

## ANALYSES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES DU PROCEDE DE SOUDAGE PAR FRICTION MALAXAGE FSW

**RESUME :** Le soudage par friction malaxage FSW est un procédé de soudage à l'état solide, sans fusion du matériau. La soudure est réalisée par l'action d'un outil composé d'un épaulement et d'un pion positionné à l'interface des deux pièces à souder. L'outil a deux rôles : échauffement de la matière par frottement de l'épaulement, malaxage de la matière par l'intermédiaire du pion. Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre d'un partenariat entre Arts et Métiers ParisTech et l'Institut de Soudure. Son objectif est de développer un modèle de simulation du FSW afin de réduire le nombre d'essais expérimentaux nécessaire à l'optimisation du procédé. Ainsi, plusieurs points ont été abordés dans ce manuscrit. Une analyse expérimentale des cycles thermiques et des mouvements de matière dans le cas où les pions sont non filetés a été menée. Cette situation permet (1) de faciliter la comparaison avec la simulation numérique et (2) de se placer dans les conditions de pions usés. L'analyse des formulations (lagrangienne, eulérienne et ALE) en vue de choisir celle la plus appropriée pour représenter les écoulements de matière a permis de retenir une formulation eulérienne (mise en œuvre dans le logiciel FLUENT) pour estimer les champs thermiques et de vitesses à l'état stationnaire. La mise en place d'un modèle numérique dans le logiciel FLUENT est présentée. Nous avons en particulier étudié l'influence des paramètres numériques sur les résultats et mis en place une stratégie d'identification de certains paramètres non accessibles expérimentalement. Une comparaison fine entre nos résultats expérimentaux et ceux issus des simulations a été effectuée avec succès. L'étude de l'impact des paramètres process (vitesse d'avance, vitesse de rotation) et de la géométrie du pion sur les champs thermiques et de vitesses a permis de mettre en évidence le lien entre les champs de vitesse et la présence de défauts de type tunnel.

**Mots clés :** Soudage, FSW, simulation numérique, visualisation des mouvements de matière, défauts.

## EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF THE FRICTION STIR WELDING PROCESS

**ABSTRACT :** The Friction Stir Welding (FSW) is a solid state welding process, without melting. The weld is fabricated thanks to the action of tool made of a shoulder and a pin, positioned at the interface of the two pieces to be welded. The tool as two roles : heating of the material by friction of the shoulder, mixing of the material due to the pin. This thesis work is made within the partnership between Arts et Métiers ParisTech and Institut de Soudure. Its goal is to develop a FSW simulation model in order to decrease experimental trials required to optimize the process. Therefore, some points have been treated in this manuscript. Experimental analysis of thermal cycles and material movements in the case of unthreaded tools has been carried out. This situation allows (1) to make the comparison with numerical simulation easier and (2) to be in the case of worn tools. Formulations (lagrangian, eulerian, ALE) analysis in order to choose the more appropriate to take material flow into account has allowed to select an eulerian formulation (implemented in the FLUENT software) to estimate thermal and kinematical fields in the steady state. The set up of the numerical model in the FLUENT software is presented. We have studied the influence of numerical parameters on the results and proposed an identification strategy for some parameters which are not reachable experimentally. A detailed comparison between our experimental results and the ones from our simulations have been performed with success. The study of the influence of the process parameters (feed rate, rotating speed) and of the pin geometry on the kinematical and thermal fields has highlighted the link between velocity field and the presence of tunnel type defects.

**Keywords :** Welding, FSW, numerical simulation, material movements visualization, defects.

