

LA MEILLEURE FAÇON DE FAIRE UNE SOUDURE PLUS SOLIDE. QUELLE SOUDURE ? -1/2

Une enquête sur les diverses pratiques et procédures de soudage des tubes en acier 4130.

Ces deux articles sur le soudage TIG présenteront les résultats des recherches qui ont été effectuées pour répondre à des questions telles que :

- Quel procédé devrait être utilisé avec les métaux de base ?
- Quel métal d'apport utiliser ?
- Une soudure nécessite-t-elle un traitement thermique après soudage.

Les résultats des expériences de laboratoire peuvent vous aider à vous faire votre propre opinion.

Le terme « qualité aéronautique » décrit des tôles et des bandes en acier allié qui sont appropriées pour des pièces critiques ou fortement sollicitées d'aéronefs, de missiles et d'usages similaires exigeant des normes de performance rigoureuses.

Les pratiques spéciales d'aciérie requises pour produire des tôles et des bandes de qualité aéronautique comprennent :

- la sélection soigneuse des matières premières chargées dans le four de fusion,
- un contrôle exceptionnellement étroit du procédé d'élaboration de l'acier,
- le rognage et le rebut d'une plus grande partie du lingot que ce qui est normal pendant la réduction primaire,
- la sélection de coulées spécifiques ou de portions de coulées pour l'exécution d'une commande donnée d'un client,
- l'utilisation d'un contrôle exceptionnellement étroit des variables du procédé pendant le réchauffage et le laminage.

Les tôles et bandes en acier allié de qualité aéronautique sont couvertes par des spécifications et un matériau de cette qualité est ordinairement certifié comme ayant été produit en qualité aéronautique.

Les tôles et bandes en acier allié de qualité structurale aéronautique satisfont à toutes les exigences relatives aux produits laminés de qualité aéronautique. En outre, elles satisfont aux exigences spécifiées concernant les propriétés mécaniques, qui peuvent comprendre la résistance à la traction, la limite d'élasticité, l'allongement, les résultats de l'essai de pliage, ou les résultats d'autres essais similaires.

Ce groupe de matériaux est en outre caractérisé comme un acier à teneur moyenne en carbone contenant jusqu'à 5% de teneur totale en éléments d'alliage et de 25% à 50% de carbone. La combinaison de la teneur en carbone, qui favorise les niveaux de dureté, et de la teneur en éléments d'alliage, qui favorise la formation de carbures, aboutit à des microstructures plus dures. Un problème qui apparaît est que cet acier présente une plus grande susceptibilité à la fissuration de soudage si les procédures de soudage ne sont pas suivies de près.

La majorité de l'acier allié de qualité aéronautique est du 4130 fabriqué sous forme de tubes à paroi mince utilisés à la fois dans l'aéronautique et dans les sports mécaniques. Les diamètres des tubes vont d'environ 0.5" de diamètre pour les plus petits à 3.5" à 4" de diamètre pour les plus grands. Les épaisseurs du matériau vont de .030" à .050", ou davantage, pour les ossatures de fuselage d'aéronef et pour les cages de sécurité. Les applications dans les sports mécaniques peuvent être légèrement plus épaisses selon l'application.

Un avantage principal du matériau est qu'il possède un rapport résistance/poids très élevé, ce qui le rend hautement souhaitable pour ce type d'application. Typiquement, le 4130 est utilisé à l'état normalisé ou à l'état proche du normalisé et ne nécessite pas de traitement thermique.

APPLICATIONS AÉRONAUTIQUES

Le 4130 est utilisé depuis de nombreuses années dans la fabrication d'aéronefs à structure tubulaire. L'un des aéronefs les plus reconnaissables, le Stearman, contient du 4130 dans l'ossature de plusieurs éléments constitutifs, y compris le fuselage. L'aéronef s'est révélé durable et robuste lorsqu'il a formé des milliers d'aviateurs américains pour le service pendant la Seconde Guerre mondiale. En témoignage de la conception et du matériau, beaucoup volent encore aujourd'hui.

Étant donné la durabilité éprouvée du 4130, il n'est pas étonnant qu'il soit encore le matériau de choix pour la construction de structures tubulaires dans les aéronefs, et le soudage est la méthode principale de construction d'une structure tubulaire. Cependant, le soudage du 4130 exige des précautions particulières en raison de la nature du matériau.

Il est sensible à la fois à la fragilisation par l'hydrogène et à la fissuration par l'hydrogène. Les matériaux 4130 sont également sensibles à l'écrouissage de déformation et à l'écrouissage, conditions qui peuvent résulter de la découpe et du formage mécaniques du matériau en préparation du soudage. Les vérifications avant soudage devraient comprendre une inspection afin de déterminer si des fissures ont été produites pendant la phase de préparation du matériau de l'opération.

En raison de la facilité de fabrication et de la formabilité, le 4130 trouve de nombreuses applications critiques dans les sports mécaniques, tels que les automobiles et les motocyclettes, mais il trouve également sa place dans les bicyclettes BMX et d'autres applications sportives.

Les produits du marché comprennent des éléments tels que des pièces de suspension, des cages de sécurité, des structures tubulaires et des mécanismes de commande de la chaîne cinématique. Les contrôles dans ce secteur de fabrication sont stricts, mais ils ne sont pas appliqués aussi rigoureusement que dans le cas de l'aéronautique.

Le soudage du 4130 dans les sports mécaniques relève de plusieurs catégories, notamment les fabrications nouvelles, les pièces de rechange adaptables, les pièces prototypes de préproduction et les pièces expérimentales, les modifications de composants dues à des changements de conception, et les réparations de structures existantes.

Très souvent, le niveau de compétence et l'expertise du soudeur sont insuffisants au cours de ces processus, ce qui entraîne fréquemment des défaillances de pièces dues à la fissuration et à des procédures de soudage inappropriées. Ces défaillances devraient vous alerter sur la nature critique d'une technique correcte dans les applications aéronautiques, qui sont loin d'être aussi tolérantes.

OPINIONS DES UTILISATEURS

Aujourd'hui, il existe de nombreuses opinions différentes au sujet du soudage par fusion des matériaux de base 4130. Beaucoup de soudeurs croient que la seule manière de souder le 4130 est d'utiliser le procédé traditionnel oxyacétylénique (OAW, **Oxy Acetylen Welding**) et un métal d'apport approprié.

D'autres voudraient spécifier uniquement le soudage à l'arc au tungstène sous protection gazeuse (GTAW, **Gas Tungsten Arc Welding**) avec un des nombreux métaux d'apport. D'autres encore voudraient préconiser l'utilisation du soudage à l'arc sous protection gazeuse avec fil-électrode fusible (GMAW, **Gas Metal Arc Welding**) pour la facilité d'utilisation et le court cycle d'apprentissage du soudage. D'autres encore veulent utiliser des électrodes de petit diamètre et employer le procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW, **Shielded Metal Arc Welding**).

Si vous voulez un autre point de vue, trouvez simplement un autre groupe. La réponse peut ne pas être correcte, mais vous pouvez mieux l'apprécier. En pratique, tous ces procédés pourraient être utilisés avec la procédure correcte et le métal d'apport approprié.

Cependant, les opinions concernant les métaux d'apport présentent une diversité similaire à celle des opinions concernant les procédés, mais les métaux d'apport sont au moins spécifiques au procédé. En OAW, les métaux d'apport couramment utilisés comprennent le RG45, le RG60 et l'ER70S. Il existe de nombreuses combinaisons métal de base/métal d'apport qui produisent des soudures de qualité, à l'exception du RG45, qui présente une résistance à la traction significativement inférieure à celle du métal de base.

Ceux qui préconisaient un traitement de détente des contraintes pour les fabrications en 4130 étaient inébranlables dans leur conviction mais ils variaient largement dans leur technique. Certains estimaient que l'assemblage soudé devait être chauffé jusqu'à une couleur rouge cerise vif avec un chalumeau oxycombustible et laissé à refroidir à l'air, tandis que d'autres estimaient qu'il devait être chauffé jusqu'à une couleur paille et laissé à refroidir à l'air, et d'autres encore estimaient qu'il devait être chauffé à 900°F puis laissé à refroidir lentement dans de l'air immobile.

L'EXPÉRIENCE

Afin de vérifier les diverses affirmations, une expérience paraissait logique. Elle a utilisé des éprouvettes en tôle plane (.050" d'épaisseur) découpées dans du 4130, qui ont été préparées selon une procédure contrôlée afin d'éliminer les défauts induits par le traitement. La procédure de soudage par fusion comprenait cinq procédés de soudage avec six combinaisons possibles de métaux d'apport pour assembler les métaux de base et produire deux éprouvettes indépendantes. L'une d'elles serait soumise à un traitement de détente des contraintes et l'autre serait essayée dans l'état « tel que soudé ».

Un soudeur qualifié et certifié, utilisant des procédures de soudage qui avaient été développées spécifiquement pour cet essai, a réalisé toutes les soudures. Les essais des propriétés mécaniques concernant la dureté et la résistance à la traction ont été effectués sur des machines étalonnées et certifiées qui représentaient les normes de pratique en vigueur.

Les questions auxquelles il fallait répondre ont été réparties en domaines concernant le procédé, le métal d'apport et le traitement thermique après soudage.

Dans le domaine du procédé de soudage, l'étude cherchait à déterminer s'il existait un meilleur procédé et, sur la base de cette information, s'il existait une différence significative dans les propriétés des coupons lorsqu'ils étaient soumis à des essais mécaniques. Tous les procédés ont donné des performances à un niveau acceptable lorsqu'ils étaient associés au métal d'apport correct pour le métal de base. Certains procédés présentaient certainement une plus grande facilité d'application que les autres, mais tous pouvaient être utilisés avec de la pratique et un ajustage correct.

Dans le domaine des métaux d'apport, l'étude cherchait à déterminer s'il existait un meilleur matériau pour le mélange du métal de base et du métal d'apport lorsqu'il était soumis à des essais mécaniques, et quels effets, le cas échéant, les différents métaux d'apport auraient sur le procédé et sur le métal de base après le soudage. Les données d'essai provenant des valeurs de résistance à la traction et de dureté ont indiqué que la pratique consistant à utiliser un métal d'apport de caractéristiques inférieures à celles du métal de base n'était pas la meilleure pratique pour le soudage par fusion du 4130. À l'extrémité inférieure de la plage acceptable se trouvaient les métaux d'apport de la série 70, le métal d'apport présentant les meilleures performances étant l'ER80S-D2.

Le traitement thermique après soudage et les coupons à l'état tel que soudé constituaient le dernier des ensembles de données de recherche définis qui ont été examinés. L'expérience cherchait à déterminer si le traitement thermique après soudage produirait des coupons présentant des propriétés mécaniques significativement différentes de celles des coupons essayés à l'état tel que soudé. Bien qu'il y ait eu une différence dans les valeurs, les résultats ont indiqué que la différence de résistance ultime à la traction était inférieure à 1%.

Parmi les matériaux appartenant aux mêmes groupes de procédé et de métal d'apport, le traitement de détente des contraintes a entraîné une réduction moyenne de la résistance à la traction d'environ 2 à 5 pour cent, avec des réductions moyennes de dureté d'environ 5 à 7 pour cent. On pourrait soutenir que la détente des contraintes obtenue n'a pas amélioré de manière substantielle les performances de la structure soudée.

En fait, le moins performant des procédés de soudage, du point de vue des performances, était le procédé oxycombustible, qui rompait dans la section transversale de la soudure, par opposition au métal de base. Il faut examiner avec soin la logique consistant à utiliser une combinaison de procédé et de métal d'apport qui aboutit à un assemblage soudé plus faible que le métal de base d'origine.

De nombreuses opinions différentes ont été exprimées au sujet du soudage et des traitements thermiques après soudage (PWHT, **P**ost **W**eld **H**eat **T**reatment) ultérieurs des métaux de base en chrome-molybdène 4130. Beaucoup préconisent de détendre les contraintes du joint immédiatement après le soudage en le portant à 1200°F puis en le laissant refroidir à l'air. D'autres n'utilisaient ni PWHT ni préchauffage et laissaient simplement le matériau refroidir à l'air après le soudage. D'autres encore soutenaient que la seule manière d'assembler le matériau en toute sécurité était d'utiliser le soudage oxyacétylénique (OAW), position à laquelle s'opposait la position alternative selon laquelle le soudage à l'arc au tungstène sous protection gazeuse (GTAW) produisait des soudures supérieures et constituait donc le meilleur procédé.

Lorsque la variable du métal d'apport a été ajoutée à l'étude, il est apparu clairement qu'une grande quantité d'opinions et de mythes était utilisée dans la pratique. Cette recherche a examiné la combinaison des métaux de base, des procédés et du PWHT sur un métal de base AISI/SAE 4130 en tôle plane. Ce travail a été réalisé dans des conditions étroitement contrôlées afin de déterminer s'il existait effectivement une combinaison procédé/métal de base/PWHT constituant le « meilleur procédé ».

Les questions de recherche abordées dans cette étude ont été regroupées en trois catégories générales, le procédé, le métal d'apport et le PWHT. Elles sont les suivantes :

Procédé.

1. Quel procédé de soudage est le meilleur ?
2. Existe-t-il des différences significatives dans les performances de la pièce avec différents procédés ?
3. Quel procédé de soudage est le plus facile à utiliser avec succès pour un amateur ?

Métal d'apport.

1. Quel métal d'apport est le meilleur ?
2. Existe-t-il des différences significatives dans les performances de la pièce avec différents métaux d'apport ?
3. Quel métal d'apport sera le plus facile à utiliser pour l'amateur ?

Traitement post-soudage.

- Le préchauffage ou le traitement thermique après soudage est-il requis ?
- Quelle intensité est requise et pendant combien de temps ?
- Si aucun préchauffage ni traitement thermique après soudage n'est utilisé, y aura-t-il une différence significative dans l'assemblage soudé final ?

Ces questions trouveront une réponse dans le prochain article sur le soudage.