

SOUDAGE MIAB: SOUDAGE A L'ARC TOURNANT

PROCEDE DE SOUDAGE EXECUTE AUTOMATIQUEMENT

Le soudage MIAB (Magnetically Impelled Arc Butt Welding ou soudage en bout à l'arc tournant) est un procédé de soudage à la forge soudant toute la section d'un seul mouvement. Il est surtout utilisé dans l'industrie automobile européenne pour l'assemblage de profilés tubulaires en acier à fine paroi circulaires et non circulaires. Ce procédé de soudage exécuté automatiquement est très intéressant, grâce au temps de cycle court et à la qualité très reproductible. Cet article donne une vue globale du principe de fonctionnement et des applications possibles.

Koen Faes – Institut Belge de la Soudure, Vladimir Kachinskiy – E.O. Paton Welding Institute (Ukraine) & Jörg Herrich – KUKA Industries GmbH (Allemagne)



Figure 1: principe du procédé de soudage MIAB
(Source: KUKA Industries GmbH)

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les deux pièces à souder sont serrées dans des étaux à commande hydraulique ou pneumatique. La première phase du procédé consiste à réunir les pièces à souder (ex. tubes), tandis qu'un courant continu est appliqué. Une bobine est mise en place autour des deux extrémités de tube. Les pièces sont ensuite à nouveau séparées, sur une distance de 1 à 3 mm, pour générer ainsi un arc électrique. Cet arc tourne à une vitesse élevée autour de la section, en utilisant des aimants permanents ou des électro-aimants. L'arc est maintenu pendant un certain nombre de secondes, jusqu'à ce que les surfaces aient suffisamment chauffé et fondu. La vitesse linéaire de l'arc peut atteindre 375 m/s. Cela se traduit par une section chauffée de manière uniforme des pièces à souder. Lors de la deuxième phase du procédé de soudage, l'arc est éteint et les deux tubes sont soudés l'un à l'autre. Ici, la matière fondue est poussée vers l'extérieur. Le temps de cycle typique est de 1 à 6 secondes, selon le diamètre et l'épaisseur de paroi. Le procédé de soudage MIAB est une alternative potentielle au soudage par friction, au soudage par résistance ou au soudage en bout par étincelage. Ces procédés se déroulent de manière complètement automatique: dès les paramètres

corrects réglés, il suffit à l'opérateur de serrer les pièces à souder dans la machine et de lancer le cycle de soudage.

SOUDURES MIAB

L'arc électrique tournant et le déplacement de matière suivant pendant la phase de forge évitent toute oxydation dans la zone de soudage et donnent lieu à un assemblage sans occlusions de gaz. Sous l'effet de la force de forgeage, la résistance de la soudure équivaut au moins à celle du matériau de base. Vu que dans le cadre du procédé de soudage MIAB, les paramètres de soudage déterminant la qualité sont toujours disponibles via des mesures, une qualité constante peut être garantie sur la base des paramètres du procédé. D'un point de vue métallurgique, l'utilisation d'un gaz de protection n'est pas nécessaire pour le soudage d'acier faiblement et non allié car les défauts comme le manque de liaison, la formation d'oxyde etc. sont éliminés de la soudure par la méthode appliquée. Pour l'acier inoxydable et l'aluminium, un gaz de protection est, en revanche, utilisé. Dans le cas de l'aluminium, même une part d'air infime dans l'environnement de la soudure suffit pour la formation d'oxydes et donc des défauts de soudage.

Comme gaz, on utilise souvent du CO₂, garantissant aussi une densité de courant plus élevée et une pénétration plus profonde. Une condition importante pour obtenir un bon assemblage, c'est que les oxydes soient éliminés des surfaces de contact. L'oxydation peut être évitée en protégeant les surfaces chauffées ou en amenant les métaux oxydés à l'état liquide et en les chassant de la zone de soudage.

A l'Institut de Soudage Paton en Ukraine, il a été prouvé qu'il était possible de souder des tubes avec une épaisseur de paroi jusqu'à 16 mm et des barres pleines avec un diamètre allant jusqu'à 32 mm. Lors du soudage de barres, la protection de la zone de soudage dans l'espace entre les éléments à souder est obtenue par une évaporation intensive du métal, de sorte que l'oxydation du métal fondu est évitée. La figure 2 montre la macro-section de tuyaux soudés avec un diamètre de 44 mm et une épaisseur de paroi de 3,6 mm.

PRINCIPAUX PARAMETRES DU PROCEDE DE SOUDAGE MIAB

Pour garantir la qualité, il faut régler et surveiller les paramètres du procédé. Tous les paramètres

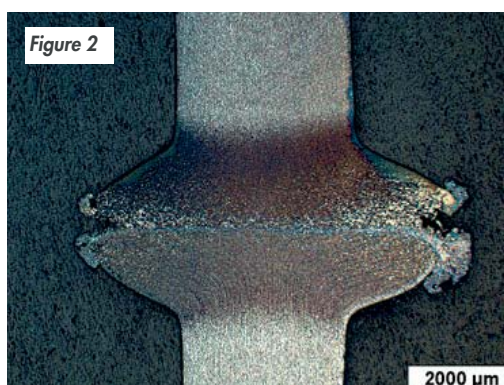


Figure 2

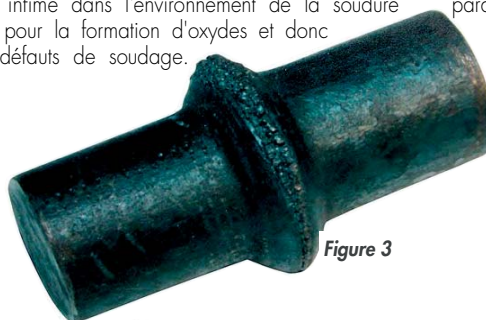


Figure 3

Figure 2: section transversale de l'assemblage MIAB de deux tuyaux (diamètre: 44 mm, épaisseur de paroi: 3,6 mm)
(Source: Institut Belge de la Soudure)

Figure 3: arbres soudés (diamètre: 22 mm)
(Source: Institut de Soudage Paton)

Figure 4: arbre de transmission soudé
(Source: KUKA Industries GmbH)



Figure 4

Figure 5: assemblage d'un arbre de transmission avec un bout forgé (Source: KUKA Industries GmbH)

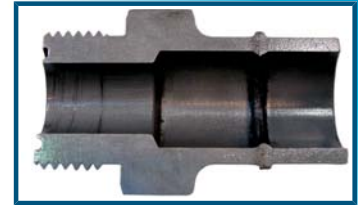
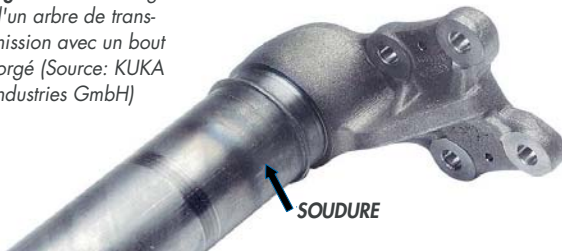


Fig. 7: soudage d'un tube et d'un raccord: élément d'un engin de terrassement (diam.: 27 mm, épaisseur de paroi: 3,2 mm, temps de soudage: 5 sec) (Source: Institut de Soudage Paton)



Figure 6: éléments de l'industrie automobile (Source: GM/Opel et KUKA Industries GmbH) [1]

Figure 8: tige de piston soudée (diam.: 22 mm, épais. de paroi: 2,2 mm, temps de soudage: 3,6 sec) (Source: Institut de Soudage Paton)



importants du procédé peuvent toujours être affichés en temps réel sur un écran de lecture. Les principaux paramètres sont:

- la force de forgeage;
- la réduction totale des pièces à souder;
- le courant à travers les pièces;
- la tension;
- le courant à travers les bobines pour la rotation de l'arc.

AVANTAGES DU PROCÉDE DE SOUDAGE MIAB

- Pas besoin de matériau d'apport;
 - très faible consommation de matériau (réduction des pièces à souder);
 - faible émission de fumée de soudage;
 - échauffement uniforme et concentré, et donc pas de déformations;
 - pas de pores, d'inclusions ni de défauts volumétriques apparaissant lors du soudage à l'arc conventionnel;
 - bavures de soudage limitées à l'intérieur et à l'extérieur du tuyau;
 - pas besoin de préparation des surfaces de soudage;
 - automatisation complète possible;
 - temps de soudage court: la vitesse de production peut ainsi être considérablement accrue.
- Un facteur crucial, surtout dans le cas d'une production complètement automatique;
- peu d'étapes de production: vu la grande constance dimensionnelle, des usinages de finition souvent coûteux sont superflus. Le redressage

avec des traitements thermiques n'est pas nécessaire non plus.

LIMITES DU PROCÉDE DE SOUDAGE MIAB

- Il n'y a pas d'applications de production du procédé de soudage MIAB connues pour le soudage d'alliages non ferreux. L'industrie automobile, spatiale, pétrolière et gazière témoignent néanmoins d'un vif intérêt pour l'application de ce procédé pour le soudage d'éléments en aluminium, de produits tubulaires en titane et de tuyaux en inox. Un intérêt surtout motivé par la possibilité de réduire les coûts mais aussi par la garantie d'une grande reproductibilité.
- Lors du soudage d'alliages non ferreux et d'acier inoxydable, l'utilisation de gaz de protection s'impose.
- Le procédé MIAB utilise un forgeage pour former la soudure après l'échauffement par l'arc tournant. Comme avec les autres procédés de forgeage, cela entraîne la formation de bavures de soudage à l'intérieur et à l'extérieur des composants soudés. Pour bon nombre d'applications, ces bavures ne doivent pas être éliminées. Si la surface intérieure ou extérieure doit toutefois être lisse, elles doivent l'être.

APPLICATIONS DU PROCÉDE DE SOUDAGE MIAB

Les applications du procédé de soudage MIAB sont

surtout basées sur ses quatre principales caractéristiques: temps de soudage courts (grande productivité), soudages de qualité supérieure et grande sécurité de production et reproductibilité. Vu l'application étendue dans l'industrie automobile pour la fabrication en série de divers éléments comme des arbres de transmission, des boîtiers à filtre etc., l'expérience se limite surtout aux aciers faiblement et non alliés, ainsi qu'à l'acier de décolletage et l'acier moulé. De bons exemples d'applications du MIAB sont les soudures dans les arbres de transmission des **figures 4 et 5**.

Le brevet et les publications de ce procédé datent des années 1940 mais son utilisation dans l'industrie n'a débuté que dans les années 1970. Les applications industrielles concernent surtout l'assemblage d'éléments en acier et en acier moulé dans l'industrie automobile, exigeant résistance et qualité constante. Les essieux de voitures et de camions (essieux arrière, arbres de volant, ...) et les amortisseurs sont des exemples typiques. D'autres applications sont le soudage de petits tuyaux d'installations de réfrigération et de tuyaux de petit diamètre pour la distribution de gaz.

Le procédé MIAB mis au point à l'Institut de Soudage Paton est largement utilisé dans diverses branches de l'industrie pour les conduites et tuyaux de forme différente, avec un diamètre jusqu'à 300 mm et une épaisseur de paroi de 0,8 à 12 mm, et parfois même jusqu'à 16 mm. Le procédé est utilisé pour le soudage de conduites (ex. pour le transport de gaz) avec un petit diamètre. Il est exécuté sans matériau d'apport, ni

Figure 10

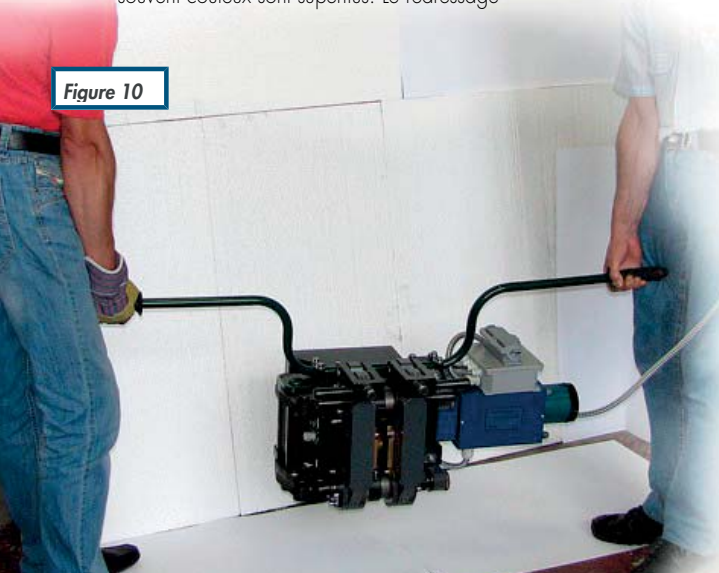


Figure 11

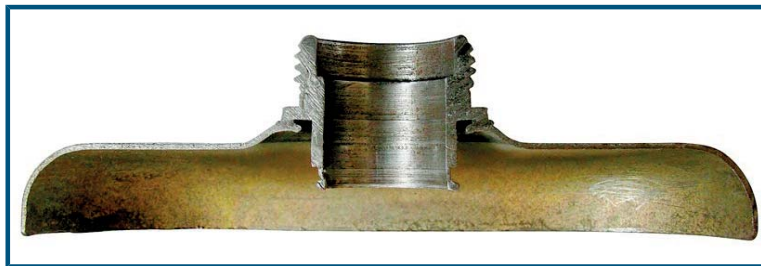


Figure 10: machine à souder MIAB mobile (Source: Institut de Soudage Paton)

Figure 11: soudage MIAB de conduites sur un chantier (Source: Institut de Soudage Paton)



Figure 9: boîtier d'un compteur de gaz (diamètre du raccord: 32 mm, épais. de paroi: 1 mm, temps de soudage: 2,5 sec) (Source: Institut de Soudage Paton)



faisabilité du soudage MIAB de tubes de sondage pour l'extraction de pétrole et de gaz. Dans la première partie de l'étude de faisabilité, des essais de soudage poussés ont été exécutés avec des tubes d'un diamètre et d'une épaisseur de paroi de respectivement 47,8 et 3 mm. Ces assemblages ont ensuite subi une expansion avec des éléments de serrage coniques selon la norme DIN EN ISO 8493. Ici, une grande expansion a pu être obtenue ($\approx 23,5\%$) sans traitement thermique après le soudage. Pour valider la technologie, un prototype en grandeur nature a été conçu (**figure 12**). Des essais de soudage ont été exécutés avec succès avec des tubes d'un diamètre et d'une épaisseur de paroi de respectivement 244,5 et 12,7 mm.

automobile, pour l'assemblage d'éléments critiques, comme les arbres de transmission et de roue. Ses avantages sont le temps de processus court de quelques secondes, la bonne reproductibilité grâce au degré élevé d'automatisation et l'excellente qualité de soudage. La technique permet d'assembler des tuyaux d'un diamètre maximal de 300 mm et d'une épaisseur de paroi maximale de 10 mm. Le procédé de soudage MIAB a été étudié pour la première fois par l'Institut de Soudage Paton dans les années 1950 et 1960. Par la suite, il a été développé pour des applications commerciales par Kuka Welding Systems, qui l'a baptisé MagnetArc. Aujourd'hui, il est utilisé pour un large éventail d'applications dans toute l'Europe et en Ukraine. Paton et KUKA poursuivent la recherche et le développement dans ce domaine.

Les entreprises souhaitant étudier la faisabilité de cette technique de soudage pour leurs produits peuvent contacter l'IBS (contact: Koen Faes – Koen.Faes@bil-ibs.be).

refroidissement ni gaz de protection. Le temps de soudage est assez court. Par exemple: pour le soudage d'une conduite d'un diamètre et d'une épaisseur de paroi de respectivement 51 et 2,5 mm, il est de 7 sec.

Ces vingt dernières années, plus de 100.000 km de conduites ont été soudés en Ukraine, en Russie et en Biélorussie pour la stabilisation thermique de sol gelé et pour la construction de serres.

Les soudages sont exécutés en mode stationnaire comme sur le terrain, à des températures ambiantes pouvant atteindre $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

SOUDEGE MIAB DE TUBES DE SONDAGE

A l'université de Hanovre, un projet visant à étudier l'utilisation de la technologie de soudage MIAB pour l'assemblage de tubes de sondage, pour remplacer les raccords vissés, est en cours. Les assemblages subissent une très lourde charge mécanique; les tubes de sondage connaissent une expansion dans le sol, de sorte que le diamètre augmente de 15 à 20%. L'installation de ces assemblages de tubes de sondage vissés implique des coûts élevés et il y a un risque de fuite après un certain nombre d'années d'utilisation.

Le remplacement des assemblages vissés par des assemblages soudés fiables et automatisés fait partie d'une initiative de recherche de la firme Baker Hughes en collaboration avec l'université Leibniz de Hanovre. Le procédé MIAB a été identifié comme la méthode de soudage la plus adéquate. Le but du projet est de démontrer la

MACHINES A SOUDER

C'est en 1972 que KUKA présente sa première machine à souder MagnetArc. Depuis lors, KUKA n'a cessé d'améliorer et de développer la technique. Les machines de la dernière génération disposent d'une qualité de processus et d'une productivité meilleures (**figure 13**). Un système de processus, de commande et de données optimisé offre encore plus de contrôle à l'utilisateur.

L'Institut de Soudage Paton a de longues années d'expérience avec le procédé MIAB, et a produit plusieurs prototypes de machines à souder. La **figure 14** montre le type MD-133, prévu pour le soudage de tubes de petit diamètre (diamètre de 12 à 57 mm, épaisseur de paroi de 1 à 4 mm). Les machines hydrauliques peuvent souder des tubes avec un diamètre et une épaisseur de paroi maximaux de respectivement 220 et 12 mm.

CONCLUSION

Le soudage MIAB est depuis les années 1970 un procédé de soudage bien ancré dans l'industrie

SOURCES

[1]: W. Weh. Magnetarc-Schweißen, das wirtschaftliche Verfahren höchster Schweißqualität für die Fertigung von Sicherheitsteilen im Chassis-Bereich. Studiedag Fügen rohrförmiger Bauteile, 06/12/2006, SLV, München.

[2]: D. Aldag, A. Varahram, J. Lehr, H.J. Maier, T. Hassel. Fügen von Casingsegmenten mit dem MIAB-Schweißverfahren für die Anwendung am Bohrturm, DGMK/ÖGEV-Frühjahrstagung 2016, ISBN 978-3-941721-64-7, Celle, 2016.

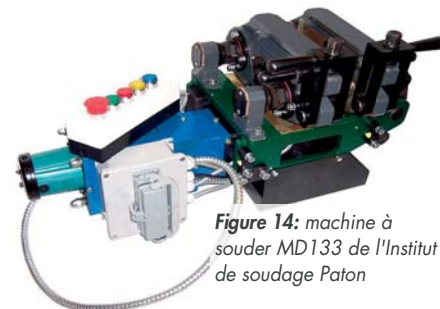


Figure 14: machine à souder MD133 de l'Institut de soudage Paton

Figure 12: configuration d'essai MIAB pour le soudage de tubes de sondage (Source: Université Leibniz de Hanovre) [2]



Figure 13: machine à souder MagnetArc de KUKA (Source: KUKA Industries GmbH)