

Titre : Imagerie par courant de Foucault des défauts dans les générateurs de vapeur par méthode inverse

Mots clés : Courant de Foucault, problème inverse, optimisation de forme, dérivée Lagrangienne, fissure

Résumé : Pour le contrôle non destructif d'un générateur de vapeur dans une centrale nucléaire, des sondes à courants de Foucault sont utilisées pour inspecter les tubes métalliques qui s'y trouvent. Le problème inverse auquel nous nous intéressons est l'imagerie des défauts sur les tubes, tels que les dépôts d'encrassement, l'usure ou les fissures, à partir des mesures des courants de Foucault. Nous utilisons un schéma de descente de gradient pour minimiser une fonctionnelle coût, J , dépendant de la forme du défaut et explorons deux manières différentes d'évaluer la dérivée de forme de J : une représentation de frontière basée sur la dérivée eulérienne de l'état et une représentation volumique basée sur la dérivée lagrangienne. Tout d'abord, nous étudions le cas d'un modèle simplifié de courant de Foucault en 2D et nous résolvons le problème inverse de la reconstruction des inclusions en utilisant les deux méthodes couplées à un formalisme de lignes de niveaux (level-set) et à une régularisation de la vitesse du gradient. Ensuite, nous étendons l'approche lagrangienne au cas des fissures. Les principales difficultés sont : la singularité de la variable d'état induite par les pointes de la fissure et la caractérisation rigoureuse de la différentiabilité de la fonctionnelle coût par rapport aux variations tangentielles de la pointe de fissure. Ces difficultés compliquent l'extension de l'approche eulérienne, qui demande une régularité minimale de l'état. Nous ex-

plorons l'avantage de la dérivée lagrangienne de nécessiter moins de régularité des variables d'état et le fait qu'elle prend naturellement en compte les déformations normales et tangentielles de la fissure. Nous décrivons l'interface de la fissure dans l'algorithme en utilisant trois méthodes différentes. La première méthode est basée sur le fait que la fissure est le modèle limite d'un obstacle de Neumann, ce qui nous permet d'utiliser une méthode level-set. La deuxième méthode est une méthode de variation des frontières. La troisième méthode consiste à paramétrer la fissure comme le graphe d'une fonction. Nous étudions ensuite le cas de dépôts 2D axisymétriques définis par des changements de la perméabilité magnétique et de la conductivité. Ceci est en contraste avec les études précédentes qui ne considéraient que les changements de conductivité. Ce cas est plus difficile car il génère des instabilités dans l'évaluation du gradient. Pour résoudre ce problème, nous implémentons rigoureusement la représentation surfacique de la dérivée de forme à l'aide d'un logiciel de remaillage pour les frontières implicites. Nous utilisons également l'approche lagrangienne, qui est moins sensible aux instabilités aux interfaces du domaine. Enfin, nous étendons notre approche à la reconstruction des fissures pour le modèle des courants de Foucault en utilisant la formulation en potentiel vecteur magnétique.

Title : Eddy current imaging of defects in steam generators using an inverse method

Keywords : Eddy current, inverse problem, shape optimization, Lagrangian derivative, crack

Abstract : For the non-destructive evaluation of a steam generator in a nuclear power plant, eddy current probes are used to inspect the metallic tubes within it. The inverse problem we are interested in is the imaging of defects on the tubes, such as clogging deposits, wear, or cracks, from eddy current measurements. We use a gradient descent scheme to minimize a shape-dependent cost functional, J , and explore two different ways to evaluate the shape derivative of J : a boundary representation based on the Eulerian derivative of the state and a domain representation based on the Lagrangian derivative. First, we study the case of a simplified 2D eddy current model and solve the inverse problem of reconstructing inclusions using both methods coupled with a level-set formalism and a regularization for gradient velocity. Next, we extend the Lagrangian approach to the case of cracks. The main difficulties are : the singularity of the state variable induced by the crack tips, and rigorously characterizing the differentiability of the cost functional with respect to tangential variations of the crack tip. These difficulties complicate the extension of the Eulerian approach, which requires a minimum regularity of the state. We exploit the advantage

that the Lagrangian derivative requires less regularity of the state variables and the fact that it naturally takes into account both normal and tangential deformations of the crack. We describe the crack interface in the algorithm using three different methods. The first method is based on the fact that the crack is the limiting case of a Neumann obstacle, therefore we can use a level-set method. The second method is a boundary variation method. The third method is the parameterization of the crack as the graph of a function. Then, we study the case of 2D axisymmetric deposits defined by changes in both the magnetic permeability and the conductivity. This is in contrast with previous studies that considered only changes in the conductivity. This case is more challenging because it generates instabilities in the gradient evaluation. To address this issue, we rigorously implement the boundary representation of the shape derivative using a remeshing software for implicit boundaries. We also use the Lagrangian approach, which is less sensitive to instabilities at the interfaces of the domain. Finally, we extend our approach to the reconstruction cracks for the eddy current model using the magnetic vector potential formulation.