. 13, pp. 10245-10272, 2013.

[3] W. Ecke, M. W. Schmitt, Y. Shieh, E. Lindner, R. Willsch, "Continuous pressure and temperature monitoring in fast rotating machine rolls using optical FBG sensor technology," Optical Fiber Conference (OFS 22), Beijing (China), 15-19 October 2012, Proc. SPIE Vol. 8421, 8421AZ1-4

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet PLATFORM (Maîtrise de la PLAnéité des Tôles métalliques FORMées par laminage) financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-10-RMNP-0019).