



*Opérateur effectuant le chargement d'une cathode dans la cellule robotisée.*

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES CANADA

## SOUDAGE PAR FRICTION-MALAXAGE ROBOTISÉ : DU LABORATOIRE À LA PRODUCTION INDUSTRIELLE

PAR GAIL COMEAU, SIMON LAROSE, BRUNO MONSARRAT ET PRITI WANJARA

Grâce à un partenariat avec le Conseil national de recherches Canada (CNRC), Groupe Tremblay a pu mettre en production dans ses locaux, à l'automne 2014, une cellule automatisée pour la réparation ou le recyclage de cathodes d'aluminium utilisées par l'industrie minière dans le processus d'affinage du zinc. Au cœur de cette cellule se trouvent des technologies développées par le CNRC pour le domaine aérospatial, ouvrant aussi la voie au déploiement à grande échelle du soudage par friction-malaxage (SFM) robotisé au Canada.

Depuis maintenant près de 15 ans, des experts du laboratoire de Structures, matériaux et fabrication du CNRC à Montréal travaillent à repousser les limites du SFM et à faciliter son implantation industrielle dans les entreprises manufacturières canadiennes. L'équipe multidisciplinaire du CNRC s'est ainsi

appliquée à développer les technologies qui permettraient de réaliser le SFM à moindre coût à l'aide de robots sériels industriels. Objectif relativement simple à atteindre pour le soudage robotisé de petites éprouvettes dans un environnement de laboratoire... mais autrement plus compliqué pour le soudage de pièces complexes dans un environnement industriel à haute productivité. La cellule de SFM robotisé chez Groupe Tremblay n'aurait pu être mise en production sans un certain nombre de développements technologiques clés réalisés initialement par les experts du CNRC pour l'assemblage de composants aéronautiques.

### Logiciel de conception cinétostatique.

Le premier défi associé à l'utilisation d'un robot sériel industriel

pour la réalisation du SFM est relié à sa « capacité cinétostatique ». Contrairement à une machine à commande numérique, la capacité de charge d'un robot varie dans son espace de travail en fonction de la position et de l'orientation respectives de chacune des membrures du robot. Cela peut devenir critique pour le SFM, procédé qui nécessite des forces nettement plus élevées que les procédés de soudage conventionnels. Les experts du CNRC ont, par conséquent, développé un logiciel de simulation innovant afin de générer automatiquement une cellule de SFM robotisé dont le design a été optimisé pour effectuer l'assemblage de pièces 3D complexes. Cet outil logiciel permet donc de réduire les risques associés à l'acquisition et à l'implantation d'une cellule de SFM robotisé... et, en particulier, le risque d'implanter une cellule de SFM robotisé qui se révélerait inapte à exécuter la tâche souhaitée. Les différents composants

de la cellule de SFM chez Groupe Tremblay ont été sélectionnés et positionnés les uns par rapport aux autres en utilisant ce logiciel.

## Contrôle en temps réel.

L'élasticité notable des joints des robots sériels industriels, combinée avec les forces élevées nécessaires au SFM, conduit typiquement à des erreurs sur la position et l'orientation des outils de SFM, ce qui est susceptible de dégrader considérablement la qualité des soudures produites. Le CNRC a, en conséquence, développé un module de gestion de la précision des trajectoires du robot afin de compenser ces erreurs. Ce module met en œuvre un modèle temps-réel du comportement du robot sous charge, calibré en utilisant une méthode innovante brevetée par le CNRC. Dans le cadre du projet avec le Groupe Tremblay, ce modèle a été adapté afin de prendre en compte le rail robotique ainsi que les déformations internes de l'effecteur de soudage. Un second module, basé sur le même modèle, permet de gérer le régime transitoire du procédé et, en particulier, de contrôler de façon précise et sans à-coups le robot lors de l'entrée et de la sortie matière. Finalement, un ensemble de fonctions permet de réguler en temps réel le comportement du système de SFM robotique, assurant un grand degré de robustesse aux opérations de production.

## Table de bridage automatisée.

Une table de SFM ergonomique, complètement automatisée a été conçue et fabriquée pour Groupe Tremblay afin de positionner et de brider de façon autonome, rapide et précise les cathodes d'aluminium, malgré leurs variations dimensionnelles intrinsèques, permettant ainsi de répondre aux requis de productivité et de qualité du SFM robotisé dans un environnement industriel.

## Mise au point d'un procédé de SFM robuste.

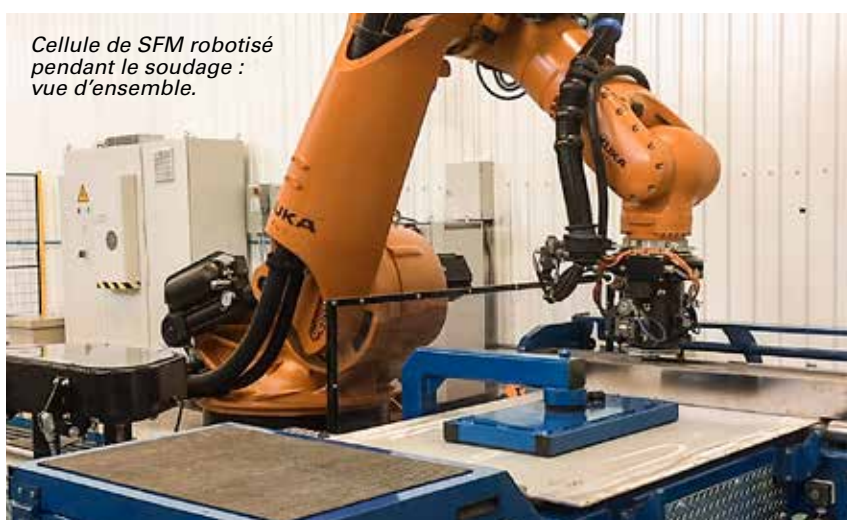
La mise au point d'une procédure de SFM robotisé pour la réparation des cathodes d'aluminium chez Groupe Tremblay a également nécessité des développements importants de la part des experts en soudage du CNRC, qui ont travaillé en étroite collaboration avec les experts robotiques afin de bien tenir compte des particularités d'un système de SFM robotisé à toutes les étapes du développement. Les différentes phases de développement ont permis d'obtenir un ensemble d'outils et de paramètres de SFM, optimisé et à haute productivité, qui est tolérant aux variations dans les intrants – incluant l'épaisseur des cathodes et les alliages d'aluminium utilisés – et à l'intérieur

de la capacité de charge du robot industriel choisi. La robustesse du procédé a été évaluée et améliorée à des niveaux suffisants pour permettre le déploiement industriel de la technologie. Par exemple, la durée de vie d'un premier ensemble d'outils a été évaluée, ce qui a mené à la sélection d'un matériau plus résistant à l'usure pour la fabrication des outils de SFM. En cours de route, la vie en service post-réparation des cathodes a été soumise à une évaluation, ce qui a permis de sécuriser le plan d'affaires et de mener au déploiement de la technologie dans les locaux de Groupe Tremblay.

## Conclusion.

Avec l'industrialisation réussie de la cellule de SFM robotisé, Groupe Tremblay a renforcé sa position de chef de file, dans l'industrie canadienne, de l'affinage des matériaux. De plus, la flexibilité de la cellule est telle qu'elle permet une ouverture de marché dans des secteurs comme le transport et l'aérospatiale, offrant conséquemment de très belles possibilités de croissance au Groupe Tremblay.

Le projet d'implantation du SFM robotisé chez Groupe Tremblay pour la réparation des cathodes d'aluminium ainsi que les principales innovations liées au projet ont été présentées à un congrès sur le SFM, en mai 2016, à Cambridge en Angleterre; ils ont suscité un très grand intérêt de la part de la communauté internationale du SFM. Pour plus de détails, le lecteur est invité à consulter l'article suivant: Monsarrat, B. et al. *Industrialization of Robotic FSW for Refurbishing of Aluminum Cathodes. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding*, Cambridge, Angleterre, 17 au 19 mai 2016. 🍷



Cellule de SFM robotisé pendant le soudage : vue d'ensemble.