

# Introduction au soudage laser

Le soudage laser est utilisé par l'industrie automobile depuis quarante ans. En 1975, Fiat installait un laser CO<sub>2</sub> pour le soudage de composants de transmissions. Aujourd'hui, des milliers d'entreprises à travers le monde bénéficient des avantages du procédé.

Et si traditionnellement les Allemands en étaient les plus fervents amateurs, il a depuis été largement adopté par les fabricants automobiles de toutes origines ainsi que par des entreprises de toutes tailles et de nombreux secteurs d'activités, en Europe, en Amérique et en Asie. Notons que la Chine est l'un des plus importants acheteurs de systèmes de soudage laser – voilà qui donne à réfléchir...

Des lames de rasoir jetables aux véhicules, en passant par les tuyaux et les outils pour le bois, chacun côtoie quotidiennement des objets soudés par laser, souvent sans le savoir. Malgré le peu de connaissances qu'une large part de l'industrie en a, le soudage laser est un procédé mature qui a fait ses preuves.

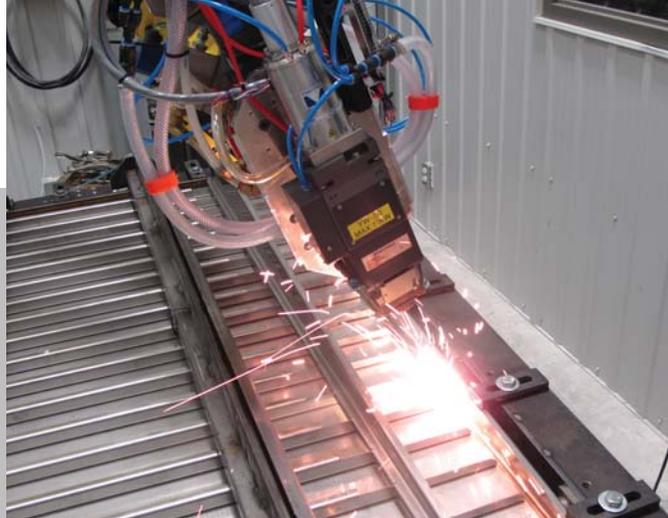


Figure 1 Soudage laser chez Novika

## Le soudage laser

Le soudage laser est réalisé à l'aide d'une source laser émettant dans l'infrarouge. Le faisceau est donc invisible et représente un réel danger pour la sécurité des travailleurs. En conséquence, le soudage est effectué par un robot (ou tout autre manipulateur) dans une enceinte sécurisée.

Il est possible de souder au laser selon deux modes : en conduction ou en trou de serrure (keyhole). Le soudage par conduction s'effectue à l'état liquide et requiert une densité d'énergie d'environ 105 W/cm<sup>2</sup>. Le soudage en trou de serrure, quant à lui, implique la vaporisation du métal sous l'action d'une énergie d'au moins 106 W/cm<sup>2</sup>.

Le capillaire, petit « tube » de vapeur métallique se formant dans la pièce, permet l'obtention d'un joint présentant le profil étroit et profond typique au soudage laser (voir l'image ci-contre) alors que le soudage par conduction produit des joints plus larges que profonds.

Sachant que dans le cadre d'applications industrielles le diamètre du faisceau laser frappant le matériel est de l'ordre du demi-millimètre, une source laser de plus de 1 kW est le plus souvent requise pour souder en trou de serrure.

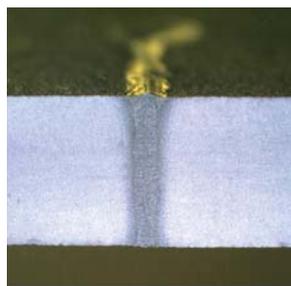


Figure 2 Soudure laser en bout-à-bout sur acier de 12 mm

## Les avantages

Au niveau de la productivité, le soudage laser ne craint pas la compétition... S'il est courant de souder au laser à 5 m/min, certaines applications utilisent des vitesses de 20 m/min.

Grâce à la grande précision du laser et au peu de chaleur transmise aux pièces, il est possible d'augmenter notablement la qualité des produits. À preuve, la zone affectée thermiquement (ZAT) est pratiquement inexistante. Soudures étroites, sans projection, sans distorsion; adieu polissage et redressage! De plus, les propriétés mécaniques des métaux soudés ne sont pas dégradées significativement par le procédé; il n'est donc plus nécessaire d'augmenter l'épaisseur des matériaux pour compenser la faiblesse mécanique des soudures.

Mais la liste des avantages ne s'arrête pas là. Le soudage laser ouvre la porte à des produits jusqu'alors impossibles à réaliser. Le soudage par transparence (i.e. en « passant au travers » de la pièce du dessus) rend possibles à de nouvelles conceptions. La capacité de joindre des matériaux différents (ex.: cuivre et acier inoxydable, etc.) est aussi une opportunité de développements esthétiques et fonctionnels. Enfin, la réalisation de soudures à la fois fines et parfaitement étanches impose carrément ce procédé pour certaines applications.

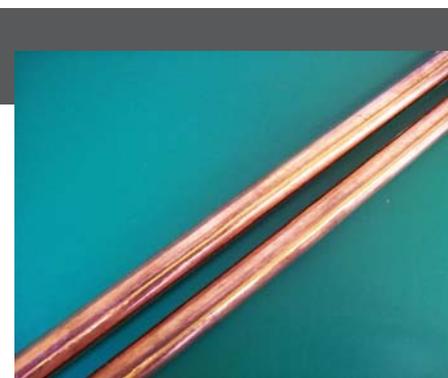


Figure 3 Tubes en cuivre de 10 mm soudés par laser

# Équipements

Le coût d'une infrastructure laser s'apparente à ce qu'on doit déboursier pour des équipements numériques de capacité industrielle (découpe, plieuse...). Les prix des sources laser et des robots ont considérablement baissé au fil des années, démocratisant l'accès au procédé. De plus, celui-ci est généralement mis en œuvre sans apport de matériel et très souvent sans gaz de protection; en conséquence, le coût d'utilisation est remarquablement bas.

Plusieurs types de sources laser sont proposés par les fournisseurs. Les sources à diodes, CO<sub>2</sub> et Nd:YAG sont disponibles depuis de nombreuses années et ont fait leurs preuves dans différentes industries.

Plus récemment, les sources à fibre et Yb:YAG à disques ont également conquis de belles parts de marché grâce à leur haute efficacité et aux nombreux avantages que procure leur faisceau de grande qualité optique.

Chaque technologie ayant ses propres forces et faiblesses et étant adaptée à des niches particulières, on ne peut déclarer l'une d'elles absolument supérieure aux autres. Le choix d'une source laser s'effectue donc en fonction des applications visées et des priorités de l'entreprise.

Novika a choisi des sources laser à fibre pour son laboratoire laser. Les principaux arguments ayant guidé ce choix sont, entre autres :

- l'efficacité énergétique;
- la qualité optique du faisceau émis;
- le peu d'entretien requis;
- le faible coût de soudage;
- l'absence de temps de préchauffage de la source;
- la possibilité d'utiliser la même source laser pour de nombreux procédés : soudage, trempe, rechargement, découpe, décapage, etc.;
- la possibilité d'utiliser des fibres optiques très longues (jusqu'à 200 m) et très fines entre la source laser et la pièce à souder;
- les faibles dimensions de la source.

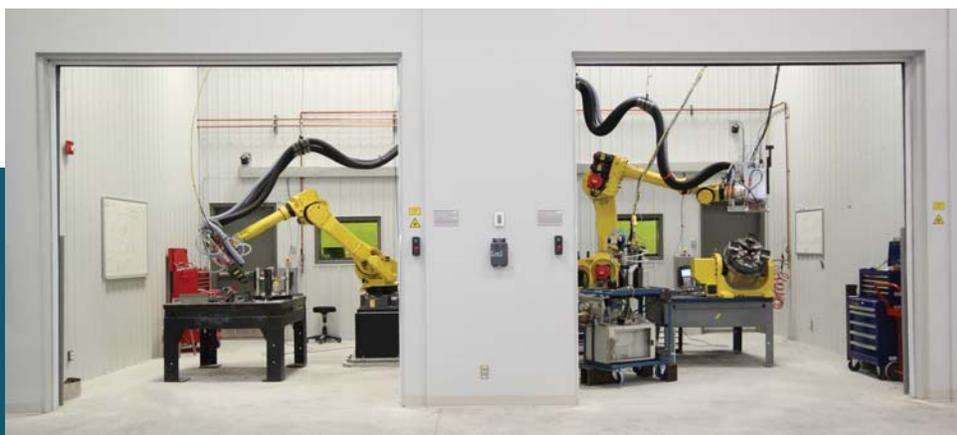


Figure 4 Deux des laboratoires laser de Novika

Une fois généré par la source laser, le faisceau peut être séparé entre plusieurs points de travail (différentes cellules de soudage, différents robots...). Ce partage peut s'effectuer en temps (time sharing) ou en puissance pour la réalisation de deux soudures simultanées (power sharing). Le partage en temps permet d'optimiser l'utilisation de la source en alimentant certaines cellules de travail alors que la préparation des pièces est effectuée dans d'autres. Selon la technologie choisie, on peut alimenter jusqu'à six cellules à l'aide d'une même source.

Dans le cas d'une source laser diode, YAG ou à fibres, le faisceau généré est transmis de la source au point de travail par une fibre optique. La longueur maximale de cette fibre dépend de la source laser. Pour le travail avec une source laser CO<sub>2</sub>, le faisceau doit être transmis par un jeu de miroirs, les fibres optiques étant endommagées par le faisceau laser généré.

## Mise en application du procédé

La plupart des matériaux courants sont soudables par laser : acier, acier inoxydable, aluminium, thermo-plastiques, titane, cuivre, etc. Certains requièrent quelques précautions (gestion des réflexions pour le cuivre et l'aluminium, ajout d'un fil d'apport pour plusieurs séries d'aluminium...), mais le procédé reste généralement simple et financièrement avantageux.

L'un des principaux défis lors de l'industrialisation du soudage laser est relié à la faible tolérance à l'écartement des pièces. Puisque dans la majorité des cas aucun matériel d'apport n'est utilisé, il faut assurer un bon contact entre les pièces à fusionner. Pour un joint en bout-à-bout, l'écartement maximal est de l'ordre du dixième de l'épaisseur des pièces à joindre. Le contrôle de la préparation des pièces à souder doit donc être particulièrement rigoureux. Face à une telle situation, on choisira souvent un joint par transparence pour lequel la rectitude des bords des pièces n'est pas critique.

# Mise en application du procédé (suite)

Afin de bénéficier pleinement des avantages du procédé, il est souvent préférable d'y adapter la conception des assemblages. Souder au laser une pièce conçue pour un autre procédé limite généralement les gains en productivité et en qualité. Aussi, une connaissance de base du soudage laser permet d'apporter les ajustements nécessaires aux joints à réaliser.

L'utilisation et la supervision d'un système de soudage laser ne nécessite pas l'embauche de personnel hautement qualifié. S'il est utile d'avoir accès à un spécialiste qui pourra répondre à des besoins ponctuels à l'occasion, un opérateur d'équipements numériques peut sans problème prendre en charge la production des assemblages soudés. Une intégration bien préparée et une bonne formation du personnel permettront d'éviter les problèmes potentiels les plus courants.

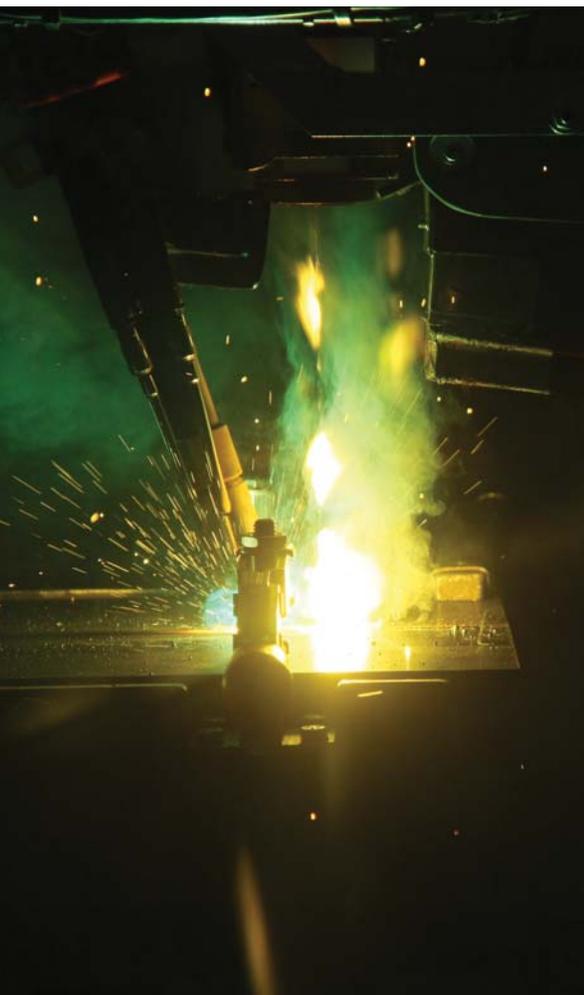


Figure 5 Soudage hybride laser-GMAW

## Utilisation des gaz

En soudage laser, on utilise des gaz pour trois raisons : la protection des composantes optiques, la suppression du plasma et l'amélioration de la qualité des joints (contrôle de l'oxydation, des porosités, etc.). La protection des composantes optiques se fait généralement avec un jet d'air propre, parallèle à la surface de la pièce à souder.

La formation de plasma par ionisation des vapeurs de métal et du gaz de protection est un phénomène à éviter en soudage laser, principalement lors de l'utilisation d'une source laser  $CO_2$ . En effet, en certaines circonstances, le plasma peut dévier et absorber le faisceau. Il est alors recommandé d'utiliser de l'hélium pour éviter la formation du plasma. Cependant, la faible densité de l'hélium réduit sa capacité à bien couvrir la soudure; de grands débits de gaz sont donc requis. Comme le prix de l'hélium est élevé, son utilisation augmente significativement le coût du soudage. On l'utilisera donc souvent en mélange avec d'autres gaz de protection moins coûteux.

Le gaz de protection le plus courant en soudage laser est l'argon, principalement à cause de son efficacité pour éviter l'oxydation, de son coût abordable et de sa facilité d'utilisation (bonne couverture du bain de fusion grâce à une densité plus élevée que celle de l'air).

De plus, l'azote peut aussi être un choix avantageux à cause de son bas prix. Le profil étroit et profond du joint en trou de serrure et le temps de solidification très bas (une fraction de seconde) empêchent le fer de réagir significativement avec l'azote. Les problèmes liés à la formation de nitrures sont ainsi évités.

Enfin, pour de nombreuses applications, aucun gaz de protection n'est utilisé, la réaction entre le bain de soudure et l'air ambiant étant limitée à une très petite surface pendant une fraction de seconde.

# Soudage hybride

Une variante du soudage laser permet le soudage de fortes épaisseurs; il s'agit du soudage hybride laser-arc (HLAW). Ce procédé combine un arc électrique et un faisceau laser dans un même bain de fusion à l'aide, par exemple, d'une soudeuse GMAW et d'une tête de soudage laser. Le fait de pouvoir joindre des plaques épaisses sans préparation et en une seule passe justifie l'intérêt grandissant de l'industrie mondiale pour cette technologie. Les premières applications industrielles du soudage hybride portaient, entre autres, sur le soudage de navires, de structures et de composants automobiles.

Les avantages de ce procédé sont nombreux et des plus impressionnants. Ce qui vient à l'esprit en premier lieu, c'est l'augmentation de la productivité. Pour une plaque de 12 mm en bout-à-bout, on estime que le soudage hybride permettra une économie de durée de soudage de 90 %, sans tenir compte des autres opérations qui sont carrément éliminées. De plus, le soudage hybride permet de sauver des sommes considérables au niveau des consommables (fil, gaz...) : de 50 % d'économie pour des pièces minces (4 mm) à plus de 90 % pour des pièces de 12 mm! Et, point de grande importance, le soudage hybride permet souvent d'éliminer les opérations de préparation des pièces : plus de chanfreins...

En injectant moins de chaleur dans les pièces que les procédés classiques, le soudage hybride altère beaucoup moins les propriétés mécaniques du métal. Il s'ensuit dans bien des cas une diminution de l'épaisseur requise du métal de base pour une même résistance de l'assemblage, grâce à de meilleures propriétés mécaniques (la soudure est le point faible dans un assemblage soudé standard). Avec les pressions de plusieurs secteurs pour des produits plus légers, cette considération gagne en importance.

Enfin, puisque les pièces ont reçu moins de chaleur, elles ont moins de contraintes résiduelles et restent plus près des dimensions théoriques (elles sont moins déformées). Donc, il est souvent possible d'éliminer les opérations de relaxation des contraintes et de redressage, ce qui constitue une économie fort appréciable.

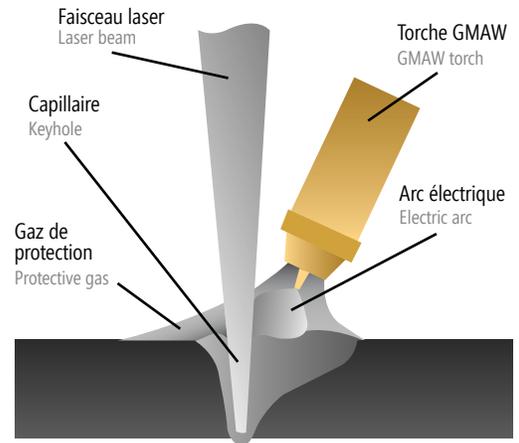


Figure 6 Le soudage hybride laser/arc combine un faisceau laser et un arc électrique

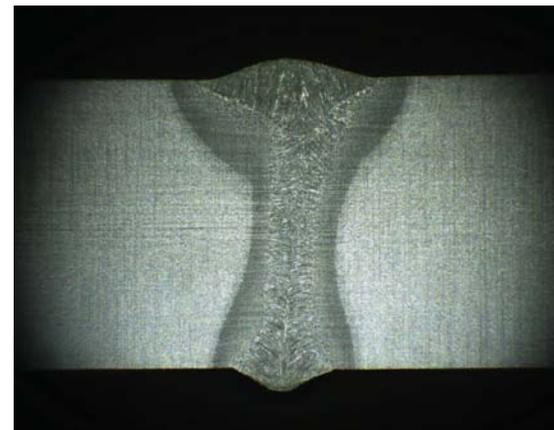


Figure 7 Soudure hybride en bout-à-bout sur acier de 12 mm, aucun chanfrein, une seule passe

## En conclusion

Grâce à sa rapidité, à sa précision et à sa flexibilité, le soudage laser permet d'augmenter la productivité et la qualité des assemblages de façon importante. Après l'Europe et l'Asie, l'Amérique du Nord adopte maintenant ce procédé.

Le coût des équipements ayant beaucoup diminué au cours des dernières années, il est maintenant accessible et profitable pour de nombreuses entreprises.

Novika offre un service d'information, de développement et de soutien technique sur le soudage laser. Pour toute question à ce sujet, contactez :

### Lorraine Blais, ing.

Chef de section – Procédés laser  
(418) 856-4350, 105  
lblais@novika.ca

### Patrick Martel, ing.

Responsable de projet – Procédés laser  
(418) 856-4350, 139  
pmartel@novika.ca