

Application de la méthode Simplified Moving Source à un cas de soudage 3D multi passes

B. Agard^{ab}, A. Brosse^c, E. Feulvarch^a

^aUniv. Lyon, ENISE, LTDS UMR 5513 CNRS, 58 rue Jean Parot, 42023 Saint-Etienne cedex 2, France

^bHaulotte GROUP, La Péronnière, 27 Rue d'Onzion, 42152 L'Horme, France

^cFramatome, 10 Rue Juliette Récamier, 69006 Lyon, France

Résumé — La simulation numérique est un moyen fiable pour représenter les phénomènes physiques qui rentrent en compte dans un procédé de soudage. Cependant dans un contexte industriel cette technique peut devenir trop coûteuse en temps, c'est pourquoi il est important de développer des méthodes qui permettent de rendre plus compétitif la simulation numérique du soudage. De plus dans le cas du soudage multi passes, des phénomènes thermiques cycliques qui ont une influence sur les propriétés mécaniques locales interviennent, et ils restent difficiles à représenter en simulation numérique. Dans ces travaux, une technique permettant d'économiser du temps de manière importante faisant intervenir une source de chaleur équivalente qui a été appliqué dans un cas de soudage mono passe, est appliquée au cas d'un soudage multi passes.

Mots clefs — Éléments finis, soudage, simulation numérique, source de chaleur équivalente

1. Introduction

Dans l'industrie aujourd'hui, le coût des matières premières fait partie intégrantes des points sur lesquels il faut réduire les dépenses. Pour le cas des aciers, outre l'utilisation de nouveaux matériaux qui sont souvent onéreux, il reste souvent à réduire la masse de matière utilisée pour réaliser une même pièce. Mais, pour les assemblages soudés entre autres, là ou avant le surplus de matière permettait de compenser les problèmes liés à la présence de contraintes résiduelles indésirables, les industriels ont désormais besoin de comprendre et de maîtriser ces phénomènes pour rester compétitifs. La simulation numérique répond de plus en plus aux besoins des industriels, elle est complémentaire aux méthodes expérimentales de mesures de contraintes résiduelles qui sont coûteuses et souvent destructives. L'un des points négatifs de la simulation est le temps de calcul qui est généralement conséquent et devient alors un temps mort trop important pour les industriels. C'est pourquoi des méthodes sont développées depuis plusieurs années afin de rendre plus efficace les calculs numériques.

Plusieurs techniques ont été étudiées pour réduire les temps de calculs numériques. La taille du maillage étant un des premiers éléments à intervenir dans le temps de calcul, plusieurs méthodes proposant des remaillages dynamiques ont été étudiées par Nastroom et al. [1], Lindgren et al. [2], Runnemalm and Hyun [3], Duranton et al. [4]. Ces méthodes permettent d'obtenir de bons résultats, en réduisant le temps de calcul d'au moins 50%.

L'utilisation d'un maillage 3D pour une étude numérique de soudage est la plus part du temps plus précise par rapport à un calcul 2D compte tenu des phénomènes propres au soudage qui interagissent dans les 3 directions de l'espace. Cependant ce dernier est bien plus petit en taille et permet donc de réduire drastiquement les temps de calcul. D'autres méthodes s'attachent donc à combiner des calculs 2D et 3D pour apporter la précision du 3D et le gain de temps du 2D. Plusieurs études ont montré que l'utilisation de cette méthode 2D/3D dans des cas de simulation de soudage une passe permet d'obtenir de bon résultat en terme de précision sur les contraintes résiduelles.

Parmi elles, Darlesson A. et Alfredo R. [5] ont montré que le calcul 2D, le calcul 3D et l'expérience montrent des résultats semblables sur les contraintes résiduelles. Jichao S. et Zhen C. [6] ont montré que les résultats thermiques et mécaniques du calcul 2D d'un joint soudé en T sont très proches de ceux effectués par le calcul 3D. Le gain de temps est proche de 40%.

La méthode Simplified Moving Source a déjà été testée dans le cas de cordon de soudure une seule passe axisymétrique par E. Cottier et al. [7]. La méthode SMS a permis de réduire le temps de calcul de 67% par rapport au calcul pas à pas de référence. Les cinétiques thermiques en un point ont été retrouvées fidèles au calcul pas à pas, ainsi que les contraintes résiduelles.

En comparaison au soudage une seule passe, le soudage multi-passes engendre des phénomènes complexes notamment dû aux effets thermiques cycliques. Ces phénomènes sont plus compliqués à reproduire en simulation numérique. De plus, certaines méthodes qui permettent de réduire les temps de calculs qui fonctionnent en soudage une passe, ne fonctionne plus lorsque la méthode est appliquée à un cas de soudage multipasses.

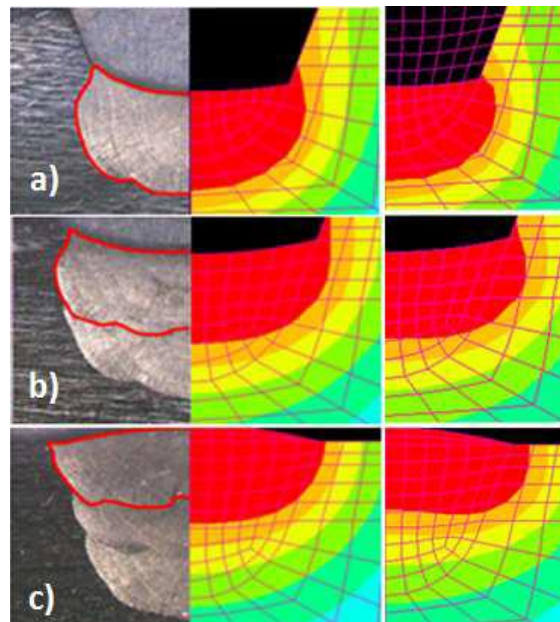


Figure 1 – Zone fondue observée par macrographie à gauche, obtenue dans le calcul 2D au centre, et obtenue dans le calcul 3D à droite, a): cordon 1, b): cordon 2, c): cordon 3

2. Simplified Moving Source

L'objectif est de montrer que la méthode employée permet de trouver de bons résultats en soudage multi-passes. Dans ces travaux la méthode SMS est étendue dans le cas d'un soudage trois passes.

Le principe de la méthode est de conserver la source de chaleur 3D dans les zones de début et de fin de soudage, et de reprendre cette source de chaleur pour chauffer simultanément toutes les mailles du cordon entre les zones de début et de fin de soudage. Dans la zone centrale du cordon on considère les paramètres de soudage comme étant constants. Pour retrouver une zone fondue similaire au calcul pas-à-pas dans la zone centrale, la source de chaleur est multipliée par un certain coefficient.

Le temps de calcul gagné est proportionnel à la longueur des cordons simulés et la méthode employée ici évite d'avoir à travailler le maillage de façon spécifique et permet de conserver l'utilisation du maillage 3D. La méthode proposée permet de retrouver les phénomènes thermiques (zone fondue, cinétiques thermiques) avec de bonnes précisions, ainsi que de bonnes corrélations avec l'expérimental concernant les contraintes résiduelles.

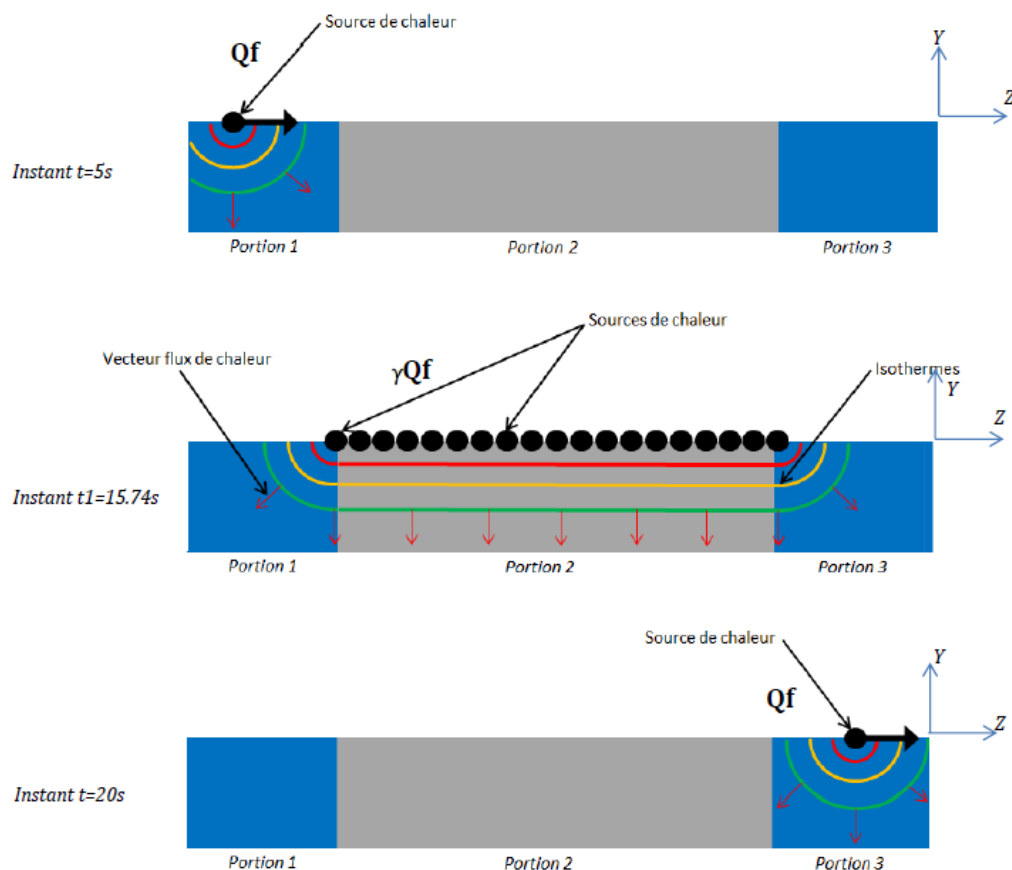


Figure 2 – Principe de la méthode

La méthode est comparée au calcul pas à pas de base 3 dimensions et est validée par plusieurs essais réels : macrographies, mesures de températures par thermocouples, et données expérimentales sur les contraintes résiduelles, qui sont comparés aux résultats issus de la simulation.

Références

- [1] M. Nastroom, L. Wikander, L.E. Karlson, J. Goldak, Combined 3D and Shell Element Modelling of Welding, IUTAM Symp. On the Mechanical Effects of Welding, Lulea, Sweden, 1991, pp. 10-14.
- [2] L.E. Lindgren, H Haggblad, J.M.A. McDill, Automatic Remeshing for Three-dimensional Finite Element Simulation of Welding, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 147 (1997) 401-409.
- [3] H. Runnemalm and S. Hyun, Three-dimensional Welding Analysis using an Adaptive Mesh Scheme, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 189 (2000) 515-523.
- [4] P. Duranton, J. Devaux, V. Robin, P. Gilles, J.M. Bergheau, 3D modelling of multipass welding of 316L stainless steel pipe, *J. Mater. Process. Technol.* 153-154 (2004) 457-463.
- [5] Darlesson A. et Alfredo R, A 2D finite element with through the thickness parabolic temperature distribution for heat transfer simulations including welding. *Finite Elements in Analysis and Design* 93 (2015) 85–95.
- [6] Jichao Shen et Zhen Chen. Welding simulation of filletwelded joint using shell elements with section integration. *Journal of Materials Processing Technology* 214 (2014) 2529–2536.
- [7] E. Cottier, P. Anglade, A. Brosse and E. Feulvarch. Fast 3D simulation of a single pass steel girth weld. *Mechanics & Industry* 17, 401 (2016).
- [8] Goldak J, Chakravati A, Bibby M. A new finite element model for welding heat sources. *Metall Trans* 1984; 15B:299-305.
- [9] L. Depradeux, R. Coquard, Influence of viscoplasticity, hardening, and annealing effects during the welding of a three-pass slot weld (NET-TG4 round robin). *International Journal of Pressure Vessels and Piping* (2017)1-16.
- [10] S. sarkani, V. Tritchkov, G. Michaelov, An efficient approach for computing residual stresses in welded joints. *Finite Elements in Analysis and Design* 35 (2000) 247-268.