

Montpellier



Sommaire

- [13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage](#) (n=42)
- [Index des auteurs](#)

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

00012

Renforcement en flexion des poutres rectangulaire en béton armé par collage externe des plaques en matériaux composites

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

T. Hassaine Daouadji ¹, R. Benferhat ², H. Lazreg ².

¹Université Ibn Khaldoun - Tiaret (Algérie), ²Université Hassiba Benbouali de chlef - Tiaret (Algérie).

La technique de renforcement et/ou de réparation des ouvrages en béton armé par collage de matériaux composites est utilisée avec succès. Dans cette optique, nous nous proposons d'apporter une contribution à l'analyse du comportement des poutres en béton armé renforcées en flexion par collage de plaque en matériaux composites. Dans ce contexte, une étude analytique portant sur l'évaluation du gain en résistance des poutres en béton armé renforcées par matériaux composites ainsi que les paramètres influençant le comportement en rigidité et de contribuer à l'amélioration des règles de dimensionnement des poutres en béton armé réparées en flexion par composites. L'ensemble des résultats a mis clairement en évidence l'influence du composite en particulier sur la capacité portante des poutres qui peut être augmentée et peut contribuer à la réparation rapide et efficace des structures, comme elle peut aussi rendre aux éléments porteurs leur résistance, leur rigidité et leur portance.

CM-13-30

.MODELISATION DU SOUDAGE TIG ROBOTISE EN MODE DYNAMIQUE 4D

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-30

T. Trantien.

Institut de Soudure Industrie - Villepinte (France).

~~La maturité industrielle du système de vision laser a permis de repousser les tolérances de la géométrie du joint (ex : jeu et dénivellation) en soudage MAG robotisé auto-adaptatif : les paramètres de soudage sont corrigés en temps réel pour absorber les défauts d'accostage mesurés par le capteur de vision, y compris dans des conditions extrêmes de préparation du joint, et manuellement impossible à souder du fait de nombreux paramètres à jouer au même moment. C'est ainsi que l'Institut de Soudure (IS) a développé une 1ère application industrielle en mode dynamique 3D en soudage MAG auto-adaptatif destinée à la fabrication des aimants du grand collisionneur de hadrons (LHC) à Genève. Des travaux ont permis de relever le défi du modèle auto-adaptatif 4D en soudage TIG robotisé, assurant un aspect contrôlé et une pénétration totale de la soudure sur des pièces de production en aéronautique de grande dimension. Les modèles dynamiques de soudage comme par exemple $I(A) = f(e_1, e_2, \alpha)$, l'épaisseur e_1 et e_2 varient donc indistinctement de chaque côté du joint bout à bout, α étant la position variable de la trajectoire du joint. Cette réussite technique est le fruit du logiciel de modélisation conçu et développé par l'IS, dédié au soudage.~~

CM-13-31

Assemblage bimétallique hétérogène pour ultra vide

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-31

A. Lozach.

SOMINEX - Bayeux (France).

Sominex a développé sur les deux dernières années un procédé de fabrication permettant de produire une bride bimétallique associant un alliage d'aluminium (série 5000 ou 6000) et un acier inoxydable (316L). Cette bride de type bride à couteau (CF100) est destinée à l'ultravide. Sa partie extérieure est réalisée en acier inoxydable et sa partie intérieure en alliage d'aluminium. La partie extérieure est destinée à recevoir le couteau destiné à garantir l'étanchéité des brides entre elles et la partie intérieure permet d'effectuer un raccordement pas soudure sur une chambre à vide en aluminium. Un exemple de chambre à vide simple constituée de 2 brides et d'un tube est joint en fichier image. Cette chambre a été testée positivement à l'ultravide sur un banc d'étuvage.

Le procédé employé pour assembler les deux matériaux est double :

- une première liaison mécanique par filetage entre les deux matériaux, permettant d'obtenir une résistance mécanique importante
- une deuxième liaison par soudure par friction malaxage par transparence, permettant d'obtenir une étanchéité parfaite entre les deux matériaux.

Cette dernière technologie de soudure est innovante dans ce cadre de jonction de deux matériaux hétérogènes très difficilement soudables par voie liquide. Elle vient en concurrence directe de la seule forme d'assemblage existante actuellement pour ce produit : La soudure par explosion.

Sominex a déposé un brevet pour cette innovation et continue de travailler pour améliorer ce type d'assemblages hétérogènes afin de pouvoir les effectuer uniquement avec une solution simple ou hybride employant la soudure par friction malaxage ou par friction.

Nous pensons que ce procédé est employable pour d'autres couples de matériaux non soudables entre eux, et qu'à terme il est possible d'obtenir des résistances mécaniques plus importantes et cela pour des applications diversifiées.

CM-13-35

Soudabilité de l'acier S460ML : Cas du soudage hybride Laser-MAG

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-35

F. Chaussé ¹, P. Paillard ², E. Bertrand ², M. Carin ³, G. Rückert ⁴.

¹IRT Jules Verne - Bouguenais (France), ²IMN Jean Rouxel - Nantes (France),
³UBS - Lorient (France), ⁴DCNS Research - Lorient (France).

L'allègement et l'amélioration des performances des structures navales développent de plus en plus l'intérêt des industriels pour les aciers à Haute Limite d'Élasticité dits « HLE ». Parmi ces aciers, les grades dits thermomécaniques, comme l'acier S460ML, acquièrent leurs propriétés mécaniques par laminage thermomécanique qui conduit à un affinage de la taille des grains. Ils ont la particularité d'être pauvres en carbone et en éléments d'alliages ce qui leur offre une bonne soudabilité. Les nuances ML ont également pour caractéristique de conserver une bonne résilience à basse température (supérieure à 16 J/cm² à -50°C). Cependant, lors des opérations de soudage, le cycle thermique subi provoque un abattement de propriétés mécaniques du matériau dans la Zone Affectée Thermiquement (ZAT) par grossissement de grains. Un procédé de soudage à forte densité d'énergie minimisant la taille de la ZAT est donc à privilégier pour l'assemblage des aciers HLE. C'est le cas du soudage hybride Laser-MAG (Metal Active Gas).

Le soudage hybride est devenu commercialement compétitif depuis une dizaine d'année et connaît un succès grandissant dans l'industrie navale où le soudage de pièces épaisses et les grandes longueurs de soudure permettent de rendre le procédé compétitif par rapport aux procédés conventionnels. Le nombre important de paramètres à maîtriser reste encore un frein à la diffusion de cette technologie, cependant un véritable effort de recherche et développement est actuellement en cours à travers le monde pour en assurer un transfert efficace du milieu académique vers l'industrie.

À ce jour, aucune publication n'a porté sur la soudabilité de l'acier S460ML par procédé hybride Laser-MAG. Nos travaux ont donc deux objectifs principaux : l'étude métallurgique du comportement de l'acier S460ML après soudage par le procédé hybride Laser-MAG en comparaison avec des procédés de soudage plus

conventionnels (TIG, MAG, Laser). Nous confrontons également nos résultats expérimentaux à des simulations numériques de soudage hybride.

CM-13-75

Simulation numérique d'essais de qualification de produit d'apport de revêtement de plaques tubulaires

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-75

F. Gommez ¹, V. Villaret ², V. Robin ¹.

¹AREVA NP - Lyon (France), ²AREVA NP - Chalon Sur Saône (France).

Lors de la qualification de produit d'apport de plaque tubulaire de générateur de vapeur, le code RCC-M permet d'effectuer des lignes de refusion circulaires sur la surface du revêtement ou des soudures circulaires avec tube pour qualifier le comportement du revêtement lors du soudage.

Les analyses métallurgiques réalisées sur ces deux configurations d'essai mettent en évidence des différences de résultats pour un même produit d'apport. En effet, des indications de type fissuration à chaud apparaissent sur les lignes de fusion uniquement. L'hypothèse avancée porte sur l'influence de la configuration géométrique sur l'apparition de ces défauts.

La configuration "ligne de fusion" n'est pas assez représentative de la fabrication et la configuration "soudure avec tube" est couteuse et longue à mettre en œuvre. Il est donc envisagé de tester une nouvelle configuration de soudage: soudure circulaire sur une plaque avec alésage sans tube.

L'étude présentée dans cet article a pour but de confirmer l'hypothèse émise et de valider cette nouvelle configuration vis-à-vis de sa représentativité d'une soudure avec tube.

Les travaux ont été réalisés par simulation numérique du soudage, qui permet de comparer efficacement ces différentes configurations et d'aider à la compréhension des phénomènes pouvant conduire à l'apparition d'indications de type fissuration à chaud. Il est en effet possible de suivre les évolutions temporelles et spatiales de différentes grandeurs physiques: contraintes, déformation plastique et température et

de discriminer une configuration de soudage ou une zone particulière par rapport à une autre.

La comparaison des différentes configurations étudiées est réalisée sur la zone courante du soudage. Dans un premier temps, un calcul tridimensionnel transitoire non linéaire thermo métallurgique avec déplacement pas à pas d'une source de chaleur équivalente est réalisé. Ensuite, un calcul thermo-mécanique est réalisé sur un modèle axisymétrique afin de réduire le temps de calcul.

L'évanouissement de l'arc de soudage est ensuite simulé afin de comparer les résultats numériques obtenus en zone courante et dans la zone de l'évanouissement, mais aussi d'étudier l'impact des paramètres gérant l'évanouissement d'arc en vue de leur optimisation. Pour cette phase, des calculs tridimensionnels sont utilisés.

Les résultats ont permis de mieux appréhender les phénomènes observés et d'envisager une optimisation des essais.

CM-13-87

Robotisation du FSW - Evolution des efforts lors de la réalisation de soudures non linéaires par friction malaxage (FSW)

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-87

A. Ben Attar ¹, L. Langlois ², S. Zimmer Chevret ², N. Jemal ², G. Abba ³, R. Bigot ².

¹Institut de Soudure - Goin (France), ²Arts et Métiers Paristech - Metz Cedex 03 (France), ³ENIM - Metz (France).

L'utilisation de robots poly-articulés rend possible le soudage FSW de pièces de formes complexes. Cependant, les robots se déformant sous l'action des efforts exercés sur l'outil par les pièces à souder, la consigne de positionnement angulaire par rapport à la surface des pièces et le positionnement de l'outil par rapport au plan de joint ne sont pas respectés. La combinaison de ces défauts de positionnement se retrouve lors du soudage de pièces de formes complexes et peut conduire à des défauts dans les soudures voire à l'impossibilité de réaliser des liaisons soudées. L'objectif des travaux de recherche décrits ici est de compenser, par leur lois de commande, les déformations des robots générées lors du soudage. L'étude présentée porte sur la validité de l'extrapolation des efforts mesurés pour une soudure circulaire.

Le rayon de courbure de la ligne de joint et la position du côté avance par rapport au centre de l'arc de cercle soudé ont été identifiés comme étant les paramètres principaux pour l'étude. Les essais réalisés avec une trajectoire circulaire fermée ont montré que l'influence du rayon de courbure de la trajectoire sur les efforts de soudage est faible. Les résultats issus des essais à trajectoire circulaire ouverte présentent une différence substantielle de la valeur de l'effort transverse entre un même arc parcouru avec deux positions différentes du côté avance (l'effort transverse étant plus important lorsqu'on place le côté avance de la soudure à l'extérieur de la courbure).

Finalement, la morphologie de la pièce influe sur l'amplitude des efforts de soudage. Le modèle établi devra donc prendre en compte les aspects tridimensionnels de la géométrie des pièces à souder afin de permettre la correction de la trajectoire pour l'assemblage FSW robotisé de pièces complexes.

CM-13-92

Caractérisation de joints de brasures intermétalliques Cu-Sn, formés en phase liquide transitoire (TLPB) : brasage intermétallique à basse température pour des applications à haute température.

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-92

E. Feuillet ¹, J.L. Diot ², R. De Langlade ², Y. Lu ³, J.F. Silvain ¹.

¹Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB-CNRS) - Pessac (France), ²Novapack SAS - Saint-Egrève (France), ³Department of Electrical Engineering, University of Nebraska-Lincoln - Lincoln (États-unis).

Le brasage en phase liquide transitoire est un procédé d'assemblage par diffusion, alternatif aux brasures hautes températures. Cette technique est très attractive car elle permet la réalisation, à bas coûts, de joints intermétalliques ayant d'excellentes propriétés thermiques et mécaniques.

Le procédé repose sur l'utilisation d'un système binaire, composé de deux métaux ayant des points de fusion différents : un métal d'apport à bas point de fusion (par exemple Sn), déposé entre deux substrats à haut point de fusion (par exemple Cu). Le métal d'apport est déposé sous forme de couche-mince par pulvérisation. Dans des conditions adaptées (faible température 260°C et pression 3 MPa), l'interdiffusion des deux métaux permet la formation d'un composé intermétallique aux interfaces substrats/métal-d'apport. L'objectif est de transformer entièrement le joint en intermétallique qui possède une température de fusion (676°C pour Cu₃Sn) plus élevée que la température d'élaboration (260°C).

Des joints intermétalliques de 2µm d'épaisseur ont été développés afin de réduire la durée d'assemblage ainsi que la résistance thermique du joint. Une faible épaisseur est également bénéfique pour la tenue mécanique des joints. Les paramètres

d'assemblage (température, temps, pression) ont été optimisés afin de former un joint composé d'une seule phase intermétallique stable à microstructure contrôlée (cf. Fig. 1).

La structure et la composition chimique des différentes phases intermétalliques ont été analysées respectivement par Microscopie Electronique et Spectroscopie d'Electrons Auger. La tenue mécanique des joints a été analysée par des essais mécaniques en cisaillement. Enfin, les contraintes thermomécaniques, engendrées lors du report, ont été simulées par éléments finis. Pour cela, les propriétés mécaniques des joints intermétalliques ont été déterminées par Nano-Indentation.

CM-13-107

Simulation numérique thermomécanique du soudage tandem Laser-MIG d'un acier Superduplex de 20 mm d'épaisseur

**13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée
Nationales du Soudage**

#CM-13-107

A. Mathieu, I. Tomashchuk.

Laboratoire ICB, UMR 6303 - Le Creusot (France).

Les travaux présentés concernent les procédés d'assemblage et rentrent dans le thème de la prédiction des déformations et des contraintes. L'assemblage est celui de deux plaques d'acier de 20 mm d'épaisseur en UR 2507Cu par le procédé combiné Laser-MIG. Le faisceau laser est focalisé en avant, par rapport au sens de soudage, de l'arc électrique MIG. Une distance de 20 mm sépare le point d'impact du faisceau laser de l'extrémité du « stick-out » dans le but d'éviter tout effet synergique entre les deux sources. Afin de prédire les déformations résiduelles, une simulation numérique, en 3D et en mode instationnaire, a été développée sur COMSOL. Une source volumique de chaleur a été identifiée au moyen de mesures par thermocouples de type K, implantées à l'intérieur de la pièce. L'extrémité du thermocouple est positionnée de telle manière à « voir » arriver les deux bains de soudage. La source équivalente se compose de 3 sources. La première source, de type GOLDAK, représente le bain MIG. La seconde source représente le faisceau laser pénétrant, il s'agit d'un cylindre à section elliptique. La troisième est une source surfacique qui représente l'énergie rayonnée par l'arc et interceptée par la pièce. Pour la simulation, un comportement mécanique élasto-plastique avec écrouissage isotrope a été défini. Un couplage faible entre la thermique et la mécanique est obtenu grâce à l'introduction d'un coefficient de dilation linéaire dépendant de la température. Les résultats montrent que les retraits angulaires et longitudinaux peuvent être obtenus numériquement avec les hypothèses simplificatrices employées. Ces résultats sont comparés aux déplacements mesurés par la méthode de corrélation d'image. Les contraintes résiduelles sont déterminées par la méthode du trou, réalisé en milieu d'assemblage à une distance de 5 mm de la ligne de fusion et sur une profondeur d'environ 2 mm.

CM-13-113

Modélisation 3D thermohydraulique du procédé de soudage A-TIG

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-113

A. Benoit ¹, M. Carin ², P. Paillard ³, F. Christien ³, G. Rückert ⁴.

¹IRT Jules Verne, chemin du Chaffault - Bouguenais (France), ²Univ. Bretagne Sud, EA 4250, LIMATB - Lorient (France), ³Institut des Matériaux Jean Rouxel, rue Christian Pauc - Nantes (France), ⁴DCNS Research, CESMAN - Indret (France).

Le procédé de soudage à l'arc Tungsten Inert Gas (TIG) est largement répandu dans l'industrie pour sa simplicité, sa polyvalence et la qualité des soudures obtenues. Il souffre cependant d'une faible productivité puisque la pénétration maximale atteignable est d'environ 3 mm pour les aciers. Afin d'accroître ses capacités, une évolution nommée Activated TIG (A-TIG) a été développée. Cette technique utilise des composés tensio-actifs pour inverser les courants de convection du bain fondu et ainsi changer sa forme et accroître sa pénétration. Si le procédé A-TIG est connu depuis les années 1960, l'étude des phénomènes activant est plus récente et la compréhension des mécanismes physiques sous-jacents est encore incomplète.

Cette étude cherche à déterminer les contributions des phénomènes physiques intervenant dans les mouvements du bain de fusion. Un modèle multiphysique sous COMSOL Multiphysics® a été développé incluant la mécanique des fluides, l'électromagnétisme et les transferts de chaleur au sein de l'anode. L'accent est porté sur les forces de Marangoni (thermocapillaires) et de Lorentz. Des essais TIG, A-TIG, Laser et A-Laser ont été effectués pour dissocier les forces de Marangoni et de Lorentz, calibrer les sources thermiques, électriques et le coefficient thermocapillaire et enfin valider les simulations numériques. Pour ce faire, ils ont été instrumentés (caméra rapide, infra-rouge et mesure de courant) et les cordons ont été analysés via des macrographies

L'étape de calibration a été effectuée sur une configuration 2D axisymétrique (source statique). La littérature fait d'ailleurs état essentiellement de modèles 2D statiques. Ces modèles simples sont éloignés des applications rencontrées dans l'industrie.

Aussi, un modèle 3D dynamique a été mis en œuvre afin de simuler une opération de soudage.

KN-13-139

Procédés de soudage MIG-MAG avancés : principes et applications

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#KN-13-139

F. Scandella ¹, L. Jubin ².

¹Institut de Soudure - Yutz (France), ²CETIM - Nantes (France).

Le procédé de soudage MIG-MAG a fait l'objet de nombreuses évolutions ces dix dernières années avec d'une part des variantes à faible énergie ou à forte pénétration ou encore le développement de procédés hybrides tels que le procédé plasma/MIG-MAG. Chaque constructeur propose des solutions spécifiques, généralement basées sur l'utilisation d'onduleurs, qui offrent un contrôle très précis des formes d'ondes (tension et intensité), ainsi que leur synchronisation.

Ainsi, certains procédés de soudage MIG-MAG à faible énergie permettent de souder des pièces très fines (à partir de 0,6 mm). Les vitesses de soudage peuvent dans certains cas atteindre 5 m/min. Des variantes MIG-MAG à forte pénétration ont également été développées récemment, dans le but d'augmenter la productivité : réduction de l'angle d'ouverture des chanfreins, de la quantité de produits d'apport et du temps de soudage. Les déformations des assemblages peuvent être sensiblement réduites et dans certains cas, l'usinage d'un chanfrein n'est plus nécessaire. Des assemblages MAG bout à bout sur bords droits peuvent être obtenus en une seule passe jusqu'à une épaisseur de 15 mm. De nombreux procédés de soudage hybrides ont également été développés dans le but de réaliser des gains en termes de soudabilité opératoire et métallurgique. Outre les procédés hybrides comprenant un faisceau laser, de multiples combinaisons sont possibles en associant des procédés de soudage à l'arc. Par exemple, deux technologies de soudage hybride plasma/MIG-MAG sont commercialisées, l'une coaxiale, l'autre tandem. Une pré-évaluation des deux technologies a été réalisée en 2011 à l'initiative des membres de la Commission Interprofessionnelle Soudage de la Fédération des Industries Mécaniques. Les technologies plasma / MIG-MAG présentent plusieurs avantages : augmentation de la productivité (vitesse de soudage plus élevée, soudage monopasse jusqu'à 10 mm d'épaisseur), généralement un très bel aspect visuel des cordons de soudure et suivant la technologie, il est possible de ne pas utiliser de latte support. Les limites de ces

procédés sont - comme pour tous les procédés hybrides - liées à leur complexité: il y a beaucoup de paramètres de soudage à gérer et la mise au point des modes opératoires de soudage est plus longue.

CM-13-151

Simulation numérique du soudage par résistance en bout pour limiter la modification de la structure d'un acier ODS en cours de soudage

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-151

B. Le Gloannec ¹, O. Doyen ¹, A. Poulon-Quintin ², C. Pouvreau ³.

¹CEA - Saclay (France), ²ICMCB - Pessac (France), ³LIMATB - Lorient (France).

Les Réacteurs à Neutrons Rapides refroidis au sodium (RNR-Na) constituent en France un des concepts les plus avancés pour les réacteurs de quatrième génération. Des alliages ODS (Oxide Dispersion Strengthened) sont identifiés comme des matériaux candidats pour la réalisation du gainage combustible. Leurs propriétés mécaniques à haute température sont assurées par une dispersion d'oxydes nanométriques qui peut être modifiée sous l'effet de la température et/ou des contraintes mécaniques, notamment présentes en cours de soudage.

Le procédé préconisé est le soudage par résistance. Les caractérisations métallographiques des pièces soudées permettent de localiser les zones où la microstructure est modifiée tout en visualisant la morphologie de la pièce déformée. Afin de mieux comprendre les phénomènes en cours du soudage, une simulation numérique du procédé est développée à l'aide du logiciel MARC. Cette simulation électro-thermo-mécanique prend notamment en compte la grande déformation des pièces ainsi que le contact à l'interface initiale. Les essais effectués sont simulés numériquement dans le but d'évaluer localement les variations de température et de déformation dans les zones spécifiques de la pièce soudée (zone affectée thermiquement et zone affectée thermo-mécaniquement).

CM-13-207

Soudage par friction rotative de tubes en alliages de Titane et de Nickel pour application aéronautique

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-207

P. Paillard ¹, E. Bertrand ¹, P. Romilly ².

¹Institut des Matériaux Jean Rouxel UMR 6502 - Nantes (France), ²ACB - Nantes (France).

Le soudage par friction rotative permet le soudage rapide en phase solide sans préparation préliminaire importante. Des essais de soudage par friction rotative sur des éprouvettes de grandes dimensions ont été réalisés sur des pièces cylindriques en Ti-6Al-4V ainsi qu'en Inconel 718 à l'aide d'une machine de soudage par friction à entraînement direct.

Durant le soudage, les assemblages ont été caractérisés thermiquement par thermographie infrarouge rapide (figure 1), permettant ainsi d'évaluer la température maximale à laquelle une zone est soumise ainsi que la durée de refroidissement.

Les macrostructures et microstructure résultantes du soudage ont été étudiées.

Les résultats montrent que les propriétés mécaniques (figure 2) du Ti-6Al-4V changent peu en zone affectée thermiquement (ZAT) ainsi qu'en zone affectée thermomécaniquement (ZATM). Le flash engendré lors du soudage présente une forme particulière qui sera expliquée.

Le soudage de l'Inconel 718 s'avère plus difficile avec une chute plus importante des propriétés mécaniques en ZAT, posant la question d'un traitement thermique après soudage.

Les changements métallurgiques ayant lieu lors de l'opération de soudage seront expliqués en regard des températures atteintes par le matériau.

CM-13-249

La compréhension de la formation des assemblages titane-aluminium réalisés par faisceau laser

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-249

I. Tomashchuk, P. Sallamand, M. Duband, E. Cicala, D. Grevey.

Université de Bourgogne, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne - Le Creusot (France).

La réalisation de jonctions hétérogènes entre un composant en alliage d'aluminium et un composant en alliage de titane ouvrirait des potentialités d'applications intéressantes pour l'aéronautique, grâce aux possibilités d'allègement de la structure et d'amélioration de la résistance à la corrosion. Cependant, l'assemblage de ces matériaux par fusion conduit classiquement à la formation de composés intermétalliques fragiles dans la zone de mélange. Le procédé d'assemblage par laser présente malgré tout un fort intérêt du fait des cinétiques rapides en chauffage/refroidissement et du fait de la limitation du volume fondu.

La présente étude, à la fois expérimentale et numérique, est dédiée à la compréhension des facteurs influençant la formation et la résistance mécanique des assemblages entre un alliage de titane et un alliage d'aluminium réalisés par laser Yb:YAG. Deux configurations de soudage sont présentées :

- 1) le soudage bord à bord Ti6Al4V/AA5754, en mode capillaire, avec fusion simultanée des deux matériaux ;
- 2) le soudo-brasage T40/AA5754 avec un fil d'apport en aluminium.

En configuration bord à bord, le cycle de soudage le plus court permet d'éviter le mélange excessif entre les deux matériaux fondus. La stabilité de l'assemblage est alors définie par la morphologie de l'interface qui dépend elle-même du temps de coexistence des matériaux fondus et des phénomènes convectifs et diffusifs. L'étude numérique multiphysique basée sur l'utilisation de la méthode des éléments finis (Logiciel COMSOL Multiphysics) et traitant les transferts de chaleur, les mouvements

du fluide et le transport des espèces, a permis de qualifier l'impact des conditions opératoires sur la qualité de la liaison.

Le soudo-brasage utilise deux spots laser en vue de contrôler la température à l'interface entre le titane et la zone fondue. Cependant, l'homogénéisation de la structure dans cette zone est difficile à atteindre à cause de l'instabilité de la position du fil. Une tentative de corrélation numérique entre le cycle thermique et les distances de diffusion du Ti dans la zone fondue a été réalisée.

CM-13-274

Soudage à l'arc sous protection gazeuse électrode fil fusible : Premiers retours d'expérience et potentialités dans la maintenance et la fabrication nucléaire

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-274

J. Chapuis, S. Fautrat, A.J. Petit, H. Nicolas, W. Michaud, F. Thumerel, S. Garnier, F.R. Huguet.

AREVA - Chalon Sur Saône (France).

Dans les opérations de fabrication et de maintenance des composants d'une centrale nucléaire, AREVA met en œuvre de nombreuses opérations de soudage. Les développements en cours au sein d'AREVA ont pour enjeux d'améliorer la reproductibilité des soudures, de mieux maîtriser les énergies de soudage appliquées, d'améliorer les conditions d'hygiène et sécurité, de compenser la raréfaction des soudeurs, et d'augmenter la productivité. Ces enjeux mènent à la mécanisation des procédés d'assemblage. De plus, ces 30 dernières années, la technologie des postes à souder connaît des évolutions importantes par l'introduction de l'électronique et du numérique. Par exemple, l'apparition des technologies MIG-MAG CMT (Cold Metal Transfer) de Fronius, RMD (Regulated Metal Deposition) de Miller ou encore le STT (Surface Tension Transfer) de Lincoln Electric est liée à cette évolution. Ces nouveaux procédés peuvent apporter des réponses pour la maîtrise de la pénétration et/ou dilution (soudabilité opératoire et soudabilité métallurgique / revêtement) par les énergies de soudage, l'amélioration de la productivité, l'amélioration des caractéristiques mécaniques, l'optimisation des déformations et contraintes résiduelles.

Cette présentation illustrera comment ces évolutions des procédés MIG-MAG ont pu être mises à profit pour deux applications AREVA, une première sur site pour le remplacement de générateur de vapeur bi-blocs, une seconde en usine de

fabrication de composants de centrale pour le revêtement d'arrondi de tubulure du fond primaire de générateur de vapeur. Enfin les axes et moyens de développements pour ce type de procédé seront présentés, en vue de fiabiliser l'opération de soudage et d'aider le soudeur dans le suivi de cette opération.

AF-13-277

Corrélation statistique des propriétés de traction et de dureté des joints soudés des aciers à haute limite élastique

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-277

A. Saoudi, L. Atoui.

Laboratoire de Métallurgie et Génie des Matériaux, Université Badji Mokhtar B.P12, 23000 - Annaba (Algérie).

L'objectif principal des concepteurs de pipelines et les opérateurs, est de garantir le transport ininterrompu de gaz jusqu'au client tout au long de la durée de vie de la conduite. Les efforts visant à assurer le fonctionnement fiable du gazoduc peuvent aboutir si les exigences imposées au pipeline sont réunies pendant la fabrication et l'installation. La détermination précise de la limite élastique comme une indication de la résistance des matériaux à la déformation plastique est d'une grande importance pour les ingénieurs de pipeline.

Dans cette étude, 144 tubes en aciers à haute limite élastique API X70, soudés en spirale par le procédé de soudage à l'arc submergé, ont été utilisés. L'essai de traction a été mené afin d'évaluer les caractéristiques mécaniques et l'essai de dureté Vickers a été réalisé, afin de détecter la présence des points durs dans l'acier contrôlé, et d'utiliser les données de dureté pour la prédiction des propriétés de traction.

L'objectif de cette étude est la mise en place d'une relation empirique pour la prédiction de la limite d'élasticité du métal de base à partir des données de dureté mesurées dans les différentes sous-zones du joint soudé. Les données obtenues ont été analysées statistiquement, et leur valeur moyenne dans les différentes sous-zones ont été calculés et comparés aux exigences de service prévues par la norme de construction API. Toutes les données obtenues à partir des essais ont été décrites par la fonction de densité de probabilité, et les zones ayant la plus grande variance ont été déterminées. Il est à noter que toutes les valeurs de propriétés

mécaniques obtenues à partir des essais mécaniques de traction et de dureté ont été conformes aux exigences imposé par le code de construction API 5L. Il a été montré que les données de dureté peuvent être utilisées pour la prédiction de la limite d'élasticité des aciers HLE avec une bonne corrélationlinéaire ($R^2 = 0.96$). La valeur absolue de l'erreur entre les données expérimentales et celles calculées par le modèle proposé varie entre 0.01 et 0.38%.Ceci peut être utilisé comme modèle servant de déterminer les propriétés de traction des aciers à partir des valeurs de dureté Vickers qui reste un essai simple, nécessitant peu de matière et peu d'investigation par rapport à l'essai de traction. Une discussion sur la relation structure-propriétés des joints soudés a conclu cette étude.

CM-13-365

Soudage des aciers HLE - Fissuration à froid

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-365

L. Jubin ¹, A. Ferrari ², J. Haouas ², D. Le Bras ³.

¹Expert Référent Soudage CETIM - Nantes (France), ²Ingénieur - Yutz (France),
³Ingénieur - Nantes (France).

Le recours aux aciers HLE permet d'améliorer les capacités, d'optimiser les épaisseurs des ensembles mécanosoudés et le cas échéant de réduire les coûts de fabrication. Ces aciers, dont les limites d'élasticité s'échelonnent entre 460 et 1300 MPa, sont produits selon différents modes d'élaboration (normalisation, trempe et revenu, laminage thermomécanique). De ce fait, les compositions chimiques sont aussi très variables et sont fonction des options prises par les aciéristes. De même, grâce aux traitements de qualité utilisés, les aciers HLE peuvent être moins alliés que les produits d'apport utilisés pour les assembler, reportant ainsi les risques de fissuration vers la zone fondue.

L'aciériste peut, quant à lui, prendre des options diverses (nuance à très basse teneur en carbone – inférieure à 0,080% ; ajout classique de chrome, molybdène ou présence d'éléments de micro-alliages et d'affineurs du grain) qui conduiront à des soudabilités métallurgiques qui ne peuvent en aucun cas être reliées à la limite d'élasticité du métal de base ou à un simple carbone équivalent (CE_{HS}, CET).

L'ingénieur-soudeur doit aller au-delà des approches classiques pour optimiser ses modes opératoires de soudage. En particulier, le recours à l'augmentation de l'énergie de soudage est souvent limité par les caractéristiques mécaniques à atteindre avec l'augmentation de la limite d'élasticité des matériaux de base. La compilation de nombreux essais de soudage permet de définir une méthodologie pour évaluer les conditions de soudage optimales en fonction de divers éléments :

- Limite d'élasticité du métal d'apport, teneur en hydrogène diffusible pour définir la zone à risque (ZAT ou Zone Fondue) ;
- Teneur en carbone, teneur en hydrogène diffusible, présence des éléments d'alliage pour définir la température de préchauffage ;

- Prise en compte d'un post-chauffage pour réduire les températures de travail (et optimiser ainsi les caractéristiques mécaniques).

AF-13-510

Assemblage par diffusion de l'alliage de Zirconium (Zircaloy-4) et de l'acier inoxydable (AISI 304L) en présence d'un eutectique à 1050 °C.

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#AF-13-510

S. Lebaili ¹, M. Taouinet ².

¹USTHB , Fac de Génie Mécanique et Procédés BP 32 El Alia 16111 Bab Ezzouar - Alger (Algérie), ²Centre de Recherche Nucléaire de Draria, BP 43 Draria - Alger (Algérie).

L'assemblage de l'alliage de zirconium (Zircaloy-4) avec l'acier inoxydable (304L) est utilisé dans certaines conceptions en technologie nucléaire. La liaison est réalisée par diffusion à l'état solide à la température de 1050°C pour une durée variable de 5 à 45 minutes sous une pression dynamique et dans une atmosphère contrôlée. Les observations fines et analyses chimiques réalisées par MEBE-EDX, microsonde de Castaing et DRX montrent la formation d'une jonction hétérogène composite entre l'acier et le Zircaloy-4 (fig.1). Les phases formées se localisent dans les trois zones suivantes :

- La zone du côté acier inoxydable est une solution solide (FeCr) α en forme un liseré riche en Cr qui s'étend d'une manière homogène le long de l'interface. Sa dureté moyenne est de 700HV.
- La zone II adjacente au liseré, est constituée principalement du composé intermétallique Zr(Fe, Cr) $_2$ sous forme de grains facettés de taille variable entre 2 à 10 microm. Sa dureté moyenne de 1380 est la plus élevée dans la jonction.
- La troisième zone, du côté Zy4 est bi-pasée. Elle constituée de la solution solide Zr- α et du composé intermétallique Zr $_2$ (Fe, Ni). Sa dureté est de l'ordre de 610 HV. La forte diffusion du Fe dans l'alliage de zirconium favorise la présence d'une phase liquide transitoire entre les deux matériaux, engendrant au refroidissement la formation de l'eutectique Zr(Fe, Cr) $_2$ -Zr α dans les zones II et III.

La filiation des microduretés à l'interface du couple des matériaux soudés par diffusion est très hétérogène. Les analyses des faciès de rupture obtenus par l'essai de résilience, ont montré un comportement fragile avec un mode de rupture par clivage qui se localise dans la zone III de l'interface contenant des microfissures d'origine thermomécanique.

CM-13-522

Modélisation des distorsions et des contraintes résiduelles dans des assemblages mécanosoudés

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-522

C. Ramard ¹, P. Pilvin ¹, D. Carron ¹, F. Bridier ², G. Rückert ².

¹Université de Bretagne-Sud - Lorient (France), ²DCNS Research / CESMAN - La Montagne (France).

La fabrication de structures mécano-soudées soumet les matériaux métalliques à des cycles thermiques sévères, principalement lors des phases d'assemblage par soudage. Sous l'effet des cycles de soudage la dilatation thermique contrariée et la plasticité près des zones de liaison génèrent des distorsions globales et des contraintes résiduelles locales. Quand cela est possible, il est nécessaire de minimiser les distorsions car leur réduction après soudage augmente les coûts de fabrication. Par ailleurs les contraintes résiduelles jouent un rôle important dans la durée de vie des structures soudées car leur présence augmente le risque de fissuration et/ou de corrosion sous contrainte. Une meilleure compréhension de ces phénomènes et une prédiction fiable des déformées et des contraintes résiduelles dans les grands ensembles soudés constituent donc un sujet d'intérêt majeur pour les industriels. Si la simulation numérique du soudage est arrivée à une maturité suffisante pour traiter les problématiques et configurations industrielles, des difficultés persistent en terme de temps de calcul pour les grands composants et/ou les opérations de soudage complexes et notamment multipasses. L'utilisation de solveurs parallèles n'est pas toujours suffisante et la réduction des temps de calculs nécessite des hypothèses simplificatrices dont l'influence est à étudier. Dans cette optique, ce travail s'intéresse à :

- la mise en place d'une méthodologie de caractérisation expérimentale (thermique, métallurgique et mécanique) pour l'obtention d'une base de données pertinente pour la simulation du soudage ;

- la définition de stratégies de calcul optimales pour prévoir les distorsions et/ou les contraintes résiduelles dans les grands ensembles soudés (en particulier pour la construction navale).

CM-13-639

Modélisation microstructurale de la précipitation en soudage par friction malaxage Application à l'alliage d'aluminium 2024

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-639

V. Legrand, S. Gastebois, G. Guillemot, C.A. Gandin, L. Fourment.

Cemef - MINES ParisTech - Sophia-Antipolis (France).

Le procédé de soudage par friction malaxage (FSW) permet l'assemblage à l'état solide d'alliages sans apport de matière et sans défaut de type fissuration à chaud. Il est développé depuis une vingtaine d'années et se présente, dans le domaine aéronautique, comme une alternative intéressante au rivetage tout en permettant un allègement des structures. La garantie d'une tenue mécanique fiable, dans le cadre d'alliages à durcissement structural, nécessite de connaître l'histoire thermique lors de la mise en forme par FSW ainsi que l'évolution microstructurale. La simulation est utilisée pour suivre les processus de germination, croissance et coalescence des précipités. Le modèle de classe proposé dans cette étude était initialement développé par Myhr et Grong [Myhr & Grong, 2000]. Il est couplé à un logiciel de calcul des équilibres thermodynamiques et appliqué à l'étude de l'évolution de la précipitation de la phase S lors dans un alliage d'aluminium 2024 (Al - 3.07%pds Cu - 2.01%pds Mg - 0.08%pds Fe - 0.4%pds Mn). Une calibration préalable de ce modèle est effectuée par une analyse DSC sur des échantillons prétraités. La simulation de ces essais est couplée à l'évolution du flux de chaleur pour une validation de différents traitements anisothermes. Dans un second temps, le modèle est couplé à la simulation de l'évolution thermomécanique de pièces soudées. Différents cellules du modèle, correspondant à des évolutions thermiques spécifiques (Fig1), permet de cartographier et prédire l'état de précipitation afin d'en déduire les propriétés mécaniques finales du joint soudé.

Myhr, O. R., & Grong, Ø. (2000). Modelling of non-isothermal transformations in alloys containing a particle distribution. *Acta Materialia*, 48(7), 1605–1615. doi:10.1016/S1359-6454(99)00435-8

00643

Procédé d'assemblage de modules thermoélectriques Silicium-Germanium

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

T. Baffie, V. Salvador, K. Romanjek, S. Noël, H. Duchemin.

CEA - LITEN - Grenoble (France).

L'assemblage de pièces à base de Silicium nécessite de surmonter deux difficultés : i) lors d'un brasage à haute température, les alliages Si-Ge réagissent chimiquement avec la plupart des métaux de transition liquides et forment des siliciures fragiles ; ii) le différentiel de coefficient de dilatation thermique entre Si-Ge et les métaux d'électrodes conduit à une forte déformation des pièces chauffées. Lors du refroidissement après brasage, des contraintes thermomécaniques élevées sont générées dans les joints et les pièces voisines. Plus la température d'assemblage est élevée, plus les contraintes sur les thermoéléments sont fortes. Si les modules survivent à l'étape d'assemblage, ils auront à supporter de nouvelles contraintes une fois montés dans un thermogénérateur du fait des gradients thermiques et du cyclage thermique.

Nous avons étudié un procédé d'assemblage de modules thermoélectriques Si-Ge basé sur le frittage d'alliages d'argent. Son avantage principal, comparé au brasage, est que la température du procédé peut théoriquement être plus faible que la température de fonctionnement. Des dizaines de modules de différentes tailles ont été assemblés à 250°C ; l'adhérence des joints a été caractérisée par microscopie acoustique à balayage. La planéité, le parallélisme et l'épaisseur des modules ont été évaluées par mesures tridimensionnelles. Les joints et interfaces ont été analysés par MEB-EDX après assemblage et après recuit. Des modules de dimensions 50x50mm² et 20x20mm² ont été testés sous gradient thermique sur un banc dédié de façon à mesurer leur puissance électrique maximale (P_{MAX}), leur résistance interne (R_{INT}) et leur résistance de contact. Certains ont été recuits et cyclés pour investiguer leur fiabilité. Des échantillons « sandwichs » Si-Ge/Joint/Si-Ge ont été assemblés pour étudier l'effet des paramètres du procédé.

La P_{MAX} d'un module 20x20mm² est de 3,6W sous  $T=500^{\circ}C$ ($T_{CHAUD}=580^{\circ}C$). Lors d'un recuit à 400°C pendant 100 heures, l'augmentation linéaire de la R_{INT}

indique une dégradation de Si-Ge et des contacts. Après 25 cycles sous  $T=450^{\circ}C$ ($T_{CHAUD}=470^{\circ}C$), une dégradation de 3% de la R_{INT} est mesurée.

Un transfert technologique est en cours vers une PME pour l'industrialisation du procédé.

CM-13-779

Etude expérimentale du soudage hétérogène par laser Nd-YAG d'alliages nickel - cobalt

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-779

J. Graneix ¹, C. Bellot ², T. Masri ¹, F. Pardheillan ³, J. Alexis ¹.

¹Université de Toulouse, LGP, ENIT/INPT - Tarbes (France), ²ACRDM - Tarbes (France), ³EXAMECA - Serres-Castet (France).

Les exigences des pièces aéronautiques mécanosoudées sont de plus en plus sévères, notamment en termes de reproductibilité de géométrie et de qualité métallurgique des cordons. Les alliages base nickel et cobalt, utilisés dans les parties chaudes des réacteurs, nécessitent une élaboration parfaitement maîtrisée.

Si ces assemblages étaient jusqu'à maintenant essentiellement réalisés par soudage manuel TIG, le soudage laser devient une méthode d'assemblage envisageable de par son automatisation qui permettrait une reproductibilité accrue comparé aux méthodes manuelles. Cependant, la qualité métallurgique des produits élaborés par cette technique reste fortement dépendante des paramètres du procédé utilisé.

Le première partie de cette présentation sera axée sur la définition d'un domaine de soudabilité à l'aide d'un plan d'expérience réalisé avec le logiciel CORICO en balayant les quatre paramètres que sont la puissance, la vitesse de déplacement de la tête de soudage, le diamètre focal et le débit de gaz de protection. Le domaine de soudabilité sera défini à partir de critères géométriques des cordons ainsi que de leurs propriétés mécaniques.

La deuxième partie sera axée sur l'étude métallurgique des cordons optimisés. Les assemblages obtenus ont été caractérisés mécaniquement à l'aide d'essais de dureté et de microtraction. Les microstructures ont également été étudiées à l'aide de différentes techniques expérimentales aux différentes échelles (microscopie optique, MEB). Des analyses EBSD complémentaires ont permis de mettre en évidence la texture des cordons induite lors de leur solidification en fonction des paramètres de soudage. Des mesures EDX révèlent la présence de ségrégations

chimiques liées à la solidification. Enfin, des analyses par DRX synchrotron ont également été réalisées dans les sections des cordons, avec un pas de 100 μm , pour étudier l'évolution des précipités présents dans les cordons (carbures, intermétalliques à base de Cr, Mo et W) qui permettent d'expliquer leur comportement mécanique.

CM-13-794

Modélisation des structures de solidification en soudage MIG - Développement d'une approche couplée Automates Cellulaires – Eléments Finis

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-794

S. Chen, O. Desmaison, G. Guillemot, C.A. Gandin, M. Bellet.

Cemef - MINES ParisTech - Sophia Antipolis (France).

Lors du développement des procédés de soudage à l'arc, une source de chaleur mobile est déplacée à l'interface entre les pièces métalliques à assembler, conduisant à un domaine de fusion commun aux deux éléments. La resolidification de cette zone se traduit par une croissance épitaxiale de grains, dirigée essentiellement selon les gradients de température locaux. Les propriétés mécaniques finales du cordon, l'origine de défauts spécifiques telle que la fissuration à chaud, mais également la qualité des contrôles non destructifs, sont fortement liés à cette structure de grains anisotrope et à ses caractéristiques. La maîtrise des propriétés finales de l'assemblage nécessite ainsi une amélioration de la connaissance de la formation de cette structure. Dans cet objectif, un modèle couplé Automates Cellulaires (CA) – Eléments Finis (FE) est proposé. A l'échelle macroscopique, la résolution des équations de conservation permet la connaissance du champ de température pour un chemin de solidification spécifique. Dans le cadre d'une approche Level Set, cette résolution considère également l'apport de matière, et permet le suivi de l'avancement du cordon. A l'échelle microscopique, la grille de cellules introduite sert de support à la description de la structure de grains, simulant les mécanismes de compétition de croissance. Une structure de grains initiale est préalablement définie, permettant la modélisation du processus d'épitaxie. Ce modèle CAFE est appliqué au soudage multipasse d'aciers de nuance Duplex 2202 pour différents paramètres procédés, dont l'influence est montrée. Les évolutions et orientations de la structure de grains, de même que les dimensions de la zone de

fusion, sont retrouvées, en conformité avec les résultats attendus de la littérature et les observations expérimentales.

CM-13-906

Influence des paramètres de soudage FSW sur la microstructure d'aciers

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-906

M. Allart ¹, A. Benoit ¹, E. Bertrand ², M. Chargy ³, P. Paillard ², G. Rückert ⁴.

¹IRT Jules Verne - Bouguenais (France), ²IMN - Université de Nantes - Nantes (France), ³STX France SA - Saint Nazaire (France), ⁴DCNS Research - Indret (France).

Le projet SIPSAN de l'IRT Jules Verne vise à introduire de nouveaux procédés de soudage dans la construction navale. Cette étude comprend des caractérisations métallurgiques de soudures réalisées par friction malaxage (FSW) sur trois aciers. Ces soudures ont été réalisées en deux campagnes d'essais, les paramètres de soudage (vitesse d'avance, vitesse de rotation,...) ayant été optimisés lors de la seconde campagne par rapport à la première. Nous cherchons à caractériser l'influence de cette optimisation des paramètres sur la structure métallurgique des assemblages.

Des macrographies et cartographies de microdureté, comme celle présentée sur la figure (exemple d'une soudure FSW sur un des aciers de l'étude) nous donnent des informations quant à la forme et la taille du cordon ainsi que sur la taille des zones caractéristiques de la soudure : zone affectée thermiquement, zone affectée thermo-mécaniquement et zone malaxée.

Le recoupement de ces informations avec des micrographies et analyses par diffraction des rayons X permet l'identification des phases en présence.

En comparant les résultats obtenus entre les soudures des deux séries (paramètres de soudage optimisés ou non), nous pouvons déterminer les gains possibles en termes de propriétés métalliques sur les assemblages. Il convient de se focaliser en particulier sur la présence ou non de structures de trempe de type martensite et sur les valeurs de dureté, qui peuvent présenter une influence néfaste en service.

Les informations collectées serviront par la suite à la fois à alimenter un modèle de simulation du soudage par friction malaxage ainsi qu'à envisager l'industrialisation du procédé dans les chantiers navals civils et militaires français.

CM-13-930

Soudage TIG statique : étude in situ des écoulements et de la solidification

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-930

A. Chiocca, F.D.B.N. Deschaux-Beaume, C. Bordreuil, F. Soulié.

LMGC - Montpellier (France).

En soudage à l'arc, les phénomènes gouvernant les écoulements et la solidification dans le bain de fusion sont directement liés aux interactions entre la source d'énergie du procédé et la pièce. Ces phénomènes, souvent couplés, déterminent en grande partie les caractéristiques en service des soudures.

Malgré l'intérêt scientifique et industriel de la solidification en soudage, il existe encore peu d'études expérimentales basées sur des observations in-situ. De telles observations permettent d'améliorer la compréhension des phénomènes mis en œuvre et de valider les modèles analytiques et numériques de solidification présents dans la littérature. En réalisant des observations in situ avec les moyens de visualisation actuels, il est alors possible d'analyser les écoulements dans le bain, les mécanismes de solidification, l'évolution des températures et l'apport d'énergie.

Pour ce faire, un bain de fusion statique et pleinement pénétré est initié avec une torche TIG sur une tôle d'acier inoxydable. La face envers du bain est observée par une caméra rapide permettant de filmer à plus de 5000 ips afin de capter les mouvements dans le liquide et l'avancée du front de solidification. La répartition des températures est obtenue grâce à des thermocouples autour du bain et l'énergie de soudage est déterminée à partir des mesures de tension et d'intensité.

Les données vidéo sont analysées avec des méthodes de traitement de l'image. Les écoulements dans le bain sont mesurés par PIV (Particle Image Velocimetry) et la détection du front de solidification est réalisée grâce à une application dédiée développée par le Laboratoire de Mécanique et Génie Civil. L'ensemble de ces mesures synchronisées entre elles, permet la comparaison avec des modèles que l'on retrouve dans des travaux tels que ceux de Ch.-A. Gandin et al. et O. Hunziker et al..

AF-13-956

Effet d'une couche tampon de zinc sur le soudage par points par friction-malaxage de l'aluminium et du cuivre

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#AF-13-956

M.N. Avettant-Fenoel ¹, R. Taillard ¹, S. Abdi ².

¹Université Lille 1 - Villeneuve D'asque (France), ²Université Lille 1 - Yniversité D'alger (usthb) (Algérie).

Comparé aux procédés en phase liquide, le soudage par friction-malaxage qui opère en phase solide est réputé réduire la formation des composés intermétalliques nocifs à la résistance mécanique des assemblages entre métaux à forte affinité chimique. La problématique est considérée dans le cas du soudage par points d'une tôle de cuivre de 5mm d'épaisseur avec une tôle d'aluminium de 2mm d'épaisseur. Le travail porte sur l'influence de la profondeur de pénétration d'un pion conique fileté dans la plaque supérieure de cuivre. Trois profondeurs comprises entre 1,5 mm et 6mm sont considérées.

Avec les conditions opératoires imposées (pression axiale, vitesse de rotation, vitesse de pénétration et temps de maintien) l'interposition d'une feuille de zinc de faible épaisseur à l'interface entre les deux matériaux s'est révélée nécessaire afin de conférer une excellente résistance mécanique aux soudures.

La profondeur de pénétration conditionne l'apport d'énergie et partant de façon très évidente l'importance du flux de matière autour de l'outil. Ce travail thermomécanique régit donc la géométrie de l'interface de jonction, la répartition du zinc et l'importance des échanges et des combinaisons entre les atomes de cuivre, d'aluminium et de zinc au niveau de cette interface. La résistance au cisaillement des assemblages est corrélée à la géométrie du point. La distribution, la continuité, la nature et l'épaisseur des couches intermétalliques au niveau du joint ainsi que la différence de microstructure (taille de grains, texture cristallographique) et de résistance mécanique de part et d'autre du joint sont d'autres paramètres déterminants.

Les résultats obtenus ouvrent la voie à une optimisation de cette nouvelle procédure.

AF-13-958

Modélisation hydrodynamique multiphasique multi-composant de la macro-goutte en soudage à l'arc.

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-958

T. Mahjoub.

Ecole nationale d'ingénieur de Tunis - Tunis (Tunisie).

L'objectif de notre étude est de présenter une modélisation numérique de l'apport massique et thermique en soudage MIG/MAG GMAW. Une configuration géométrique simplifiée a été choisie: la torche de soudage est statique et dépose un métal fondu sur une cible en acier circulaire de forte épaisseur, conduisant à la formation d'un dépôt axisymétrique. Une modélisation tri-phasique multi-composant non homogène du soudage GMAW a été proposée. Cette modélisation a permis de simuler numériquement le détachement des gouttelettes, en régime globulaire mais aussi en régime pulsé, en introduisant un facteur multiplicatif aux forces de gravité pour prendre en compte artificiellement les forces électromagnétiques. Cette approche permet aussi de simuler de manière assez fidèle à l'expérience l'évolution de la forme d'une macro-goutte formée par le dépôt de plusieurs centaines de gouttelettes en soudage « stationnaire ».

AF-13-1002

Effet des conditions et paramètres de soudage sur le comportement mécanique et caractéristiques microstructurales de la soudure par point de matériaux dissemblables

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-1002

K. Tahar Chaouch.

Univ Saad dahl labo LMTS - Blida (Algérie).

Ce travail est consacré à l'étude des propriétés de la soudure hétérogène réalisée par le procédé de soudage par résistance par point. L'une des grandes problématiques rencontrée lors du soudage par point de tôles dissymétriques en nature et/ou en épaisseur est le phénomène de déport du noyau liquide vers la tôle la plus résistive et, au final, formation d'une soudure de moindre qualité. Pour cette étude, nous avons considéré l'assemblage acier inoxydable-acier galvanisé. Les soudures sont réalisées avec une paire d'électrodes à face active plate de 8mm de diamètre. Les propriétés mécaniques (résistance traction-cisaillement, microdureté) et les caractéristiques microstructurales des soudures sont décrites en fonction des paramètres du procédé à savoir l'intensité de soudage, le temps de soudage et la force de compression. Les modes de rupture et les examens des microstructures des soudures ont permis de développer, d'une part, le scénario de développement et de la solidification d'un noyau de soudure et d'autre part, de comprendre l'influence des conditions aux interfaces (présence du revêtement zinc, l'évolution de la résistance de contact au cours du soudage, le rayon de contact électrothermique, ...etc) sur la résistance mécanique de cette configuration d'assemblage.

AF-13-1045

Comportement mécanique d'un joint soudé en acier destiné à des applications cryogéniques

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-1045

A. Abderrahmane ¹, H. Bounatiro ².

¹Université SAAD DAHLEB de Blida - Blida (Algérie), ²Centre de Recherche en Soudage et Contrôle CSC - Alger (Algérie).

Ce travail a pour objectif l'étude de la microstructure et du comportement mécanique des joints soudés des pipes utilisées dans les canalisations des stations de raffinage et de transport du GPL (Gaz et pétrole liquéfié). A cet effet, nous avons procédé au soudage d'un tube en acier de diamètre de 6 pouces (15.24 cm) par le procédé SMAW. La qualité du joint soudé a été éprouvée par l'analyse de la microstructure, les tests de contrôle non destructif et les essais mécaniques. Le comportement à la rupture est investigué en effectuant des essais de résilience sur des éprouvettes entaillées au niveau de la zone affectée thermiquement (ZAT) à différentes basses températures jusqu'à -150°. Les différents domaines de rupture ainsi que la température de transition ductile fragile sont clairement établies après analyse des énergies de rupture et l'examen des fractographies microscopiques des faciès de rupture obtenues par la microscopie électronique à balayage (MEB). La température de transition ductile fragile (TTDF) est déterminée proche de -66 C°, cette valeur est très acceptable pour l'objectif dans lequel cet acier est utilisé.

CM-13-1103

influence du procédé de soudage sur les propriétés mécaniques du superalliage base nickel 690

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-1103

J. Blaizot ¹, D. Nelias ¹, T. Chaise ¹, M. Perez ².

¹Université de Lyon, INSA-Lyon, LaMCoS UMR CNRS 5259, 69621 Villeurbanne, France - Villeurbanne (France), ²Université de Lyon, INSA-Lyon, MATEIS UMR CNRS 5510, 69621 Villeurbanne, France - Villeurbanne (France).

Certains composants des réacteurs à eau pressurisée sont soudés par soudage TIG (Tungsten Inert Gas). Pour obtenir de bonnes propriétés mécaniques et une bonne résistance à la corrosion sous contraintes, le superalliage base nickel, 690, est utilisé pour fabriquer ces pièces mécaniques. La compréhension des phénomènes physiques impliqués en soudage et la prédiction des contraintes résiduelles induites sont cruciales pour garantir la tenue en service de ces pièces mécaniques.

Le soudage provoque un changement majeur de la microstructure de la zone fondue et de la zone affectée thermiquement (ZAT), particulièrement pour le soudage multi-passes. Ces modifications microstructurales doivent être analysées pour une plus grande robustesse mécanique de l'assemblage de même que les contraintes et les déformations résiduelles. La prédiction des contraintes et déformations résiduelles implique de déterminer une loi de comportement incluant l'écrouissage isotrope et cinématique. Dans le but de reproduire les chargements thermo - mécaniques se produisant dans la ZAT, des expériences sont réalisées sur le simulateur thermo-mécanique Gleeble 3500 pour les essais de traction à chaud et sur une machine de traction hydraulique pour les essais cycliques.

L'alliage de base a tout d'abord été caractérisé par des essais de traction isothermes à différentes températures (de 25 à 1100°C) et vitesse de déformation (de 10⁻⁴ à

5.10-3 s-1). A partir de ces résultats, une loi unifiée a été proposée permettant de prédire le comportement mécanique de l'alliage sur toute la plage de températures et de vitesses de déformation étudiée. Dans cette loi, l'influence de la vitesse de déformation sur les phénomènes d'écrouissage et de restauration est prise en compte. Des essais cycliques représentatifs du procédé de soudage ont également été réalisés pour caractériser l'écrouissage cinématique.

CM-13-1131

Caractérisation expérimentale du transfert de métal en soudage à l'arc MIG-CMT et application du procédé pour l'assemblage acier-aluminium

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-1131

B. Mezrag ¹, F. Deschaux Beaume ¹, M. Benachour ².

¹Université de Montpellier 2, Laboratoire de mécanique et génie civil - Montpellier (France), ²Université Abou Bekr Belkaid, Laboratoire d'ingénierie des systèmes mécanique et matériaux - Tlemcen (Algérie).

Le procédé de soudage à l'arc MIG-CMT (Cold Metal Transfer) est un procédé récent permettant de mieux contrôler le transfert de métal en régime court-circuit. Il est ainsi possible, en contrôlant simultanément la forme du courant de soudage et le cycle de dévidage du fil, de minimiser l'énergie transmise par le procédé, ce qui s'avère particulièrement intéressant pour les assemblages acier-aluminium, pour lesquels la température de l'interface de liaison doit rester la plus basse possible pour limiter la formation de composés intermétalliques fragiles. La compréhension fine du mode de fonctionnement du procédé MIG-CMT, et en particulier de l'influence des paramètres du cycle de courant sur le transfert de masse et d'énergie, est une tâche primordiale pour maîtriser le choix des paramètres opératoires de soudage, de manière à garantir la qualité finale de l'assemblage. Pour y parvenir, le transfert en MIG-CMT d'un métal d'apport Al-5%Si sur une tôle d'acier électrozingée est étudié expérimentalement en enregistrant de manière synchronisée l'évolution des paramètres électriques du procédé via une centrale d'acquisition et les images du transfert métallique par caméra rapide. La relation entre l'énergie électrique et la quantité de métal d'apport fondue puis déposée lors des différentes phases du cycle électrique peut alors être étudiée. La corrélation avec les caractéristiques du cordon déposé (largeur, angle de mouillage) et de l'interface avec la tôle acier (distribution d'épaisseur de la couche d'intermétallique) a permis de montrer que certains types de cycles de courant sont mieux adaptés à l'assemblage acier-aluminium.

AF-13-1202

Étude microstructurale d'un multi-matériau obtenu par brasage d'un cermet WC-Co à une matrice WC-5W-5Ni infiltrée. Application : outils de forage monobloc en PDC.

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-1202

Z. Boutaghou ¹, H. Bouchafaa ², D. Miroud ², A. Haddad ¹.

¹Welding and NDT Research Centre (CSC) BP 64 CHERAGA, ALGERIA. - Alger (Algérie), ²Laboratoire des Sciences et de Génie des Matériaux (LSGM), Faculté de Génie Mécanique et de Génie des Procédés –USTHB, BP32 – 16111 El Alia, Bab Ezzouar Alger Algérie. - Alger (Algérie).

Les outils monobloc en taillants PDC (Polycristalline Diamond Compact) sont les mieux adaptés au forage pétrolier des formations géologiques tendres à mi-dures. Le niveau de performance (mètre foré) dépend essentiellement du niveau de cohésion du multi-matériau obtenu conjointement, par les procédés d'infiltration des mélanges de poudres et le brasage du couple matrice infiltrée ainsi formé avec le taillant en PDC.

Notre travail a pour objectif de contribuer à caractériser le multi-matériau WC-5W-5Ni/Ag-Cu-Zn/WC-3Co réalisé successivement par infiltration du mélange de poudres WC-5W-5Ni à l'aide d'un liant en Cu-30Mn-1P, et le brasage du consolidé ainsi formé au cermet WC-3Co constituant le substrat du taillant PDC. Nous nous intéressant particulièrement, à l'aspect microstructurale de l'interface afin de mettre en évidence les éventuelles interactions entre les systèmes très complexes constituant la zone de cohésion.

La microstructure et la répartition des éléments chimiques à l'interface ont été établies par microscope électronique à balayage couplée à l'EDS (cartographies X et des analyses ponctuelles). Nous avons discuté particulièrement, l'effet de la

dissolution des particules de Ni sur la microstructure du consolidé et le niveau de dureté.

CM-13-1251

Mesure in-situ de la température en cours de soudage : Application au calcul de la tension superficielle

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-1251

R. Monier ¹, F. Thumerel ¹, J. Chapuis ¹, G. Philippe ², F. Soulie ³, C. Bordreuil ³.

¹AREVA NP - Saint Marcel (France), ²AREVA NP - Paris, La Défense (France),

³Laboratoire de mécanique et génie civil, Université de Montpellier 2 - Montpellier (France).

Le soudage assure l'assemblage complet entre deux pièces en réalisant la fusion locale des pièces à assembler. Le soudage est un procédé d'assemblage clef pour la société AREVA NP. En effet, il est le seul à permettre la continuité de la matière nécessaire à la sécurité des composants lourds des installations nucléaires. Dans cette optique de sécurité, la qualité métallurgique et géométrique des assemblages soudés sont au cœur des préoccupations du groupe. C'est pourquoi de nombreuses études sont orientées vers le contrôle des procédés et leur amélioration.

L'estimation du champ de température des différentes zones liquides en soudage à l'arc représente un des facteurs permettant de contrôler le transfert d'énergie. Dans ce travail, une technique de mesure de température in situ du champ de températures dans les zones liquides est présentée. Cette technique une fois calibrée, permet de déterminer la température en surface. Sur des gouttelettes en vol libre, un dispositif expérimental couplant cette mesure avec la détermination comportement dynamique d'une gouttelette dans le plasma est mis au point. La mesure du comportement dynamique est réalisé à l'aide d'une méthode de détection de contour.

Ce dispositif permet d'estimer la tension superficielle à partir de la fréquence d'oscillation des zones liquides et de connaître la température en surface en cours de soudage. En variant les paramètres procédés, la tension superficielle en fonction de la température peut être estimée. Une mesure de cette propriété devrait

contribuer à une meilleure compréhension et description des mécanismes participant à l'intégrité du joint soudé.

CM-13-1268

Soudage MAG des tôles revêtues

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-1268

F. Smigielski.

co-auteur - Maizières-Les-Metz (France).

Le soudage MAG des tôles revêtues

Le soudage à l'arc des tôles revêtues de zinc est un problème bien connu par les soudeurs à l'arc. Malgré la connaissance du problème depuis le début des années 90, peu d'activités de recherche ont été engagées à ce jour sur ce sujet. Les principales difficultés rencontrées sont les projections pendant soudage, et la présence de porosités dans la soudure, qui peuvent en affecter la résistance mécanique.

Dans le secteur des carrosseries automobiles, les pièces qui sont concernées par le soudage MAG sont celles qui sont susceptibles d'être fortement sollicitées en statique, en fatigue ou en résistance au crash. Il s'agit évidemment de tôles épaisses (1,5 à 4 mm) pour la fabrication de châssis moteur, de liaisons au sol, de bras de suspension etc...

Actuellement la plupart des pièces évoquées précédemment sont fabriquées en tôles nues. Ce choix est en grande partie imposé par la problématique du soudage MAG. Pour pallier cette difficulté, certains constructeurs automobiles pratiquent la post-galvanisation au trempé sur pièces mais investissent, depuis peu, dans des activités de recherche sur la thématique du soudage MAG des tôles revêtues.

Il s'agira de présenter l'état de l'art et les derniers résultats obtenus sur ce thème.

AF-13-1404

Etude comparative en courant pulsé et alternatif par le procédé de soudage TIG sur l' alliage d'aluminium 2024

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-1404

L. Belgacem, N. Bensaid, A. Boutaghane, N. Hamouda.

Welding and NDT reseach centre (CSC) - Alger (Algérie).

L'aluminium 2024-T3 est un alliage typiquement aéronautique, utilisé pour les éléments structurels comme le fuselage ou les surfaces des ailes dû à sa très bonne tolérance aux dommages et haute résistance à la propagation des fissures de fatigue. Cependant, ce matériau présente une faible aptitude au soudage par les procédés conventionnels.

Le but de cette étude est d'évaluer les propriétés microstructurales et mécaniques des plaques soudées en alliage d'aluminium 2024-T3 à faible épaisseur, par le procédé TIG en courant alternatif puis en courant pulsé. Les assemblages soudés ont été réalisées à une fréquence de 2 Hz . Les détails des essais de traction, la microscopie optique (OM), les observations de la micro-dureté et la microscopie électronique à balayage (MEB) fractographie sont discutés.

KN-13-1480

Application soudage laser hybride dans l'automobile

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#KN-13-1480

C. Brémont, E. Catteau, P. Charrier, A. Chobeaux.

Renault - Le Mans (France).

Le développement du procédé de soudage laser hybride a suscité un grand intérêt et de très grandes attentes dans l'industrie. De nombreuses études en laboratoire ont été réalisées, et cette technologie a commencé à être déployée dans la construction navale. Cependant son expansion n'a pas été à la hauteur des attentes suscitées. En particulier dans l'industrie automobile le procédé ne s'est pas imposé. Une application industrielle grande cadence dans l'industrie automobile sera ici présentée. On insistera notamment sur les facteurs influents dans le choix de cette technologie et sur les conditions de sa mise en œuvre pour garantir une performance industrielle.

AF-13-1491

Scellement par traitement thermique assisté par micro-ondes de surconteneurs en matériau céramique pour déchets radioactifs– Etude des propriétés physico-chimiques

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-1491

N. Peillon ¹, D. Goeuriot ¹, S. Saunier ¹, C. Meunier ¹, M. Fattahi ², A. Abdelouas ², C. Poulier ³, N. Texier-Mandoki ⁴.

¹LGF ENS MINES de ST-Etienne - Saint-Etienne (France), ²SUBATECH ENS MINES de Nantes - Nantes (France), ³PACT - Limoges (France), ⁴ANDRA - Paris (France).

Les déchets radioactifs de haute activité (HA) résultent de la vitrification des produits de fission issus du traitement des combustibles usés. Ces déchets vitrifiés sont coulés dans des fûts en acier inoxydable qui constituent les colis primaires. Ces colis sont destinés à être stockés au futur centre de stockage géologique profond « Cigéo ». Ils seront pour cela eux-mêmes conditionnés dans des surconteneurs étanches afin de protéger les déchets vitrifiés d'une arrivée d'eau pendant la durée de la phase thermique (environ un millier d'années).

La société PACT a mis au point une céramique alumineuse, permettant de constituer des surconteneurs pour ces déchets (projet co-financé par l'Andra, PACT et la région Limousin). La problématique est de sceller hermétiquement le corps et le couvercle de ces surconteneurs après insertion du colis primaire. Les propriétés chimiques du verre nucléaire étant garantie tant que celui-ci n'est pas soumis à une température supérieure à 450°C, les technologies de scellement développées ne doivent pas engendrer de température supérieure à 600°C à la surface externe du surconteneur. Le travail exposé explore une nouvelle voie d'assemblage, en utilisant l'interaction des matériaux céramiques et verre avec les micro-ondes, pour chauffer très localement au niveau de la jonction, jusqu'à la fusion, pour obtenir une soudure

étanche. Ce process nécessite d'investiguer l'influence de diverses possibilités et paramètres :

- soudage céramique-céramique direct, si le matériau peut s'échauffer facilement par micro-ondes (couplage)
- adjonction d'une phase intermédiaire, à bas point de fusion (verre)
- paramètre du process : puissance, temps, permettant d'ajuster la température locale au niveau du joint ; la possibilité de traiter les pièces sous charge uniaxiale, parallèlement au traitement micro-ondes, sera étudiée.

Le poster présentera les avancées du projet SCELLMO, financé par le réseau NEEDS Déchets, travail collaboratif entre la société PACT, le Laboratoire Georges Friedel et Subatech, alliant des compétences en matériaux céramiques, traitements thermiques en champ micro-ondes, et tenue sous irradiation.

CM-13-1492

Les répliques métallographiques : une méthode non destructive pour contrôler la santé métallurgique de fabrications soudées

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-1492

P. Le Port.

Institut de Soudure - Villepinte (France).

La méthode des répliques métallographiques est une méthode de contrôle non destructif de surface permettant d'évaluer la santé métallurgique d'un équipement sur site, sans avoir recours à un prélèvement de matière. Cette méthode est particulièrement bien adaptée au contrôle de pièces lourdes et massives ne pouvant être transportées en laboratoire (structures mécanosoudées, appareils chaudronnées). C'est une technique normalisée mettant en œuvre un équipement portatif léger et applicable à un grand nombre de matériaux métalliques. Le mode opératoire consiste en une préparation de la surface à examiner, par polissage et attaque chimique, suivie d'une prise d'empreinte de la microstructure. L'empreinte, ou réplique, est ensuite examinée au microscope sur site ou en laboratoire (microscopie optique, MEB). La qualité de l'examen est équivalente à celle d'un examen métallographique de laboratoire.

Depuis plusieurs années, l'Institut de Soudure met en œuvre la méthode des répliques métallographiques dans divers secteurs industriels, notamment celui de la pétrochimie et de la production d'électricité (nucléaire, thermique). Les applications, nombreuses, couvrent toutes les étapes de la vie d'un équipement. Une des applications les plus récentes consiste à détecter les tous premiers stades d'endommagement par fluage, non encore détectables par les méthodes classiques de contrôle non destructif.

AF-13-1526

Simulation numérique de transfert de chaleur et de la mécanique de fluide d'un métal fondu lors d'une opération de soudage TIG.

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#AF-13-1526

M. Benzerga ¹, Y. Benkedda ², D. Semmar ².

¹doctorant - Blida (Algérie), ²enseignant - Blida (Algérie).

Simulation numérique de transfert de chaleur et de la mécanique de fluide d'un métal fondu lors d'une opération de soudage TIG.

Benzerga mohammed1, Benkedda younès2, Semmar Djaffar3

1(Laboratoire Aeronef. Institut d'aéronautique. Université BLIDA1.BLIDA. Algérie)

2(Laboratoire Aeronef. Institut d'aéronautique. Université BLIDA1.BLIDA.Algérie)

3(Laboratoire Gremi. UMR 6606. Université Orléans.45067 Orléans Cedex2.France)

Résumé :

Le soudage est largement employé dans le secteur industriel quand il s'agit un assemblage métallique (naval, spatial,...).

La haute qualité du cordon de la soudure nécessite à décrire physiquement le bain fondu en faisant appel aux disciplines du transfert thermique et la mécanique des fluides. Le courant de marangoni issu du gradient thermique et d'espèces chimiques (l'Oxygène et le soufre les plus souvent adoptées) au niveau de la surface libre, domine la migration des particules fluides. L'approximation de la masse volumique

issue du gradient de la température et La flottabilité dite aussi approximation de Boussinesq.

Dans cette optique, une modélisation consiste à décrire l'histoire thermique de l'objet, de plus le mouvement thermo-capillaire dans le bain fondu en tenant en compte l'effet de marangoni, et la flottabilité.

Mots-clés : GTAW, transfert de la chaleur, tension superficielle, bain fondu, élément tensio-actif

Références

[1] A.Traidia, F. Roger, Acomputational investigation of different helium supplying methods for the improvement of GTA welding. Journal of material processing technology 211 (2011) 1553-1562.

[2] W.Dong, S. Lu, D.Li, Y.Li, GTAW liquid pool and the weld shape variations under helium gas shielding. International journal of heat and mass transfer 54 (2011) 1420-1431.

[3] A.B Murphy, M. Tanaka, K. Yamamoto, S. Tashiro, Modeling of arc welding: The importance of including the arc plasma in the computational domain. Vacuum 85 (2010) 579- 584.

[4] S.Mishra, T.J. Lienert, M.Q. Johnson, T.DebRoy, An experimental and theoretical study of gas tungsten arc welding of stainless steel plates with different sulfur concentrations. Acta Materialia 56 (2008) 2133-2146.

[5] F. Lu, X. Tang, H. Yu, S. Yao, Numerical simulation on interaction between TIG welding arc and weld pool, Computational Materials science 35 (2006) 458-465.

CM-13-1569

Transformé de Fourier de Courte durée pour l'analyse des signaux longs : Application au contrôle par ondes guidées

**13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée
Nationales du Soudage**

#CM-13-1569

S. Yaacoubi, W. Yaacoubi, M. El Mountassir.

Institut de Soudure - Yutz (France).

Le contrôle par la technique des ondes ultrasonores guidées de longue portée, en tant que technique de contrôle non destructif, connaît un essor croissant notamment dans la maintenance des tuyauteries et canalisations. Les données des ondes guidées peuvent être analysées dans le domaine temporel, fréquentiel ou tempo-fréquentiel. Une certaine complémentarité entre ces différents types d'analyse existe. Cet article est consacré à l'introduction de l'analyse Temps-fréquence et à la spécificité de son application aux signaux de longue portée. Dans une première phase de cet article, on essaye d'apporter une lecture pragmatique de ce type d'analyse en appuyant les principes fondamentaux de l'analyse temps-fréquence par des exemples simples et parlants. Des exemples industriels sont déclinés avec de plus amples détails, argumentant le pouvoir de cette technique de traitement de signal, qui a la spécificité d'assurer le trait d'union entre le domaine temporel et le domaine fréquentiel.

CM-13-1595

Analyse ultrasonore de sandwichs collés en vue de qualifier des éprouvettes d'adhésion variable

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9è Journée Nationales du Soudage

#CM-13-1595

J. Moysan ¹, N. Massacret ², N. Ylla ³, J. Galy ³.

¹AMU - Aix En Provence (France), ²LMA - Aix En Provence (France), ³IMP - Lyon (France).

Un des objectifs du projet ANR ISABEAU (Innovating for Structural Adhesive Bonding Evaluation and Analysis with Ultrasounds) est de produire des pièces étalons collés avec des niveaux d'adhésion variable. Il s'agit donc d'aller au delà des méthodes usuelles d'implantations de défauts localisés afin de produire des pièces dites étalons pour le Contrôle Non Destructif. Le projet ISABEAU fera appel à toute la panoplie des méthodes ultrasonores pour chercher à caractériser un niveau d'adhésion variable. A ce stade du projet des échantillons collés de sandwich aluminium-époxy-aluminium ont été réalisés au Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux Polymères (UMR CNRS 5223) avec trois traitements de surface. Les traitements de surface et le choix de l'adhésif doivent permettre une réticulation à l'ambiante au vu des dimensions escomptées pour les plus grands assemblages prévus. Les traitements de surface se décomposent en dégraissage, sablage et silanisation. Selon le niveau de conversion, partiel ou total, 5 types d'assemblages peuvent être produits avec les mêmes substrats. Les épaisseurs de colle sont constantes pour les échantillons de même taille. D'autre part des essais de cisaillement selon la norme NF EN 2243-1 sur des éprouvettes fabriquées avec les mêmes matériaux que les sandwichs permettront de valider le choix de ces traitements de surface. Les résultats d'imagerie ultrasonore haute fréquence en transmission et en réflexion qui sont présentés permettent de discuter de la qualité des éprouvettes obtenues et d'indiquer comment les utiliser au mieux pour les essais ultrasonores comme les ondes guidées.

KN-13-1672

Procédés de soudage: évolution des procédés : Le CMT Twin

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^è Journée Nationales du Soudage

#KN-13-1672

S. Roy, G. Hardy.

TSN - Roissy En France (France).

Le CMT Twin est équipé de deux sources de courant numériques travaillant de manière totalement indépendante. Il est ainsi possible d'adapter individuellement les process de soudage aux exigences de l'application et de choisir librement les vitesses d'avance du fil dans le cadre des limites physiques. Grâce à cette grande plage de vitesses d'avance et à la flexibilité dans le choix des modes opératoires de soudage, l'utilisateur peut désormais piloter l'apport de chaleur et le taux de dépôt avec une grande précision pour obtenir une vitesse, et une qualité de soudage optimale, dans quasiment toutes les positions de soudage et combinaisons de matériaux, acier, aluminium, inox, cladding...

Le CMT Twin constitue ainsi le complément idéal au mode opératoire de soudage à grande capacité à deux fils TimeTwin et complète la gamme de produits Fronius vers le segment supérieur. Le TIME Twin utilise deux arcs électriques (« Lead » et « Trail »), pulsés si nécessaire, et synchronisés avec un décalage des phases de 180°. Des limites comparables sont ainsi fixées à la vitesse d'avance. Le TimeTwin est en conséquence le bon choix lorsque les vitesses de soudage et de dépôt doivent être augmentées. Cependant, avec les soudures pour lesquelles une section de soudure importante est nécessaire, un apport de chaleur trop élevé peut représenter un problème, ainsi que le montre l'exemple de la soudure d'angle : si le bain de fusion est trop liquide, la soudure s'effondre. Ces cas nécessitent un mode opératoire de soudage dans lequel l'apport de chaleur est moindre avec des possibilités de réglage plus précises.

CM-13-1776

Présentation de l'initiative nationale MACS et de sa feuille de route

13 - Procédés d'assemblage - Inclut les 9^e Journée Nationales du Soudage

#CM-13-1776

E. Chauray.

Herakles groupe SAFRAN - Le Haillan (France).

Après une introduction sur des exemples d'assemblages collés dans le groupe SAFRAN, l'initiative nationale MACS pour « Maîtrise des Assemblages Collés Structuraux » est présentée. MACS est construit autour d'une feuille de route nationale fédératrice visant la maîtrise des assemblages collés structuraux. Cette initiative est soutenue par les 4 pôles Aerospace Valley, Astech, Pegase et EMC2.

Le collage structural est déjà largement utilisé dans le domaine du spatial et de la défense, et va sans doute se développer davantage dans le domaine de l'aéronautique, d'une part du fait de l'objectif de réduire la masse des avions, et d'autre part du fait de la généralisation de l'emploi des composites. C'est pourquoi cette thématique figure naturellement dans les feuilles de route des pôles. Au delà de nos filières, il y a des applications et des développements dans d'autres domaines, par exemple le nautisme, le ferroviaire ou l'automobile.

Cependant, bien qu'il s'agisse d'une technique ancienne, il reste beaucoup à faire pour la maîtriser en conditions industrielles, la rendre plus robuste (reproductibilité), l'adapter aux évolutions des réglementations (Reach ...), lui donner des fonctions supplémentaires (conduction thermique / électrique, démontabilité...), et la faire accepter par les autorités de certification (prédiction, contrôle, vieillissement, ...).

Les objectifs que se donnent les promoteurs de cette feuille de route sont :

- mener les projets de R&D adressant les problématiques rapidement évoquées ci-dessus
- mettre en place une filière nationale

- contribuer à la formation

Trois axes de travail principaux ont été identifiés : Matériaux et procédés, Contrôles non destructifs et méthodologies et modélisation mécanique et physico-chimique

Une feuille de route détaillée incluant ces 3 axes a été élaborée et évolue au fil des projets qui sont lancés.

MATÉRIAUX

2014

24-28 nov.

Montpellier

Index des auteurs

Index des auteurs :

A

Abba G. [00087](#) | CM-13-87
Abdelouas A. [01491](#) | AF-13-1491
Abderrahmane A. [01045](#) | AF-13-1045
Abdi S. [00956](#) | AF-13-956
Alexis J. [00779](#) | CM-13-779
Allart M. [00906](#) | CM-13-906
Atoui L. [00277](#) | AF-13-277
Avettant-Fenoel M.N. [00956](#) | AF-13-956

B

Baffie T. [00643](#)
Belgacem L. [01404](#) | AF-13-1404
Bellet M. [00794](#) | CM-13-794
Bellot C. [00779](#) | CM-13-779
Ben Attar A. [00087](#) | CM-13-87
Benachour M. [01131](#) | CM-13-1131
Benferhat R. [00012](#)
Benkedda Y. [01526](#) | AF-13-1526
Benoit A. [00113](#) | CM-13-113, [00906](#) | CM-13-906
Bensaid N. [01404](#) | AF-13-1404
Benzerga M. [01526](#) | AF-13-1526
Bertrand E. [00035](#) | CM-13-35, [00207](#) | CM-13-207, [00906](#) | CM-13-906
Bigot R. [00087](#) | CM-13-87
Blaizot J. [01103](#) | CM-13-1103
Bordreuil C. [00930](#) | CM-13-930, [01251](#) | CM-13-1251
Bouchafaa H. [01202](#) | AF-13-1202
Bounatiro H. [01045](#) | AF-13-1045
Boutaghane A. [01404](#) | AF-13-1404
Boutaghou Z. [01202](#) | AF-13-1202
Brémont C. [01480](#) | KN-13-1480
Bridier F. [00522](#) | CM-13-522

C

Carin M. [00035](#) | CM-13-35, [00113](#) | CM-13-113
Carron D. [00522](#) | CM-13-522
Catteau E. [01480](#) | KN-13-1480
Chaise T. [01103](#) | CM-13-1103
Chapuis J. [00274](#) | CM-13-274, [01251](#) | CM-13-1251
Chargy M. [00906](#) | CM-13-906
Charrier P. [01480](#) | KN-13-1480
Chauray E. [01776](#) | CM-13-1776
Chaussé F. [00035](#) | CM-13-35
Chen S. [00794](#) | CM-13-794
Chiocca A. [00930](#) | CM-13-930
Chobeaux A. [01480](#) | KN-13-1480
Christien F. [00113](#) | CM-13-113
Cicala E. [00249](#) | CM-13-249

D

De Langlade R. [00092](#) | CM-13-92
Deschaux Beaume F. [01131](#) | CM-13-1131
Deschaux-Beaume F.D.B.N. [00930](#) | CM-13-930
Desmaison O. [00794](#) | CM-13-794
Diot J.L. [00092](#) | CM-13-92
Doyen O. [00151](#) | CM-13-151
Duband M. [00249](#) | CM-13-249
Duchemin H. [00643](#)

E

El Mountassir M. [01569](#) | CM-13-1569

F

Fattahi M. [01491](#) | AF-13-1491
Fautrat S. [00274](#) | CM-13-274
Ferrari A. [00365](#) | CM-13-365
Feuillet E. [00092](#) | CM-13-92
Fourment L. [00639](#) | CM-13-639

G

Galy J. [01595](#) | CM-13-1595
Gandin C.A. [00639](#) | CM-13-639, [00794](#) | CM-13-794
Garnier S. [00274](#) | CM-13-274
Gastebois S. [00639](#) | CM-13-639
Goeuriot D. [01491](#) | AF-13-1491
Gommez F. [00075](#) | CM-13-75
Graneix J. [00779](#) | CM-13-779
Grevey D. [00249](#) | CM-13-249
Guillemot G. [00639](#) | CM-13-639, [00794](#) | CM-13-794

H

Haddad A. [01202](#) | AF-13-1202
Hamouda N. [01404](#) | AF-13-1404
Haouas J. [00365](#) | CM-13-365
Hardy G. [01672](#) | KN-13-1672
Hassaine Daouadji T. [00012](#)
Huguet F.R. [00274](#) | CM-13-274

J

Jemal N. [00087](#) | CM-13-87
Jubin L. [00139](#) | KN-13-139, [00365](#) | CM-13-365

L

Langlois L. [00087](#) | CM-13-87
Lazreg H. [00012](#)
Le Bras D. [00365](#) | CM-13-365
Le Gloannec B. [00151](#) | CM-13-151
Le Port P. [01492](#) | CM-13-1492
Lebaili S. [00510](#) | AF-13-510
Legrand V. [00639](#) | CM-13-639
Lozach A. [00031](#) | CM-13-31
Lu Y. [00092](#) | CM-13-92

M

Mahjoub T. [00958](#) | AF-13-958
Masri T. [00779](#) | CM-13-779
Massacret N. [01595](#) | CM-13-1595
Mathieu A. [00107](#) | CM-13-107
Meunier C. [01491](#) | AF-13-1491
Mezrag B. [01131](#) | CM-13-1131
Michaud W. [00274](#) | CM-13-274
Miroud D. [01202](#) | AF-13-1202
Monier R. [01251](#) | CM-13-1251
Moysan J. [01595](#) | CM-13-1595

N

Nelias D. [01103](#) | CM-13-1103
Nicolas H. [00274](#) | CM-13-274
Noël S. [00643](#)

P

Paillard P. [00035](#) | CM-13-35, [00113](#) | CM-13-113,

[00207](#) | CM-13-207, [00906](#) | CM-13-906
Pardheillan F. [00779](#) | CM-13-779
Peillon N. [01491](#) | AF-13-1491
Perez M. [01103](#) | CM-13-1103
Petit A.J. [00274](#) | CM-13-274
Philippe G. [01251](#) | CM-13-1251
Pilvin P. [00522](#) | CM-13-522
Poulier C. [01491](#) | AF-13-1491
Poulon-Quintin A. [00151](#) | CM-13-151
Pouvreau C. [00151](#) | CM-13-151

R

Ramard C. [00522](#) | CM-13-522
Robin V. [00075](#) | CM-13-75
Romanjek K. [00643](#)
Romilly P. [00207](#) | CM-13-207
Roy S. [01672](#) | KN-13-1672
Rückert G. [00035](#) | CM-13-35, [00113](#) | CM-13-113,
[00522](#) | CM-13-522, [00906](#) | CM-13-906

S

Sallamand P. [00249](#) | CM-13-249
Salvador V. [00643](#)
Saoudi A. [00277](#) | AF-13-277
Saunier S. [01491](#) | AF-13-1491
Scandella F. [00139](#) | KN-13-139
Semmar D. [01526](#) | AF-13-1526

Silvain J.F. [00092](#) | CM-13-92
Smigielski F. [01268](#) | CM-13-1268
Soulie F. [01251](#) | CM-13-1251
Soulié F. [00930](#) | CM-13-930

T

Tahar Chaouch K. [01002](#) | AF-13-1002
Taillard R. [00956](#) | AF-13-956
Taouinet M. [00510](#) | AF-13-510
Texier-Mandoki N. [01491](#) | AF-13-1491
Thumerel F. [00274](#) | CM-13-274, [01251](#) | CM-13-1251
Tomashchuk I. [00107](#) | CM-13-107, [00249](#) | CM-13-249
Trantien T. [00030](#) | CM-13-30

V

Villaret V. [00075](#) | CM-13-75

Y

Yaacoubi S. [01569](#) | CM-13-1569
Yaacoubi W. [01569](#) | CM-13-1569
Ylla N. [01595](#) | CM-13-1595

Z

Zimmer Chevret S. [00087](#) | CM-13-87