



Résumé de recherche – Évaluation du rendement actuel des soudures de l'acier TC128B de wagon-citerne

Transport des marchandises dangereuses | Division de la recherche scientifique

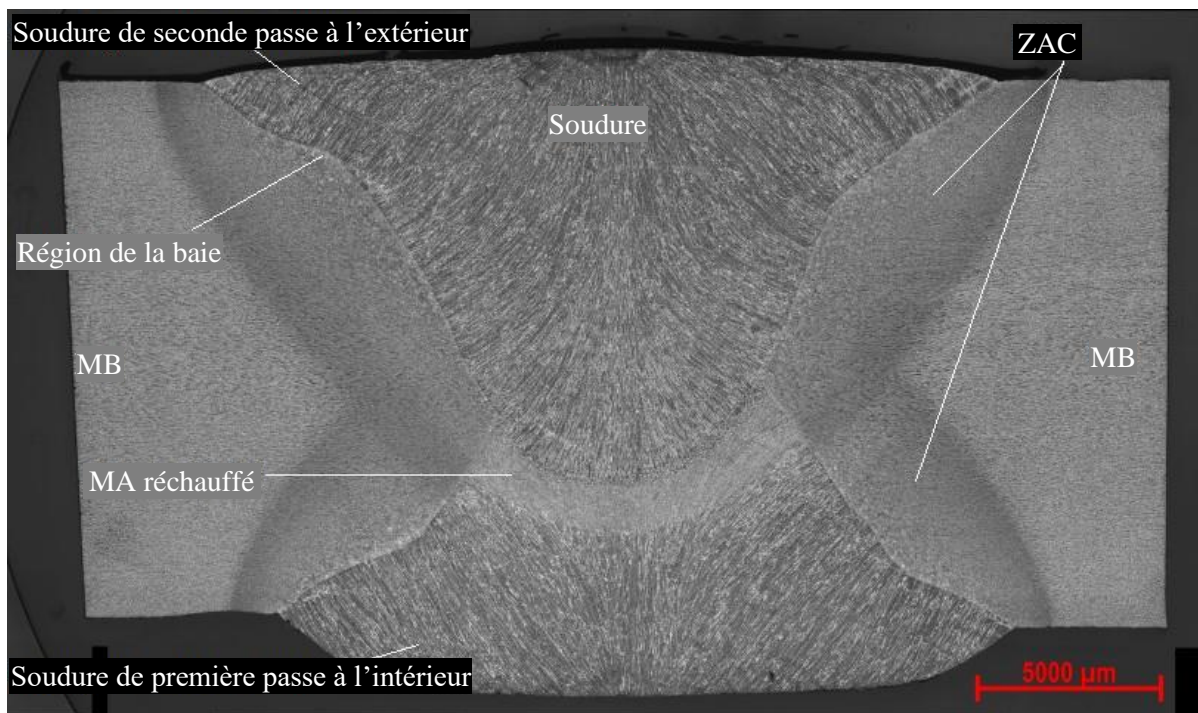


Figure 1: Macrographie d'une soudure circconférentielle en TC128B

CONTEXTE

La principale méthode de fabrication des wagons-citernes consiste à souder ensemble des sections d'acier formées. Le métal d'apport (MA) peut avoir des caractéristiques de rendement très différentes de celles du métal de base (MB) en raison des différences de composition des éléments et de la microstructure qui se

produisent au cours du processus de soudage. Bien que le MA soit souvent plus résistant que le MB dans les essais statiques, il est aussi souvent plus fragile que le MB dans les essais dynamiques, ce qui signifie qu'il est plus susceptible de se fracturer lors d'un impact. Le processus de soudage crée également une zone affectée par la chaleur (ZAC) dans le MB adjacent à la soudure, qui, en raison du

cycle de chauffage et de refroidissement de la soudure, se comportera différemment du MB et du MA. Une macrographie montrant la section transversale d'une soudure sur de l'acier TC128B est présentée sur à la Figure 1.

Les wagons-citernes fonctionnent souvent à des températures froides où tous les aciers deviennent plus fragiles. Comme le MA peut être plus fragile que le MB, il est important de faire l'essai à basse température. Les wagons-citernes peuvent également être exposés à des températures élevées s'ils sont mis en cause dans des incendies. Les coques des wagons-citernes comportent des soudures longitudinales qui s'étendent sur toute la longueur des wagons et des soudures circonférentielles. Les soudures longitudinales et circonférentielles sont incluses dans ces travaux et l'essai a été réalisé à la fois à haute et à basse température.

OBJECTIFS

L'objectif de ces travaux était de caractériser et de quantifier le rendement des soudures sur les wagons-citernes non pressurisés (acier TC128B) entre -80 et 850 °C. Ces informations étaient nécessaires pour déterminer si les modèles d'évaluation du rendement des wagons-citernes en cas d'incendie, et les modèles d'évaluation du rendement des wagons-citernes en cas de déraillement à des températures froides, doivent traiter le MA différemment du MB du wagon-citerne. Ce rapport résume les travaux réalisés par l'équipe de CanmetMATÉRIAUX (CMAT) de Ressources naturelles Canada à la demande de la Direction générale du transport des marchandises dangereuses (DGTMD) de Transports Canada (TC) entre 2017 et 2021. Les résultats de ces travaux sont présentés dans deux rapports (publiés en 2019 et 2021) et résumés ici.

MÉTHODES

L'échantillon d'essai utilisé provenait d'un wagon-citerne TC-117, qui est un wagon-citerne non pressurisé. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour quantifier la performance des soudures de l'acier TC128B.

La composition élémentaire dans la soudure et le métal de base a été mesurée par spectroscopie.

La résistance ou la capacité du matériau à supporter une charge a été mesurée à l'aide d'essais de traction. Les essais de traction sur les soudures croisées ont été utilisés comme une simple comparaison entre la résistance du MB et du MA.

La microstructure, qui est la structure microscopique de l'acier, a été observée par microscopie optique. La microstructure exerce une influence considérable sur le rendement de l'acier. Les surfaces de fracture des échantillons défailants ont été examinées à l'aide de la microscopie électronique à balayage (MEB).

La variation de la résistance à partir du MB à travers la ZAC et le MA a été mesurée à l'aide d'un pénétrateur de microdureté.

La ténacité, ou la capacité de la soudure à résister à un impact ou à la fissuration, a été mesurée à l'aide d'essais de résilience Charpy V (CNV), qui déterminent l'énergie de CVN. Un matériau présentant une faible énergie de CVN est considéré comme fragile.

RÉSULTATS

La composition élémentaire du MA s'est avérée conforme aux spécifications. La teneur en oxygène était supérieure à celle du MB. La teneur en carbone du MA était considérée comme élevée par rapport aux normes de soudage, mais restait conforme aux spécifications.

La microstructure du MA et de la ZAC était conforme aux résultats attendus. La ligne centrale de la soudure présente une structure à gros grains, comme le montre la Figure 2. La structure à gros grains est indésirable, car elle peut réduire la ductilité d'un matériau, bien qu'elle soit généralement inévitable dans les soudures.

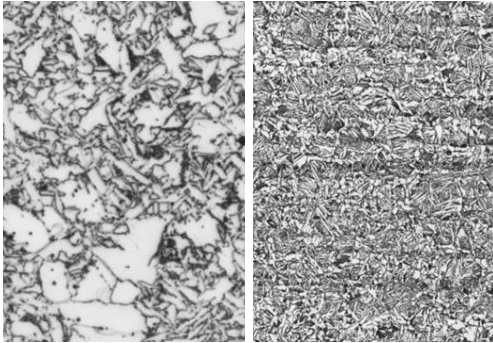


Figure 2 : Microstructure de la ligne centrale du MA grossier (à gauche) et microstructure du MB à grain fin (à droite).

Les essais de traction sur les soudures croisées réalisés de -60 à 850 °C ont montré que le MA est plus résistant que le MB. C'était le résultat souhaité. La résistance à la traction (RT) des échantillons a diminué avec l'augmentation de la température d'essai.

La variation de la résistance dans la soudure longitudinale a été mesurée à l'aide de la microdureté, la mesure de la résistance localisée à la déformation permanente (plastique). La dureté n'est pas synonyme de résistance, mais elle est en corrélation avec la résistance d'un matériau donné. La microdureté peut être mesurée à une échelle beaucoup plus petite que la résistance et est donc utile pour évaluer les soudures. La microdureté est plus faible dans le MB, augmente dans la ZAC et est constamment plus élevée dans le MA. Ce résultat est attendu et correspond aux essais de traction des soudures croisées.

L'essai CVN a été utilisé pour mesurer la ténacité du MB, et des soudures longitudinales et circonférentielles. Cet essai mesure la quantité d'énergie qu'un échantillon pré-entaillé absorbe lors d'un impact. Les essais ont été réalisés à des températures allant de -80 à 23 °C. Les résultats sont présentés à la Figure 3. Ces courbes sont appelées courbes de transition de Charpy, car elles montrent comment le matériau passe d'une ténacité et d'une ductilité élevées à des températures plus élevées à une fragilité et une faible ténacité à des températures basses. Ce comportement se produit dans tous les aciers. Les valeurs de l'essai CVN du MA étaient significativement inférieures à celles des spécimens du MB et de la ZAC. Les résultats de l'essai initial à -34 °C (29J, 13J, 24J), n'ont pas satisfait aux exigences de la spécification de l'AAR pour les wagons-citernes sous pression (M-1002) d'une moyenne de 20,3 J et d'un minimum de 13,6 J. Le nouvel essai ultérieur (20 J, 19 J, 20 J) n'a pas non plus satisfait à la spécification de nouvel essai. La norme M-1002 est une spécification de fabrication et ne comprend pas de dispositions pour la réalisation d'essais CVN sur des soudures en service ou hors service, mais elle a été utilisée pour la comparaison, car il n'existe pas d'essai alternatif en service. De plus, ce critère de spécification des soudures s'applique aux wagons-citernes sous pression, et non au wagon-citerne non pressurisé testé dans le cadre de cette étude, car il n'existe actuellement aucune norme similaire pour les wagons-citernes non pressurisés. Cependant, les résultats indiquent que l'essai CVN est important pour les wagons-citernes dans les applications climatiques à basse température.

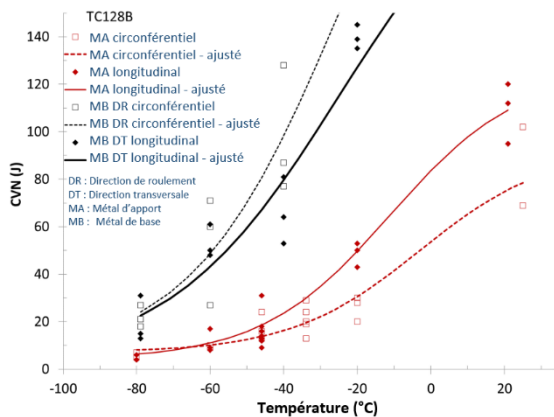


Figure 3 : Courbe de transition Charpy de la soudure et du MB TC128B

Les surfaces de fracture de deux échantillons de Charpy ont été examinées au MEB, l'une testée à 25 °C avec CVN=69 J, et l'autre testée à -46 °C avec CVN=13 J. L'échantillon avec CVN=69 J présentait une fracture ductile d'environ 35 % et une fracture fragile de 65 %. Le 13 J présentait une rupture par clivage sans ductilité discernable (Figure 4). Les examens de fractographie par MEB indiquent que la faible ténacité du MA TC128B était associée aux constituants ou aux inclusions microstructurales de la soudure, et non aux défauts de soudure.

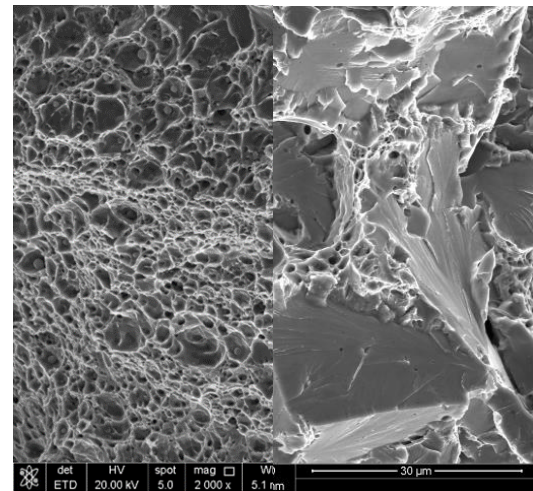


Figure 4 : Fractographies MEB de la rupture ductile (à gauche) et de l'initiation du clivage fragile (à droite) dans des échantillons de MA CVN testés à 25 et -46 °C.

CONCLUSIONS

La composition, la microstructure, la RT et la dureté des soudures en acier TC128B du wagon-citerne non pressurisé étaient conformes aux spécifications. La résistance à la traction des échantillons de soudure transversale diminue avec l'augmentation de la température, notamment à des températures supérieures à 600 °C. Au-dessus de 700 °C, le MA peut devenir plus faible que le MB. Dans les modèles d'incendie de wagons-citernes, cette différence de résistance pour les wagons-citernes protégés thermiquement n'est pas susceptible d'entraîner des différences significatives dans les résultats et peut ne pas justifier l'inclusion des propriétés des matériaux de soudure dans les modèles de matériaux. La résistance à l'impact du MB et de la ZAC était conforme à la spécification de l'AAR; toutefois, la résistance diminuait avec la température, et la résistance à l'impact du MA circonférentielle à -34 °C s'est avérée inférieure à la référence des exigences de la spécification de l'AAR pour les wagons-citernes sous pression. Cette réduction de

la ténacité peut jouer un rôle dans les incidents à basse température et pourrait être étudiée plus avant. La fractographie MEB a montré que la faible ténacité du MA TC128B était associée à des inclusions de soudure plutôt qu'à des défauts de soudure.

Tous les échantillons testés ont été prélevés dans un nouveau wagon-citerne DOT-117 donné par la Federal Railroad Administration (FRA) du ministère américain des Transports (DOT). Les résultats présentés ici ne sont pas nécessairement représentatifs de tous les wagons-citernes DOT-117.

MESURE À VENIR

Étant donné la réduction de la ténacité du MA à des températures plus basses, les travaux futurs suggérés comprennent l'examen des données sur les incidents par temps froid pour voir s'ils ont été une source de défaillance. Des échantillons supplémentaires de soudures de wagons-citernes non pressurisé peuvent également être évalués afin de déterminer si la réduction de la ténacité à basse température est courante ou s'il s'agit d'un résultat aberrant pour la soudure testée dans cette étude. Si la ténacité réduite des soudures à basse température semble conduire à des défaillances, sur la base des données d'incidents, alors la ténacité à basse température d'autres matériaux courants pour les wagons-citernes, tels que l'A516 ou l'ASTM A572, qui est couramment utilisé pour les longrines tronquées, pourrait également être étudiée.

RÉFÉRENCES

Titre : Caractérisation de la microstructure, de la traction (23 à 850 °C) et des courbes de transition Charpy d'une soudure circonférentielle d'un acier actuel pour wagons-citernes (TC128B) (2019)

Auteurs : Xu, S., McKinley, J., Chen, J., J. Liang, et A. Laver (RNCAN)

PT : TP 15515E

ISBN : 978-0-660-42411-8

Numéro de catalogue : T86-74/2022E-PDF

[Accéder au rapport complet \(en anglais\)](#)

Titre : Évaluation du rendement actuel des soudures de l'acier TC128B de wagon-citerne (2021)

Auteurs : S. Xu, J. Chen, J. McKinley, J. Liang, L. Yang and A. Laver (NRCan)

**ISBN : 978-0-660-37902-9 (PDF)
978-0-660-37903-6 (papier)**

Numéro de catalogue : NR24-86/2021E-PDF

[Accéder au rapport complet \(en anglais\)](#)



REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par Transports Canada et réalisée par Ressources naturelles Canada.

COMMUNIQUER AVEC : Pour obtenir de plus amples renseignements sur cette étude, veuillez communiquer avec:

Division de la recherche scientifique du TMD

TC.TDGScientificResearch-RecherchescientifiqueTMD.TC@tc.gc.ca

MOTS CLÉS

TC128B, TC 117, wagon-citerne, soudure, essai de résilience Charpy V, essai de traction