

# Optimisation de structures en acier de hautes performances pour le secteur automobile : le laboratoire commun FuseMetal, un exemple de partenariat académique/industriel

M. Risbet<sup>1</sup>, F. Schmit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de technologie de Compiègne, Laboratoire Roberval, Compiègne, France

<sup>2</sup>ArcelorMittal France, Global R&D, Montataire, France

marion.risbet@utc.fr

**Abstract – Le récent développement de nuances d'acier à haute résistance (AHSS) permet d'assurer la sécurité des structures automobiles tout en répondant aux préoccupations de leur allègement. L'utilisation de ces matériaux peut être étendue grâce à des avancées technologiques et scientifiques liées à l'assemblage des pièces de la structure des véhicules. Le laboratoire commun FuseMetal, issu de la réunion de chercheurs du laboratoire Roberval de l'UTC et du centre Global R&D d'ArcelorMittal France, développe donc des projets autour de l'opportunité que représente l'usage des aciers dits de « 3ème génération », et du potentiel que représente l'utilisation de la technique de fabrication additive pour les aciers et leurs applications.**

**Keywords: Aciers à haute résistance, fabrication additive métal, assemblage, structures automobiles.**

## I. INTRODUCTION

L'allègement des structures est une préoccupation constante des industries de la mobilité et notamment de l'industrie automobile. Pour des véhicules à propulsion thermique, cette quête d'allègement se justifie par la nécessité de réduction de la consommation de carburant d'origine fossile, et par là-même des émissions de CO<sub>2</sub> et de particules nocives. Les véhicules électriques à structure allégée verront, eux, leur autonomie accrue. Paradoxalement à cette recherche d'allègement de leur structure, la masse globale des véhicules ne cesse d'augmenter, par le développement de modèles plus grands (type SUV) et l'équipement électronique toujours plus sophistiqué proposé par les constructeurs. Les modèles électriques, qui embarquent des packs de batteries massifs, n'y font pas exception [1].

Plusieurs options s'offrent aux constructeurs dans leur stratégie de choix de solutions d'allègement. Dans tous les cas, ces solutions doivent respecter des cahiers des charges très précis concernant la performance et la sécurité de la structure du véhicule, notamment en cas de choc (les crash-tests, connus du grand public).

Nous nous intéresserons ici aux possibilités offertes par des nuances d'acier à haute résistance (AHSS) dans le but d'assurer la sécurité des structures (caisse en blanc) automobiles.

L'utilisation de ces matériaux peut être étendue grâce à des avancées technologiques et scientifiques liées à l'assemblage des pièces de la structure des véhicules. Ce thème de recherche a conduit à la création du laboratoire commun FuseMetal entre le laboratoire Roberval de l'UTC et le centre de recherche Global R&D Montataire d'ArcelorMittal.

Quelques éléments sur les thématiques étudiées dans le cadre de cette collaboration seront présentés.

## II. UTILISATION DES ACIERS A HAUTE RESISTANCE POUR LES STRUCTURES AUTOMOBILES : LES OPPORTUNITES

Le recours à de nouveaux aciers et notamment aux aciers pour emboutissage à chaud est une solution techniquement et économiquement performante. Ces aciers dits de « troisième génération » permettent de réduire l'épaisseur des pièces mécaniques, donc leur masse, tout en préservant, voire en améliorant leurs prestations mécaniques en termes de sécurité et de durabilité [2]. Comparé aux matériaux concurrents, ces solutions en aciers de haute résistance (jusqu'à 2000 MPa) ont l'avantage d'être compatibles avec les outils industriels actuels de la filière automobile, ce qui facilite une introduction rapide.

La composition chimique et les propriétés physiques de ces nouveaux aciers et les nouveaux revêtements utilisés rendent cependant plus complexes certains assemblages par les procédés de soudage habituellement utilisés pour fabriquer les carrosseries (soudage par points, soudage laser, soudage à l'arc). Par exemple, pour certains assemblages dissimilaires, ArcelorMittal a constaté le besoin de mieux maîtriser le mélange des deux aciers et de leur revêtement avec certains procédés, ou la fusion d'un acier par rapport à l'autre, ou encore de mieux contrôler la diffusion du revêtement liquide dans le substrat [3]. Dans les cas contraires, des phases métallurgiques particulières peuvent se former aux interfaces conduisant à une dégradation des performances mécaniques. Ces verrous techniques se doivent donc d'être étudiés de manière approfondie pour profiter pleinement des opportunités offertes par ces nouveaux matériaux.

De plus, certains de ces matériaux sont mis en forme par emboutissage à chaud et nécessitent des outils de mise en forme

complexes qu'il faut pouvoir développer rapidement pendant la phase de conception. Or la conception et la réalisation d'un outillage de mise en forme, tel que les outils d'emboutissage, par des procédés classiques (usinage), est un processus long, coûteux et très consommateur en matériaux et en énergie. Dans le cas de l'emboutissage à chaud par exemple, l'outil doit être refroidi à l'aide de canaux qui sont usinés par forage profond, difficile à réaliser et très consommateur en ressources (matériau, huile de lubrification...). Ces outillages coûteux et longs à réaliser sont généralement produits à quelques exemplaires voire à l'unité. Par conséquent, la fabrication additive, mode de fabrication dédié historiquement à la réalisation de prototype, peut constituer une solution alternative de premier choix [4].

Cependant, la littérature scientifique et technique, très abondante sur ce procédé de fabrication depuis une dizaine d'années, souligne la contrainte scientifique liée à la forte relation entre le procédé de fabrication additive et les propriétés du matériau obtenu [5]. En effet la morphologie et les propriétés du matériau obtenu sont fortement liées aux transformations métallurgiques qui dépendent des échanges thermiques locaux, dépendant eux-mêmes de la géométrie de la pièce réalisée (un outil par exemple). ArcelorMittal s'attache à développer des outils prédictifs validés pour mieux prédire le cycle thermique, piloter le procédé et fournir une aide à la fabrication des poudres (optimisation de la composition chimique). Toutefois, il y a un vrai manque de recul scientifique, en particulier pour ce qui concerne la maîtrise des liens entre la métallurgie des poudres et les propriétés des pièces, ou la compréhension des liens entre paramètres du procédé et état microstructural dans le cas de la mise en œuvre des aciers en fabrication additive.

### III. LE LABORATOIRE COMMUN FUSEMETAL

Le laboratoire commun FuseMetal est né de la volonté conjointe d'acteurs du laboratoire Roberval de l'UTC et du centre de recherches Global R&D Montataire d'ArcelorMittal d'unir leurs forces afin d'aborder ces thématiques de recherche technologique. Les chercheurs des équipes Matériaux et Surface, et Mécanique Numérique, de Roberval travaillent de longue date avec le centre de Montataire, spécialisé dans les applications automobiles, ce qui a permis de structurer un collectif de recherche d'environ 35 personnes. Le laboratoire commun FuseMetal a donc été officiellement créé en avril 2019, une opportunité s'étant présentée en 2018 de répondre conjointement à un appel à projet Equipe mixte de recherche lancé par la région Hauts-de-France.

Les projets développés dans le laboratoire FuseMetal s'articulent autour de deux thématiques.

1/ l'opportunité que représente l'**usage des aciers dits de « 3ème génération »**, de compositions chimiques et de

microstructures très élaborées, ce qui complexifie leur soudabilité et la tenue mécanique des assemblages. Jusqu'à présent, ces difficultés peuvent souvent être contournées par une adaptation des paramètres de soudage ou par des traitements complémentaires réalisés lors de l'opération d'assemblage. Les approches exclusivement empiriques ne permettent pas d'exploiter pleinement le potentiel de ces nouveaux aciers.

Cela montre l'intérêt des démarches scientifiques prenant en compte l'ensemble des phénomènes physiques intervenant lors du soudage de ces aciers.

L'objectif de cette thématique est donc de déterminer des conditions d'assemblage optimales des aciers hautes performances en établissant les relations entre les paramètres du procédé, la microstructure de la soudure et sa tenue mécanique avec une approche couplée associant des travaux expérimentaux, la modélisation physique et la simulation numérique.

Les travaux de recherche menés visent à :

- (i) Identifier les transformations métallurgiques intervenant lors du soudage, et modéliser les phénomènes intervenant lors de la solidification, en prenant en compte les paramètres du procédé d'assemblage, la nature des aciers assemblés et des revêtements
- (ii) Identifier des lois de comportement mécanique et des critères de rupture de la soudure et des zones affectées thermiquement, dans le but de prévoir la tenue de la structure soudée.

2/ le potentiel que représente **l'utilisation de la technique de fabrication additive pour les aciers et leurs applications.**

Un des objectifs de ce thème est d'évaluer les potentiels de la fabrication additive pour réaliser des outils d'emboutissage. Il s'agit de développer une procédure unifiée de conception des gammes de mise en forme, combinant la modélisation du procédé de mise en forme à l'optimisation topologique, pour concevoir l'outillage optimal. Cette procédure permet de s'affranchir des contraintes imposées par l'usinage et en tenant compte des contraintes qu'impose la fabrication additive. Cette méthode de conception est éprouvée sur des prototypes d'outils pour valider la viabilité des solutions en termes de conformité géométrique et de tenue des outillages.

Pour atteindre ce premier objectif, il faut progresser dans la connaissance scientifique liée à la forte relation entre le procédé de fabrication additive et les propriétés du matériau obtenu. En effet la morphologie et les propriétés du matériau obtenu sont fortement liées aux transformations métallurgiques qui dépendent des échanges thermiques locaux, dépendant eux-mêmes de la géométrie de l'outil.

Compte tenu de la complexité du procédé et du nombre de paramètres, la maîtrise du procédé passe par le recours à des analyses expérimentales, des analyses très fines des matériaux obtenus et des modèles prédictifs pour éviter une démarche essai-erreur trop coûteuse.

Pour cela, les travaux de recherche doivent progresser dans :

- (i) L'identification expérimentale des liens entre paramètres procédés, cycles thermiques et transformations métallurgiques lors de la fabrication additive des aciers
- (ii) Le développement d'une approche numérique multiphysique en tenant compte de la complexité du procédé et du nombre de paramètres

Ces 2 thématiques nécessitent d'associer des compétences à la fois en termes d'expérimentation sur les matériaux et de simulation numérique, compétences qui sont rassemblées dans le laboratoire commun.

#### IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les travaux, menés dans le cadre de cette collaboration étroite entre laboratoire de recherche académique et centre de recherche industriel, contribuent donc à apporter des réponses techniques aux difficultés d'assemblage des aciers de très haute résistance destinés au marché automobile. C'est un point clef pour garantir un haut niveau de sécurité exigé par les constructeurs automobiles. Ces recherches conduisent également à des apports intéressants sur l'utilisation de la fabrication additive pour les outils de mise en forme, basés sur une compréhension approfondie des processus multiphysiques intervenant lors de la fabrication.

La mise au point de solutions acier pour des structures automobiles fait l'objet de développements incessants, technologiques, en phase avec les enjeux environnementaux actuels. La facilité de recyclage de ce matériau lui confère un avantage indéniable par rapport aux autres matériaux de basse densité souvent mis en avant pour l'allègement des structures. Augmenter la part d'acier recyclé et développer des procédés de réduction du minerai de fer sans recours au charbon, donc sans émissions de CO<sub>2</sub>, sont des enjeux décisifs pour l'industrie sidérurgique. L'adaptation des moyens d'assemblage et de mise en forme à ces nouvelles nuances d'acier serait une thématique intéressante et pourrait faire l'objet de travaux futurs au sein de ce collectif de recherche.

#### REMERCIEMENTS

Le laboratoire commun FuseMetal bénéficie du soutien financier de la société ArcelorMittal France et de l'Université de Technologie de Compiègne. Ce projet est cofinancé par les

Fonds Européen pour le développement Régional (FEDER) opéré par la Région Hauts-de-France.

Les auteurs remercient l'ensemble des membres du laboratoire commun, et tout particulièrement les jeunes chercheurs de FuseMetal, doctorantes et doctorants, jeune docteure et ingénieurs de recherche (H. Lejault, A. Vasconcelos de Moreira, M. Meireles, E. Champolivier, G. Dali, D. Yu, V. Lafilé et M. Bhattacharyya) et leurs encadrants (S. Gaied, C. Alvarez, B. Sarre, A. Blaise, G. Brun, P. Feissel, M. Rachik, D. Brancherie, J. Marteau, J. Favergeon, P. Breitkopf, et M. Dal du laboratoire PIMM, Ensam Paris).

#### REFERENCES

- [1] B.O. Ducreux, N. Dore, Avis de l'ADEME : Voitures électriques et bornes de recharges, ADEME, Collection Expertises, Réf. 012013, 2022.
- [2] C.D. Horvath, Chapter 2 - Advanced steels for lightweight automotive structures, Editor(s): P.K. Mallick, In Woodhead Publishing in Materials, Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles (Second Edition), Woodhead Publishing, 2021, Pages 39-95. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818712-8.00002-1>
- [3] L. Gouton, M. Risbet, P. Feissel, J. Favergeon, S. Gaied, Multiscale characterization of the hot-stamped laser welded bunks solution ICALEO, 35th international congress on Applications of Lasers and Electro-optics, San Diego, USA, 2016. <https://doi.org/10.2351/1.5118591>
- [4] D. Chantzis, X. Liu, D.J. Politis, O. El Fakir, T.Y. Chua, Z. Shi, L. Wang, Review on additive manufacturing of tooling for hot stamping, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 109 (1-2), (2020), pp. 87 - 107, <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05622-1>
- [5] D. Svetlizky, B. Zheng, A. Vyatskikh, M. Das, S. Bose, A. Bandyopadhyay, J. M. Schoenung, E. J. Lavernia, N. Eliaz, Laser-based directed energy deposition (DED-LB) of advanced materials, Materials Science and Engineering: A, Volume 840, 2022, 142967, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.142967>.