

Résumé

Les procédés de traitement de surface sont utilisés à l'échelle industrielle pour améliorer les performances de pièces mécaniques en introduisant des contraintes résiduelles de compression. Cette mise en compression de surface permet de limiter l'amorçage et la propagation de fissures dans le matériau. Ceci permet d'augmenter de façon significative la durée de vie en fatigue des pièces mécaniques ainsi traitées. L'utilisation de ces procédés dans l'industrie a démontré leur efficacité, mais aussi leurs limitations et inconvénients. Les défauts récurrents consistent en une profondeur traitée faible, une dégradation de l'état de surface (rugosité), des difficultés de contrôle, une contamination du matériau traité, etc. Ces défauts ont conduit à l'élaboration de nouveaux procédés innovants qui permettent de meilleures performances en évitant certains des inconvénients succinctement évoqués. Parmi ces procédés innovants, le traitement de surface par impulsion électromagnétique semble particulièrement intéressant. Ce procédé met en œuvre un puissant champ magnétique transitoire pour engendrer des forces de Laplace dans une pièce métallique et induire des contraintes résiduelles. Il n'existe que peu d'informations dans la littérature et il n'existe aucun dispositif expérimental de ce procédé. Cette thèse est dédiée à la conception et la réalisation d'un prototype de mise en compression électromagnétique. Le premier chapitre de cette thèse est un état de l'art des technologies de mise en compression et du procédé de mise en compression par impulsion électromagnétique. Ainsi, les besoins de ce procédé sont identifiés et les technologies pouvant répondre à ces besoins sont explorées. Le deuxième chapitre, après une sélection de la structure globale du dispositif, va consister aux dimensionnements des éléments du prototype EMP. Cette étude commencera avec une étude sur l'inducteur qui va être utilisé avant de continuer sur le dimensionnement du stockage d'énergie et de l'interrupteur de décharge. Afin de valider le dimensionnement des composants précédents, une simulation électromagnétique 3D du système est réalisée. L'assemblage du prototype est présenté dans le troisième chapitre ainsi qu'une première campagne d'essai sur un alliage d'aluminium. Deux types d'éprouvettes sont testées : une éprouvette fine pour vérifier visuellement la mise en compression (essai Almen) et une éprouvette massive afin d'évaluer la profondeur traitée. Une modélisation multiphysique 3D du procédé est réalisée afin de corréliser ces résultats avec l'expérience. Dans un dernier chapitre, une étude exploratoire est menée sur un matériau ferromagnétique, le mumetal, pour visualiser l'influence des contraintes résiduelles sur les propriétés magnétiques de ce dernier.

- **Titre traduit**

Conception and realization of an electromagnetic pulse peening device

-

Résumé

Peening processes are widely used in industries to apply compressive residual stresses into the most solicited part of mechanical pieces. In that way, the compressive residual stresses limit the priming and the propagation of micro-cracks in the material. This increases significantly the lifespan of the treated mechanical piece under fatigue stresses. These existing peening processes have proved their efficiency and also their limitations and weaknesses. The main recurrent defaults are a shallow depth of treatment, a degradation of the surface condition, a random control of the treatment, a material contamination, etc. These problems have led towards the development of news innovative peening processes which allow better performance avoiding some previous defaults briefly evoked. Among these news processes, the electromagnetic peening process seems especially interesting. This process uses high energy electromagnetic fields to induce Lorentz forces into a metallic piece and thus residual stresses. Actually, there is not much information about this process in the literature and no prototype was ever built. The work of this thesis is dedicated to development and realization of an electromagnetic peening prototype. The first chapter of this thesis addresses the state of the art of major peening processes actually in industrial use. Next, the electromagnetic peening process, or EMP process, is described and the electrical needs are exposed. A second state of the art is made about the technological solutions to respond to the EMP needs. The second chapter is about the conception of the EMP prototype with the electrical structure adopted in the previous chapter. The first step is about the inductor sizing to generate an electromagnetic field sufficient enough for a peening application. Next, the storage system is designed depending on the inductor parameters and finally the closing switch is created considering the electrical parameters used for the EMP process. To validate the previous results, a 3D electromagnetic simulation is done. The prototype assembly is presented in the third chapter and also the first experimental test on the EMP prototype. To begin with, an aluminium alloy with low yield strength is selected to be treated. Two different samples forms are used, a thin one, to realize a similar test to the Almen test and thick one to check the EMP depth of treatment. A 3D multiphysics simulation of these experiments is made and these numeric results are next correlated to the experimental ones. In the fourth chapter, an exploratory study is realized on the effects of the residual stresses on magnetic properties of ferromagnetic material, the mumetal