

'SOUDAGE PAR RÉSISTANCE DES ACIERS À HAUTE RÉSISTANCE'

PROJET DE RECHERCHE COLLECTIVE

Cet article est un bref résumé du projet de recherche collective sur le soudage par résistance des aciers à haute résistance et des aciers revêtus, projet mené par le Centre de Recherche de l'IBS et l'institut De Nayer en 2004 et en 2005. Cette recherche a été consacrée à la soudabilité de différents aciers à haute résistance récemment développés et à l'influence des revêtements sur aciers sur la soudabilité par résistance.

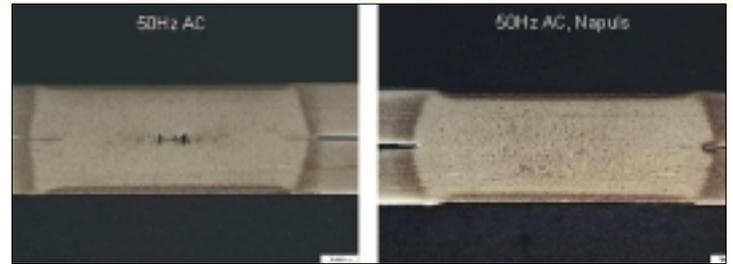


Par Ing. B. Verstraeten, Ing. J. Feyaerts
Centre de Recherche de l'IBS
(Traduction: M.C. Ritzen - IBS-BIL)

Développements

Durant les dernières années, de nombreux développements ont été réalisés dans le domaine des aciers à haute résistance, principalement pour répondre à la venue des matériaux légers (aluminium) dans le secteur automobile. Une quantité de nouveaux aciers avec une résistance à la traction allant jusque 1.500 N/mm² a été développée. Des données sur la soudabilité de ces aciers ne sont pas disponibles, dans certains cas. La soudabilité de ces aciers est, dans la plupart des cas, très différente de celle des aciers classiques. Ceci signifie que les paramètres de soudage lors du soudage par résistance ou soudage par points sont très différents de ceux utilisés pour les aciers classiques. Le développement de ces nouveaux aciers a provoqué l'apparition de nouveautés dans le domaine de l'appareillage de soudage par résistance: machines de soudage par résistance à fréquence moyenne (1 KHz MFDC au lieu des machines classiques 50 Hz AC), machines de soudage à réglage adaptable où le courant peut être adapté durant le cycle de soudage. Les aciers à haute résistance ont un carbone équivalent supérieur à celui des aciers classiques. Si, en plus, on tient compte des vitesses de refroidissement très élevées, propres au procédé de soudage par résistance, on peut s'attendre à ce que la soudure et la zone environnante atteignent des valeurs

de dureté souvent très élevées. Ceci a pour conséquence que lors de l'essai par déboutonnage, la soudure ne sera pas complètement déboutonnée mais partiellement (partial interfacial failure) ou même pas du tout (full interfacial failure). Ces différents déboutonnages ne signifient pas automatiquement qu'on a affaire à une mauvaise soudure ou à un collage. Cela donne cependant une idée de la dureté et de la ductilité de la soudure. Afin d'améliorer la résistance à la corrosion des aciers utilisés, on applique souvent des revêtements. Les revêtements les plus courants sont les revêtements galvanisés (par ex. galvanisation ELO ou hot dip) mais les nouveaux développements se situent également dans le domaine des revêtements organiques 'soudables' (par ex. bonazinc, myriaweld...). Les problèmes probables sont une diminution de la durée de vie des électrodes de soudage par points et l'instabilité du champ des paramètres de soudage (diminution du domaine de soudabilité, apparition de projections). Afin de structurer le projet, il a été subdivisé en différentes actions. Un des objectifs du projet était de déterminer la soudabilité des nouveaux aciers (champ des paramètres de soudage). Pour ce faire, on a soudé par points différents aciers avec un effort sur les électrodes déterminé, différents temps de soudage et une plage de courants de soudage. La soudure était considérée comme bonne quand le diamètre de la



En haut: Coupe de la lentille de soudure, TRIP690 1,6 mm Z, sans deuxième pulsation (L) et avec deuxième pulsation (R);

En bas: soudure partiellement déboutonnée, TRIP 780 1,2 mm (Partial Interfacial Failure)

soudure était supérieur au 3,5 fois la racine de l'épaisseur de la tôle. Le diamètre maximal de la lentille de soudure est celui où des projections apparaissent (limite de projections). Une plage de courants de soudage plus grande (grande variation de courants à appliquer permettant d'obtenir une bonne soudure) signifie une meilleure fiabilité du procédé et un plus grand nombre de paramètres de soudage. Pour les essais de soudage par points, on a toujours utilisé des têtes d'électrode en CuCrZr F16. Pour déterminer la soudabilité des différents aciers, on a effectué, à chaque fois, des essais mécaniques (essais de traction), des examens métallographiques (microretassures/fissures de solidification...), des essais de fatigue et des mesures de dureté. La durée de vie des électrodes lors de l'application de différents revêtements a été largement étudiée. De plus, la valeur du logiciel de simulation (SORPAS) et du logiciel Design of Experiments (DoE) a été testée. Une action complémentaire à consister à examiner l'utilité de l'examen par ultrasons sur les soudures par points. Jusqu'il y a peu, on vérifiait la qualité des soudures au moyen des essais destructifs de déboutonnage. L'examen non destructif offre également de nombreuses perspectives. L'utilité de l'examen par ultrasons suscite un certain scepticisme dans les entreprises. Une autre action a été consacrée à la résistance à la corrosion des aciers revêtus.

Première action

Une première action a constitué en une vaste étude bibliographique et un décompte et une description des différents aciers à haute résistance récemment développés et des nouveaux revêtements. Cette étude a permis aux participants du projet (commission d'utilisateurs) de sélectionner les aciers et les revêtements à tester. La recherche a ainsi été axée sur les matériaux actuellement utilisés dans l'industrie. Le choix des aciers (variable en épaisseur entre 0,7 mm et 1,75 mm): aciers pour emboutissage (STD 1111 et DX56), aciers laminés thermomécaniques (TM 500 et TM 700), acier Dual Phase (DP 590), aciers Transformation Induced Plasticity (TRIP 690 et TRIP 780), acier au bore (BTR 165) et aciers HSLA (H360 LA et H260 LA). Les revêtements: galvanisés ELO, galvanisés Hot Dip et un vinylcoating organique avec des particules conductrices (MyriaweldR).

Deuxième action

L'action la plus importante (A2) a été consacrée à l'examen de la soudabilité et au champ de paramètres de soudage déterminé par acier et ce, tant soudé avec la machine classique 50 Hz AC qu'avec la machine 1 kHz MFDC. Il serait trop long de parler de chaque acier. Nous donnerons donc quelques conclusions générales. Lors du soudage par résistance des aciers à haute résistance, il faut exercer un effort

sur les électrodes plus important (4 kN au lieu de 3 kN). Le champ des paramètres de soudage diminue lorsque la résistance de l'acier augmente. Le domaine de réglage de courant applicable diminue. Avec des temps de soudage plus longs, le champ des paramètres de soudage peut à nouveau augmenter. Les figures donnent un exemple de champ de paramètres de soudage pour un acier TRIP 690 et un acier TRIP 780. Au cours d'essais complémentaires, l'effet d'une deuxième pulsation après la pulsation de soudage a été vérifié. Le soudage avec une deuxième pulsation devrait provoquer un recuit des structures dures. Cependant, la deuxième pulsation sert principalement à réduire l'apparition de cavités/fissures de solidification au milieu de la lentille de soudage. L'adoucissement de la structure qui était attendu par le réchauffement de la soudure par application d'une deuxième pulsation, était cependant à peine sensible (chute de la dureté de quelques pour cents par rapport à la soudure sans deuxième pulsation). Du point de vue résistance et rupture, aucune différence nette n'a pu être perçue entre les éprouvettes soudées avec ou sans deuxième pulsation. Ceci ne veut pas dire qu'une deuxième pulsation ne peut pas être efficace. Une variation en courant et moment de la deuxième pulsation mènera certainement, dans certains cas, à une dureté plus faible et un mode de rupture acceptable. L'application de machines de soudage de fréquence moyenne augmente, dans la plupart des cas, le champ des paramètres de soudage. Le diamètre minimal de la lentille de soudure est plus rapidement atteint, avec une valeur de courant moindre. De plus, le soudage avec une machine de 50 Hz AC ainsi

qu'avec une machine de 1 kHz MFDC n'a aucune influence sur le comportement à la rupture, la résistance, la dureté ou la structure.

Troisième action

Ici, l'influence des revêtements sur la durée de vie des électrodes et la soudabilité en général a été examinée. On n'a été confronté à aucun problème grave avec les aciers galvanisés et les données sont disponibles pour différents aciers et revêtements. Des problèmes ont été rencontrés lors du soudage de l'acier ayant un revêtement Myriaweld. Il s'agit d'un revêtement vinyl avec particules conductrices déposées sur un acier galvanisé. Avec les machines 50 Hz AC et 1 kHz MFDC, aucune soudure consistante n'a pu être déposée; l'apparition de projections n'a pu être évitée et après une dizaine de soudures, les électrodes étaient recouvertes du produit de revêtement.

Afin de contourner ce problème, on a utilisé une machine de soudage de fréquence moyenne avec possibilités adaptables de contrôle. Le courant peut être adapté durant le cycle de soudage en fonction de la valeur de résistance mesurée durant le soudage. Pour cette méthode, il faut d'abord déposer une soudure shunt. Avec la machine adaptable, des soudures ont pu être déposées avec un diamètre de lentille stable. Les projections étaient bien moindres. La durée de vie des électrodes était également plus élevée (80 points de soudure) qu'avec la machine 50 Hz AC.

Généralement, on mesure une durée de vie des électrodes beaucoup plus longue lors de l'utilisation des machines MFDC que lors de l'utilisation des machines AC (augmentation de 50 à 100%!).

Quatrième action

Cette action a été consacrée à l'utilité du software de simulation. Celui-ci pourrait diminuer le nombre d'essais pour déterminer le champ des paramètres de soudage étant donné qu'on aurait moins de tâtonnements et d'erreurs. Pour le soudage par projections, le software de simulation utilisé (SORPAS) donna une plus-value nette et les simulations correspondaient aux résultats en pratique. Pour le soudage par points, la conclusion finale est moins prometteuse. Le software demande de nombreuses entrées (nouveaux matériaux) et prend donc beaucoup de temps. Il reste de nombreux tâtonnements et erreurs durant la simulation. Il n'y a aucune clarté sur l'endroit de la soudure obtenue dans le champ des paramètres de soudage (près de la limite de projections ou près de la sous-limite?). Il n'y a également aucune information sur le comportement à l'échec (pelage ou non). Après entrée des paramètres de soudage utilisés dans les tests pratiques, la simulation par ordinateur n'a pas pu établir de concordance avec les résultats venant de la pratique.

Dans cette action, on a également testé dans quelle mesure un Design of Experiments (DoE) peut être utile pour les applications de soudage par points. Contrairement au software de simulation, le fonctionnement d'un DoE est basé sur des paramètres spécifiques à la machine sur lesquels il faut encore agir pratiquement. On peut conclure qu'en réalisant une série limitée d'essais de soudage et en les analysant statistiquement, on peut obtenir une image réaliste d'un procédé de soudage déterminé. Lors de l'application d'un DoE, on peut également mieux situer les résultats obtenus dans le champ des paramètres de soudage.

Cinquième action

À propos de l'examen non destructif par ultrasons, on peut donner les résultats suivants: l'examen par ultrasons peut détecter les défauts suivants: collage, soudure trop petite, soudure brûlée... Cette action a été réalisée par Opel Belgium car elle a le plus d'expérience dans le domaine et du personnel qualifié. Les résultats de l'examen par ultrasons (approbation/désapprobation) ont été comparés aux résultats émanant de la détermination du champ des paramètres de soudage (bonne soudure, diamètre de soudure trop petit, ...). La fiabilité de l'examen par ultrasons variait dans ce projet de 65 à 80%.

Sixième action

Dans la dernière action concernant la corrosion, des éprouvettes soudées revêtues ont été soumises à un essai de brouillard salé. Le revêtement Myriaweld principalement semblait garantir une résistance à la corrosion bien meilleure. Par contre, la soudabilité des éprouvettes avec un revêtement Myriaweld était lamentable.

Conclusion finale

Le projet a donné un bon aperçu du soudage par points des nouveaux aciers à haute résistance et des paramètres de soudage et résultats applicables en pratique. L'avantage d'une machine de soudage à fréquence moyenne par rapport à une machine de soudage 50 Hz AC a été démontré plusieurs fois. L'utilité des softwares de simulation est relative. Toute information relative aux paramètres de soudage par points d'aciers à haute résistance peut être obtenue au Centre de Recherche de l'IBS. □

Examen par ultrasons, A-scan d'une soudure par points d'une bonne qualité

