

ASSEMBLER DES MATERIAUX DISSEMBLABLES

TROIS PROJETS DE RECHERCHE AXES SUR L'ASSEMBLAGE DE MULTIMATERIAUX

Les techniques d'assemblage thermique conventionnelles atteignent vite leurs limites techniques, quand des assemblages de matériaux multiples sont exigés. Différentes combinaisons de matériaux et épaisseurs ne cessent de compliquer l'assemblage robuste. Afin de répondre aux besoins actuels en matière d'assemblage de matériaux dissemblables, l'IBS a lancé trois projets de recherche qui se concentrent sur de tels assemblages.

Par Dr. Ir. Koen Faes et Ir. Irene Kwee – Institut Belge de la Soudure

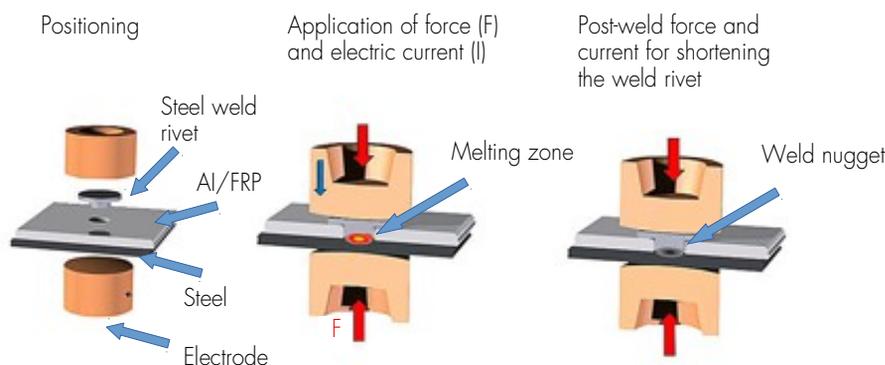


Figure 1: soudage par élément de résistance (source: Laboratory of Materials and Joining Technology, Université Paderborn)

L'agrafe de soudage est soudée à la tôle d'acier, positionnée sous la tôle d'aluminium. Le trou dans la tôle supérieure peut être réalisé par poinçonnage.

Cette technique est particulièrement adéquate pour l'aluminium, mais cette méthode peut occasionner des dégâts à la structure d'un plastique renforcé de fibres (par exemple délaminage).

Après poinçonnage, l'agrafe de soudage est placée dans le trou. Ensuite, les électrodes de l'appareil de soudage sont placées d'une part sur l'agrafe de soudage et d'autre part sur la tôle de base. La chaleur, générée par le passage de courant électrique, crée une lentille de soudage dans la zone de contact entre l'agrafe de soudage et la tôle de base.

Par l'augmentation de la force sur l'électrode, l'agrafe de soudage est comprimée dans le sens axial, ce qui résulte en un solide assemblage entre la tête de l'agrafe de soudage et la tôle supérieure.

La figure 2 montre un exemple de soudage par résistance avec élément de l'acier sur un plastique renforcé de fibre de carbone.

Soudage par friction avec élément

Ce qu'on appelle le soudage par friction avec élément, représente une excellente alternative pour l'assemblage de matériaux différents.

A l'instar du processus précédent, le soudage par friction avec élément combine des processus d'assemblage mécaniques et thermiques, et convient particulièrement aux assemblages multimatériaux constitués d'aluminium et de nuances d'acier.

Par analogie avec la technique de soudage précédente, cette pièce de raccord est soudée par friction

INTRODUCTION

La combinaison de matériaux classiques (acier de construction, aluminium) avec d'autres matériaux classiques (acier inoxydable), voire de nouveaux matériaux (composites, aciers haute résistance) offre aux concepteurs des solutions, là où un concept dans un seul matériau est défaillant. Une conception multimatériaux utilise un matériau aux propriétés optimales pour chaque sous-structure. La réalisation d'un bon rapport coût-efficacité de constructions légères dans l'industrie repose sur la disponibilité de technologies d'assemblage adéquates à haute fiabilité de processus pour combinaisons multimatériaux. La technologie d'assemblage joue dès lors un rôle important dans la réalisation de ce type de produits. Le développement systématique de méthodes d'assemblage est nécessaire pour résoudre l'incompatibilité métallurgique et thermique, comme c'est le cas pour les combinaisons acier-aluminium ou les composites en métal et renforcés de fibres.

PROJET INNOJOIN

Dans le projet européen Cornet 'INNOJOIN', l'assemblage thermique de matériaux en plaque dissemblables est étudié. Récemment, des développements se sont produits pour certains processus de soudage thermique, permettant de souder des matériaux dissemblables avec des techniques qui réclament relativement peu d'investissements et peuvent être implémentées aisément dans un processus de production existant.

Soudage par résistance avec élément

Le soudage par résistance conventionnel reste l'une des techniques d'assemblage les plus utilisées dans l'industrie automobile. Le soudage par résistance par points offre un bon rapport coût-efficacité et offre un haut niveau de fiabilité de processus. L'Université de Paderborn (LWV) a toutefois étendu le champ d'application de ce processus pour l'assemblage de l'acier et des alliages d'aluminium.

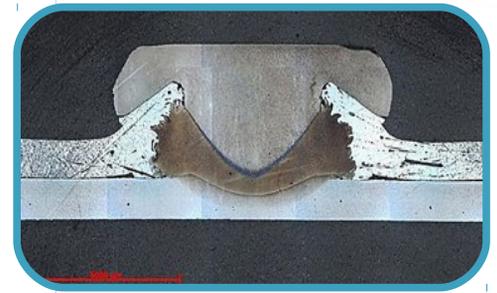
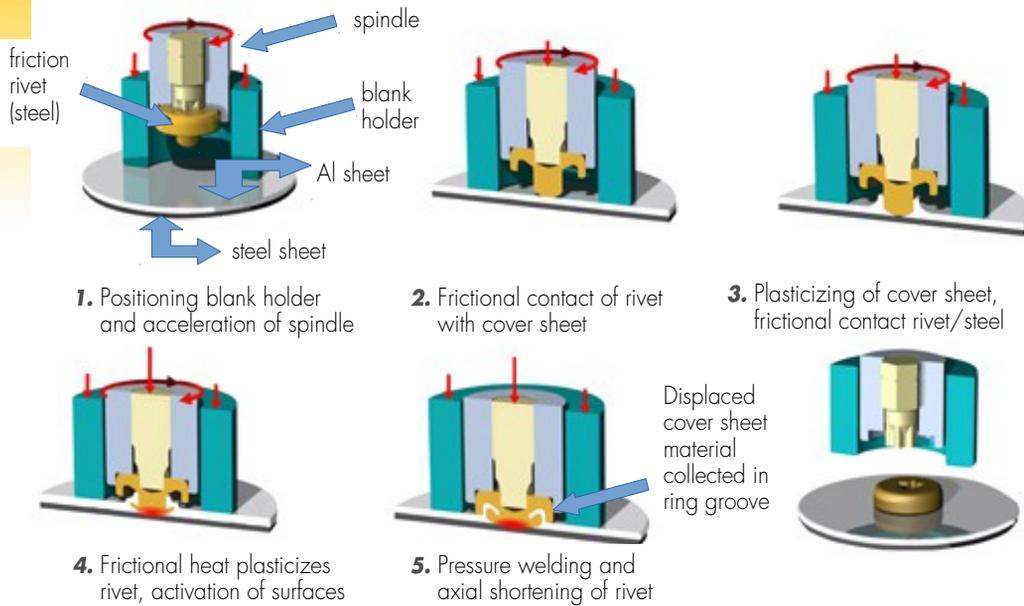
Ce qu'on appelle le soudage par résistance avec élément, comme illustré schématiquement dans la figure 1, utilise un matériau d'apport, dénommé agrafe de soudage.

Dans le soudage de l'aluminium sur l'acier, l'agrafe de soudage en acier est placée dans une perforation de la tôle d'aluminium.



S235
EN AW-6016
(1,5 mm)
22 MnB5
(2,0 mm)

Fig. 2: soudage par résistance avec élément de l'acier sur l'aluminium (source: Laboratory of Materials and Joining Technology, Univ. Paderborn)



Figures 3 et 4: soudage par friction avec élément (source: Laboratory of Materials and Joining Technology, Université Paderborn, et le projet EJOWELD)

à une autre tôle (à travers la tôle supérieure). Cependant, contrairement au soudage par résistance avec élément et en fonction du choix de matériau, l'assemblage peut être réalisé sans poinçonnage préalable de la tôle supérieure. La **figure 3** montre le principe de fonctionnement sans poinçonnage préalable. Diverses combinaisons de matériau sont possibles, vu que le processus de soudage par friction autorise l'assemblage d'un large éventail de matériaux dissimilaires. La phase de friction débute par le contact de l'élément de soudage et de la tôle du fond, et réclame la plus grande partie du temps de processus. La combinaison de la chaleur de friction entre l'élément et la tôle du fond ainsi que les forces axiales élevées provoquent la formation de bavures de soudage caractéristiques autour de l'élément de friction qui s'accompagne du raccourcissement de l'élément. Après avoir atteint un certain raccourcissement ou temps de soudage, l'élément de friction rotatif est freiné, voire immobilisé, et une force de fusion axiale supérieure est appliquée. L'élément de friction est comprimé et résulte non seulement en un solide assemblage entre l'élément et la tôle du fond, mais aussi entre l'élément et la tôle supérieure (assemblage de forme). La **figure 4** illustre un assemblage obtenu au moyen du soudage par friction avec élément.

recule et l'ergot pousse le matériau plastique dans la zone de soudage pour créer l'assemblage. La **figure 7** illustre un assemblage de l'aluminium sur l'acier, obtenu par le soudage friction spot.

Soudage par impulsion électromagnétique de la tôle

Le soudage par impulsion électromagnétique est un processus d'assemblage nouveau et novateur. La technique de soudage recourt aux forces électromagnétiques pour déformer et souder les pièces. Ce procédé comporte la possibilité de réaliser des assemblages entre des métaux et alliages très différents, qui sont difficiles à assembler avec les procédés de soudage par fusion conventionnels. C'est une technique de soudage automatique, qui peut être utilisée pour assembler des pièces tubulaires ou en forme de plaque dans la configuration à chevauchement. Le soudage par impulsion magnétique fait partie du groupe des processus de soudage par pression. Dans ces processus de soudage, une liaison métallique peut être réalisée entre deux surfaces en les comprimant l'une contre l'autre. Le soudage par impulsion magnétique est un processus de soudage par pression

dans lequel la déformation s'opère à une très haute vitesse, tout comme dans le soudage par explosion. La force explosive est cependant générée de façon sûre, à savoir via une bobine à injection. Les forces de pression magnétiques sont produites par la décharge d'une grande quantité d'énergie électrique à travers la bobine pendant un très court délai (impulsion). Le soudage par impulsion magnétique permet de souder un matériau en tube et en plaque, en fonction de la bobine utilisée. La **figure 8** illustre un exemple de soudage par impulsion électromagnétique de l'aluminium sur une tôle en cuivre.

Soudage par ultrasons

Le soudage par ultrasons est un processus de soudage 'solid state' en vertu duquel un assemblage est réalisé par une émission locale d'énergie vibratoire à haute fréquence. Les pièces sont maintenues ensemble par une force statique assez faible. L'embout de la sonotrode est en contact direct avec l'une des pièces à souder. L'autre pièce est fixée à l'enclume de manière à ne pas bouger durant le soudage. Le système pilote de petits mouvements linéaires et cycliques vers l'embout de la sonotrode

(**figure 9**), ce qu'on appelle les vibrations ultrasoniques. Ces vibrations font en sorte que la cartouche cannelée de la sonotrode est enfoncée dans la pièce supérieure, ce qui fait que l'énergie ultrasonique peut effectivement être transférée vers l'interface de soudage. Dès lors, la sonotrode et la pièce supérieure vibrent avec la même phase et amplitude. Ces vibrations créent une chaleur de frottement entre les matériaux à souder. Ceci fait que les matériaux deviennent plastiques, ce qui permet au composant supérieur de se lier aisément au composant inférieur. Pour cette raison, il se crée un assemblage à l'endroit où l'embout de la sonotrode accroche. Pour les métaux, le processus est constitué de deux phases en général: d'abord, les couches d'oxyde des surfaces métalliques sont éliminées de manière à obtenir un contact direct entre les parties métalliques. Ensuite, les atomes peuvent se lier dans la zone de contact. Le soudage par ultrasons peut être exécuté sur une grande diversité de métaux et de plastiques. Les principales variantes sont le soudage par points à ultrasons et le soudage par aiguilles sur rouleaux.

SOUDAGE FRICTION SPOT

La **figure 5** montre le principe de fonctionnement du soudage friction spot, en vertu duquel une enveloppe (sleeve) est mise en rotation. L'enveloppe pénètre la tôle supérieure et en partie la tôle du fond. Le matériau est rendu plastique et aboutit dans l'espace à l'intérieur de l'enveloppe. L'ergot se déplace ainsi vers le haut. Dans une profondeur de pénétration suffisante, l'enveloppe en rotation

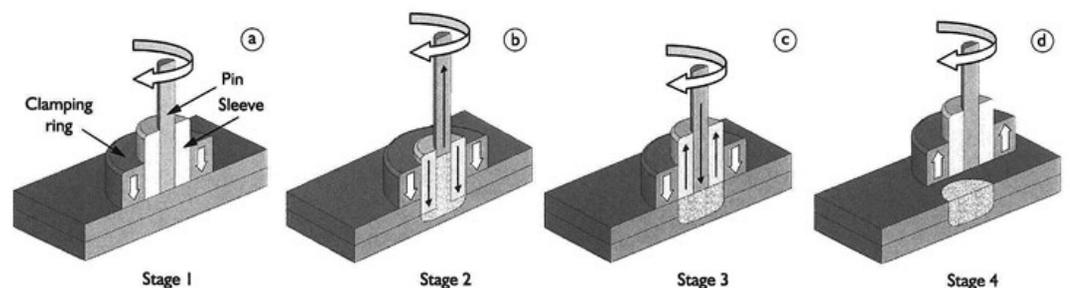


Figure 5: soudage friction spot (source: Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Allemagne)

Dans le soudage par points à ultrasons, on utilise couramment un système muni d'une sonotrode latérale. Si un couple de pliage est appliqué sur cette sonotrode, une force statique se créera sur les pièces, ce qui les fixe. Par ce serrage, l'embout de la sonotrode est en contact avec la pièce à souder supérieure. La **figure 10** montre un exemple d'une soudure par points à ultrasons de l'aluminium sur l'aluminium.

Dans le soudage par aiguilles sur rouleaux, on utilise une sonotrode cylindrique qui avance en roulant sur le matériau.

La grande différence par rapport au soudage par points à ultrasons est que la sonotrode peut avancer. De cette manière, on ne soude pas en un seul point, mais en un long cordon.

But d'InnoJoin

Outre les techniques de soudage décrites plus haut, on aborde aussi le soudage friction stir, le soudage laser et le soudage par résistance avec bande de processus. Toutes ces technologies seront validées pour trois combinaisons de matériaux. Les processus seront étudiés de façon structurée pour un certain nombre de combinaisons de matériaux et de produits industriels représentatifs, tout comme l'étude des avantages et désavantages des techniques. Ceci générera des connaissances systématiques et fiables relatives à l'applicabilité de ces processus prometteurs pour des applications industrielles.

Le projet InnoJoin comprend un large éventail de technologies de soudage, fournies par le consortium IBS, KU Leuven - Campus De Nayer, CEWAC, SLV (Halle, Allemagne), et LWF (Paderborn, Allemagne), tout comme un large éventail de matériaux, si bien que des solutions novatrices pour applications industrielles peuvent être attendues. Les partenaires mettront aussi à profit leurs connaissances spécifiques des méthodes d'essai destructives et non-destructives pour générer des résultats comparables, pertinents et corrects.

PROJET MECHJOIN

Le projet 'MECHJOIN' traite de l'assemblage mécanique de matériaux ayant une ductilité limitée.

Des matériaux légers sophistiqués, comme des alliages d'aluminium et de magnésium à haute résistance, sont utilisés dans un éventail de plus en plus grand d'applications dans le secteur du transport, la construction de machines et d'appareils, et dans les produits métalliques.

Contrairement à l'acier, le soudage thermique de ces matériaux est problématique, étant donné que la résistance statique et la résistance à la fatigue des assemblages ainsi que du matériau de base sont attaquées.

Il existe donc un besoin de techniques d'assemblage plus adaptées avec un faible apport



Figure 9: sonotrode dans le soudage par points à ultrasons (source: Institut Belge de la Soudure)

de chaleur pour relier ces matériaux de façon qualitative.

L'accent dans cette étude repose sur l'application de deux des techniques d'assemblage mécaniques et donc 'froides' les plus importantes, à savoir le sertissage et le rivetage autopoisonnant, pour les matériaux légers à haute résistance. Les **figures 11** et **12** illustrent les assemblages obtenus par respectivement le sertissage et le rivetage autopoisonnant. L'étude étudiera aussi des assemblages hétérogènes, comme des matériaux légers en combinaison avec p.ex. les aciers. Le principal problème est que les matériaux à haute résistance ont une ductilité limitée, tandis que ces processus provoquent de très grands étirements locaux. Par conséquent, l'assemblage de ces

matériaux s'accompagne d'ordinaire de déchirures introduites pendant le processus d'assemblage. Pour l'assemblage mécanique de ces matériaux légers à haute résistance, des études de mécanique de rupture complexes sur le comportement à la rupture sont nécessaires, à cause de leur ductilité limitée. Plus précisément, l'influence des déchirures introduites pendant le processus d'assemblage sur les propriétés finales de l'assemblage est étudiée.

Chercheurs

Ce projet sera réalisé comme une collaboration entre l'IBS, KU Leuven - Campus Gent (auparavant KaHo Sint-Lieven), Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology (Chemnitz, Allemagne), Technische Universität de Dresde (Allemagne) et l'EFB (Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung, Hanovre, Allemagne).

PROJET METALMORPHOSIS

Le 7^e projet-cadre européen 'MetalMorphosis' se concentre sur la réalisation de nouveaux composants hybrides métal-composite pour l'industrie automobile, via la technologie à impulsion électromagnétique. Le besoin de nouveaux composants hybrides métal-composite pour l'industrie automobile pose de grands défis relatifs aux assemblages entre différents types de matériau. C'est le moteur derrière le projet de recherche MetalMorphosis, en cours actuellement dans l'IBS en collaboration avec huit partenaires européens. L'objectif global du projet MetalMorphosis est le développement d'une série de nouveaux composants hybrides métal-composite destinés à l'industrie automobile, via la technologie d'impulsion électromagnétique innovante. Cette technologie peut être utilisée pour assembler des métaux dissemblables. Dans ce projet, le champ d'application

Figure 8: soudage par impulsion électromagnétique de l'aluminium sur tôle en cuivre (source: Institut Belge de la Soudure)

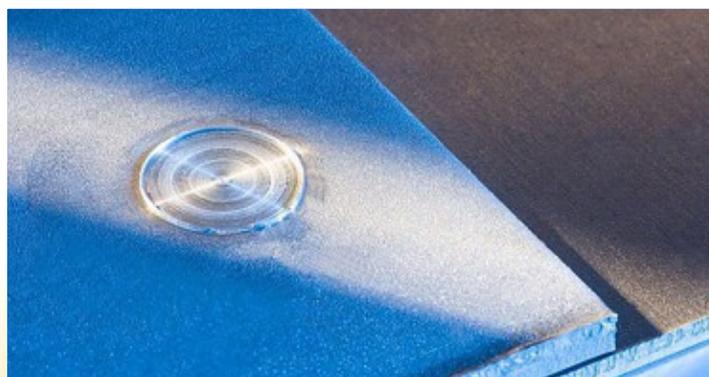
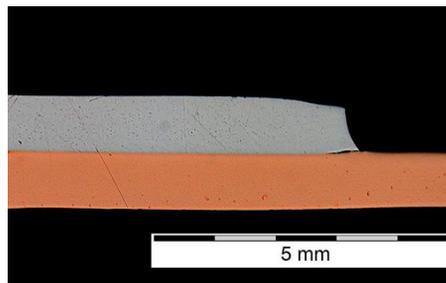
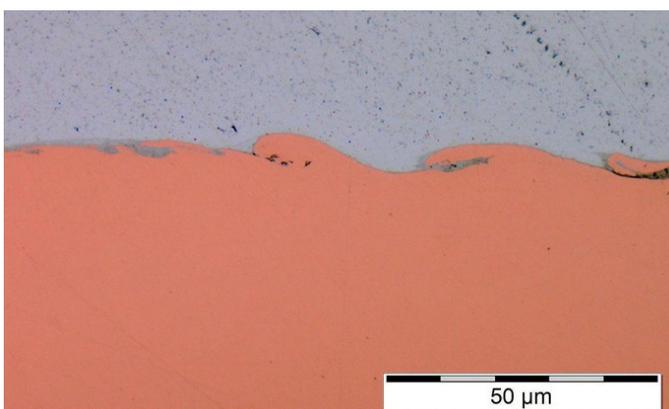


Fig. 7: soudage friction spot de l'aluminium sur l'acier (source: Riffec GmbH, Allemagne)



Figure 6: soudeuse friction spot

