

# PROCÉDÉS LASER INDUSTRIELS

## Soudage laser

Qualité et productivité supérieures enfin accessibles

Le soudage laser est utilisé par l'industrie automobile depuis plus de trente 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'activité, 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, chacun côtoie quotidiennement des objets soudés au 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.

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

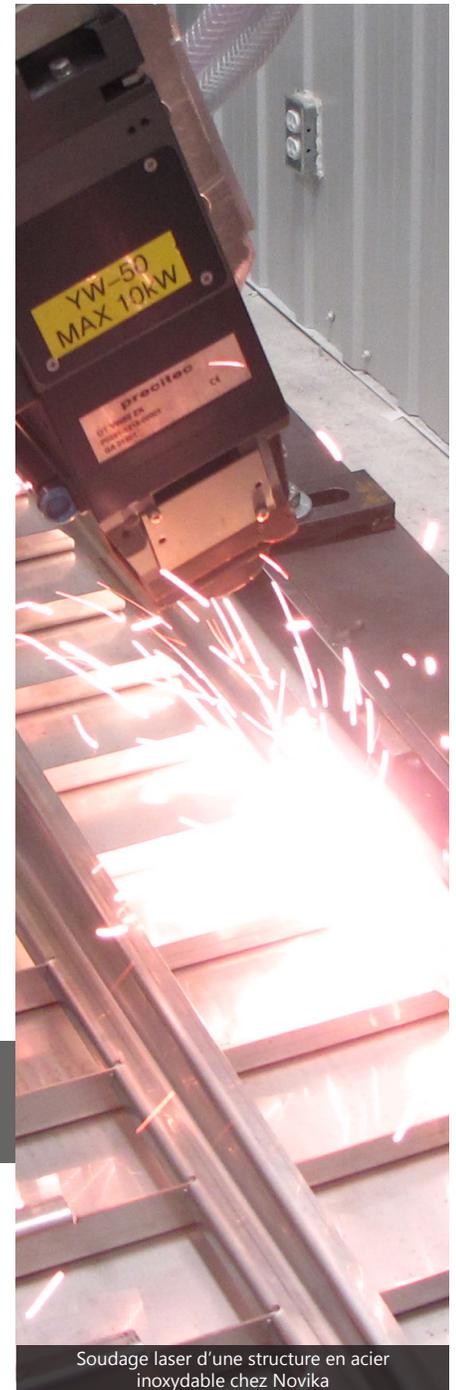
Au niveau de la productivité, le soudage laser ne craint pas la compétition. S'il est courant de souder au laser à 225 po/min, certaines applications utilisent des vitesses de 800 po/min.

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 (c'est-à-dire en « passant au travers » de la pièce du dessus) ouvre la porte à de nouvelles conceptions. La possibilité 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.



Tuyaux de cuivre de 1/2" soudés longitudinalement par laser



Soudage laser d'une structure en acier inoxydable chez Novika



Soudure d'une plaquette de carbures de tungstène sur une matrice en acier

# Soudage hybride laser/GMAW

Des joints sur plaques épaisses soudées en une passe sans préparation

Une variante du soudage laser permet le soudage de fortes épaisseurs; il s'agit du soudage hybride laser-arc. Ce procédé combine un arc électrique et un faisceau laser dans un même bain de fusion à l'aide, par exemple, d'une soudeuse semi-automatique GMAW avec fil plein 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 1/2" 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 (0.070") à plus de 90 % pour des pièces de 1/2". Et, point de grande importance, le soudage hybride permet d'éliminer les opérations de préparation des pièces à souder.

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'en suit, dans bien des cas, une diminution du volume de métal 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 l'augmentation du coût de l'acier et 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). Souvent, il devient donc possible d'éliminer les opérations de relaxation des contraintes et de redressage, ce qui constitue une économie fort appréciable.



## Découpe laser

Une productivité et une précision inégalées

Il existe peu de matériaux qui ne puissent être découpés au laser. Métaux, bois, diamant, verre, thermoplastiques et céramiques sont soumis à un faisceau très concentré se déplaçant à haute vitesse. À ce jour, seuls quelques produits se sont révélés incompatibles avec ce procédé. ; on rapporte toutefois que les efforts de l'industrie pour couper le pain par laser se sont soldés par de grandes quantités de rôties brûlées...

La découpe laser se compare avantageusement à la découpe au plasma; le laser est plus précis, permet des coupes de meilleure qualité et une plus grande productivité. Et contrairement aux techniques mécaniques de découpe (scie, cisailles...), il n'y a pratiquement pas de limite aux formes pouvant être découpées par laser, celui-ci « tranchant » le matériel sans contact, selon une trajectoire programmée. Le laser fait fondre ou vaporise le matériel (selon la quantité d'énergie et le matériau à couper), et un jet de gaz inerte expulse les débris hors du trou, tout en refroidissant les parois. Pour un apport d'énergie supplémentaire, on remplace le gaz inerte par un gaz actif - habituellement de l'oxygène ou de l'air. On peut ainsi découper des pièces de plus d'un pouce d'épais à 20 po/min...



Les lasers CO<sub>2</sub> sont couramment utilisés pour découper en 2D, alors que le faisceau laser des sources fibre, YAG et à diodes, peut être manipulé en 3D par un robot, permettant de découper à même des pièces pliées et soudées. La faible quantité d'énergie transmise au matériau découpé mène à de faibles niveaux de déformation ainsi qu'à une faible zone affectée thermiquement. La haute densité de puissance permet de très hautes vitesses de découpe tout en maintenant une grande qualité. De plus, puisque la coupe est très étroite et que ses parois sont droites, les pièces à découper peuvent être imbriquées de façon très rapprochée dans le matériel, minimisant ainsi les pertes.

La découpe laser est nettement plus respectueuse de l'environnement de travail que ses concurrents. Il s'agit d'un procédé silencieux, qui n'utilise aucun fluide de coupe, qui permet de maximiser l'utilisation de la matière première et qui produit peu de fumées nocives, lesquelles sont restreintes à une région relativement éloignée de l'opérateur et sont facilement captées. Et l'avènement des lasers fibre amène un autre avantage : les coûts d'opération et de maintenance sont nettement moins élevés avec cette technologie qu'avec les lasers CO<sub>2</sub> actuellement utilisés par les tables de découpe. Plus d'optiques à aligner, plus de gaz lasant à renouveler, une efficacité énergétique largement supérieure (du double au triple)... La découpe laser devient encore plus attrayante.

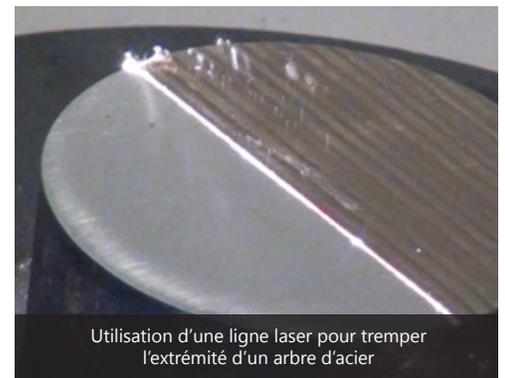
Variante émergente du procédé : la découpe laser à distance est effectuée à l'aide d'un faisceau laser déplacé à haute vitesse par une tête scanneur. La pression exercée par le faisceau laser conjuguée au différentiel de pression dans le bain de fusion créé suffit à expulser le matériel fondu, réalisant ainsi une découpe sans qu'il soit nécessaire d'approcher de buse ou d'optiques de la pièce.



## Trempe de surface par laser

Un procédé performant à utiliser là où vous en avez vraiment besoin

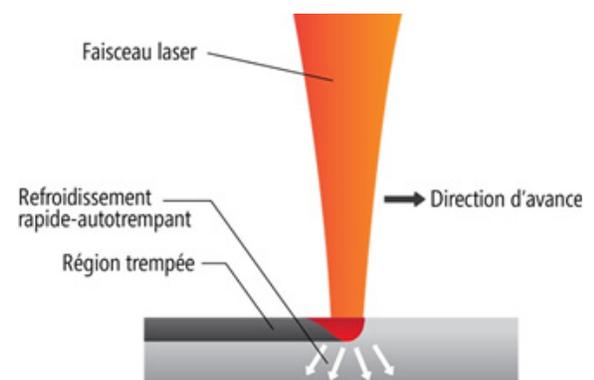
Parmi les méthodes conventionnelles de durcissement de surface, on compte la trempe par induction, la trempe à la flamme, la trempe à l'arc, la trempe par lampe à arc ainsi que la carburation et la nitruration au gaz. Ces techniques ont en commun certains avantages, tels qu'un coût d'acquisition d'infrastructure plutôt bas, mais aussi certaines limitations, comme une gamme restreinte de métaux pouvant être traités ainsi qu'une importante quantité de chaleur transmise aux pièces, ce qui implique souvent des opérations post-traitement (redressage, élimination des contraintes). De plus, certaines de ces techniques sont peu flexibles, lentes et peu précises. Il existe également une méthode de haute technologie très performante, le traitement par faisceau d'électrons. Toutefois, celle-ci demande une assez longue préparation et se réalise dans une chambre sous vide, ce qui rend l'infrastructure très coûteuse et peu pratique.



Utilisation d'une ligne laser pour tremper l'extrémité d'un arbre d'acier

Lors de la trempe de surface par laser, un faisceau est projeté sur une pièce métallique de façon à chauffer celle-ci jusqu'à une température habituellement supérieure à 1 000 °C, sans toutefois la faire fondre. Comme seule une mince couche superficielle est affectée, elle refroidit très rapidement. On peut ainsi améliorer plusieurs caractéristiques - dureté, résistance à l'usure, résistance mécanique statique et en fatigue, rugosité - tout en gardant intactes les propriétés de la « masse » telles que la ductilité et la ténacité.

Pour traiter efficacement un métal ferreux, on peut utiliser un faisceau laser d'un kilowatt agissant sur 1 cm<sup>2</sup>, à une vitesse d'avance de 0,6 m/min. On peut aussi utiliser un laser plus puissant, appliqué à une plus grande surface de façon à traiter plus rapidement les pièces.



Les principes de base du traitement thermique par laser sont les mêmes que pour les techniques conventionnelles, la principale différence étant que le temps de traitement est approximativement dix fois plus court. La rapidité de refroidissement liée au procédé permet l'atteinte de plus grandes duretés, et ce sur un plus grand éventail d'alliages, le durcissement laser étant possible sur des aciers plus fortement et plus faiblement alliés que les procédés traditionnels.

De plus, puisque seule la surface est chauffée et qu'elle l'est en un court laps de temps, elle est en mesure de refroidir naturellement, ce qui élimine le recours aux agents de trempe (la température du métal doit être abaissée rapidement pour obtenir les propriétés désirées). Le traitement peut donc être réalisé dans un environnement sensible, sans qu'aucun déchet ou fluide souillé ne soit généré. On peut même réaliser cette opération sur des pièces finies puisque la faible quantité d'énergie nécessaire n'induit pas de distorsion ou de contraintes résiduelles indésirables et qu'elle reste très localisée.

D'autre part, il est possible de contrôler précisément les régions traitées; on ne durcit que les surfaces qui le nécessitent (réduisant encore davantage l'énergie transmise), et on n'a pas à masquer les zones sensibles à la chaleur (ce qui élimine une opération sans valeur ajoutée).

Il est également possible d'effectuer un autre type de traitement laser, soit la fusion de surface (surface melting). Ce procédé permet de raffiner la microstructure des grains pour améliorer la résistance à la corrosion et à l'oxydation ainsi que la dureté à haute température. Il permet aussi de restaurer les propriétés du matériel de base lorsque celles-ci ont été détériorées par des procédés impliquant de hautes quantités d'énergie telles que celles requises pour le soudage MIG.



Trempe par laser des côtés des dents d'un engrenage

Techniques de durcissement de surface	Induction	Flamme	Arc	Lampe à arc	Faisceau d'électrons	Carburation et nitruration	Laser
Investissement	Green	Green	Green	Yellow	Red	Yellow	Red
Flexibilité	Red	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green
Déformation	Yellow	Red	Yellow	Green	Green	Red	Green
Productivité	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green
Impact environnemental	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Green
Précision (traitement local)	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Green

## Décapage et nettoyage laser

Quand productivité et qualité vont de pair avec respect de l'environnement



Décapage laser d'une porte de poêle en fonte



Création de codes à barres par décapage laser sur une pièce peinte et sur une pièce huilée

Plusieurs contaminants retrouvés en milieu urbain et industriel ainsi que de nombreux produits de revêtement absorbent bien l'énergie émise par les lasers. Conséquemment, on peut les détacher du substrat auquel ils sont fixés - que ce soit de la pierre, un textile, une œuvre d'art, de la verrerie ou un métal - en les soumettant à un faisceau qui les fracturera en particules ou les vaporisera. Le tout, sans avoir recours à quelque réactif chimique que ce soit.

En industrie, on utilise de plus en plus le décapage laser pour éliminer les étapes de masquage; les pièces sont peintes intégralement, puis le laser enlève le revêtement aux endroits appropriés.

Le faisceau laser peut atteindre des endroits restreints - comme l'intérieur de cylindres - et contrairement aux techniques de décapage chimique, aucun résidu toxique n'est généré, le seul déchet étant la matière qui a été enlevée.

Il s'agit d'une technique largement utilisée en Europe, notamment sur les monuments historiques attaqués par la pollution atmosphérique.



Nettoyage par laser de l'Église St-Michel-de-Bordeaux, France (Source : CICRP)

# Revêtement par laser

Pour conférer résistance et abrasion aux nouvelles pièces et pour donner une seconde jeunesse à celles que l'usure a déformées

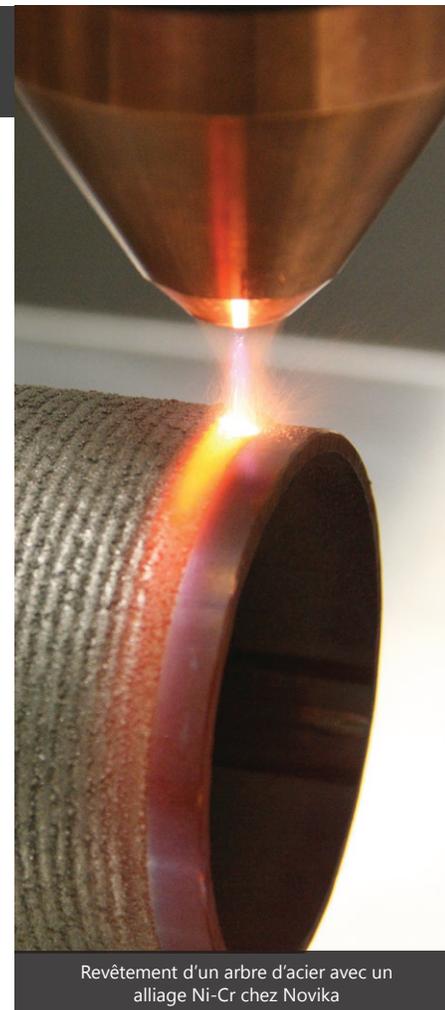
Originellement développé pour conférer des propriétés supérieures aux pièces neuves, le revêtement par laser (laser cladding) est également devenu une façon efficace et économique de recharger des pièces coûteuses endommagées par l'usure. Ce procédé permet de fusionner un alliage d'apport sur une surface. Cet alliage peut être fourni sous forme de fil, de poudre ou de feuillard.

La variété d'alliages pouvant être utilisée permet l'obtention de pièces finies ayant des propriétés très variées. Par exemple, il peut s'agir de poudres métalliques additionnées de carbure de tungstène ou de zircons qui, une fois liées au métal de base, donnent une excellente résistance à l'usure ainsi que des propriétés abrasives fort utiles pour des outils. Le revêtement ainsi créé peut avoir une épaisseur variant de 0,2 à 5,0 millimètres. On peut donc obtenir des pièces comportant une fine couche dotée de caractéristiques propres aux matériaux les plus coûteux, tout en utilisant un matériel de base économique.

S'il est possible d'utiliser d'autres techniques pour recharger ou plaquer des pièces (arc MIG, plasma...), seul le laser permet une telle précision, une microstructure métallique aussi fine (garante de bonnes caractéristiques mécaniques) ainsi que d'aussi faibles déformations.

Le secteur de l'aéronautique utilise largement ce procédé. On y a recours pour déposer une mince couche ultra-résistante en surface des ailettes des turbines, et on s'en sert à nouveau pour ramener ces mêmes ailettes à leurs dimensions d'origine une fois que l'usure les a rendues impropres à l'utilisation.

Enfin, plusieurs secteurs font de plus en plus appel au rechargement laser pour la fabrication de pièces prototypes ou de petits lots (moules, outils uniques, etc.), par la technique de déposition directe de métal. On se sert alors du faisceau laser pour solidifier un métal en poudre selon la forme 3D requise. On obtient ainsi une forme de prototypage rapide 3D, avec en prime une pièce pouvant réellement être utilisée.



Revêtement d'un arbre d'acier avec un alliage Ni-Cr chez Novika

## Marquage laser

Et s'il n'y avait plus de limites à ce que vous pouvez réaliser?

Le marquage est l'application industrielle des lasers la plus communément répandue. Plus de 40 % des lasers industriels vendus au monde sont d'ailleurs dédiés à ce procédé.

Le marquage laser est une technique très rapide et sans contact permettant de produire des images de haute résolution à la surface de la plupart des matériaux. Ces images peuvent être monochromes ou comprendre une large gamme de teintes, selon le matériel traité.

Le faisceau laser est utilisé de deux façons : il peut réaliser de petites cavités en surface (trous peu profonds) dont la couleur contraste avec la surface. L'arrangement de ces trous en patrons définis permet de créer les motifs désirés : lettres, chiffres, logos, etc. Le faisceau laser peut également être projeté sur une plus grande surface au travers d'un « masque » définissant le motif. Le laser chauffe alors la surface et en modifie les propriétés, dont la couleur.

On estime que 90 % des applications de marquage laser sont liées à l'identification du produit, alors que le 10 % restant touche l'esthétique. Avec le gain en précision des systèmes de marquage, de nouveaux marchés émergent à ce niveau, comme le micromarquage de sécurité et l'incorporation de caractéristiques anti-contrefaçons.



Marquage laser sur du tissu



Code d'identification unique fait au laser sur une pièce d'aluminium (source : Industrial Laser Solutions)

Plusieurs raisons expliquent la popularité du marquage laser. D'une part, les sources laser nécessaires pour ce procédé sont de faible puissance et ne représentent donc pas un fort investissement. D'autre part, la rapidité du procédé est telle qu'un patron standard peut être réalisé en une fraction de seconde. De plus, le procédé est infiniment flexible : tout motif 2D peut être créé et ultérieurement modifié par programmation. En outre, à cause de l'absence de consommables, le coût d'utilisation est très bas, soit environ 1/10 de celui d'un système de marquage à l'encre.

Enfin, l'aspect environnemental est aujourd'hui un argument de poids en faveur du laser. Contrairement aux autres méthodes de marquage, ce procédé ne requiert aucun produit toxique (encre, peinture, solvant), la disposition de ces produits devenant de plus en plus problématique et coûteuse.

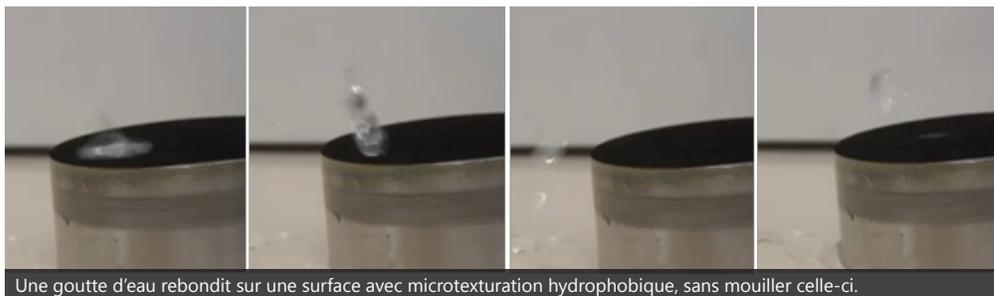
Parmi les nombreuses applications industrielles du marquage laser, mentionnons la réalisation de codes-barres, le marquage des bijoux en métaux précieux et la gravure de circuits imprimés.

## Texturation par laser

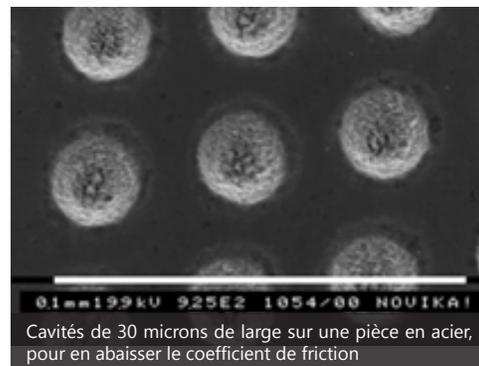
### Quand la lumière modifie le comportement de la matière

Les lasers à impulsions brèves et ultra-brèves permettent la création de textures d'une grande précision.

La microtexturation permet de modifier le comportement des surfaces de façon importante : on peut ainsi contrôler le coefficient de friction, l'hydrophobie, l'adhérence d'un matériau sur un autre, l'absorption et la réflexion optique, le comportement aérodynamique localisé, etc. Avec le développement d'équipements laser performants, fiables et abordables, les applications se font de plus en plus nombreuses, et les années à venir en verront émerger un grand nombre.



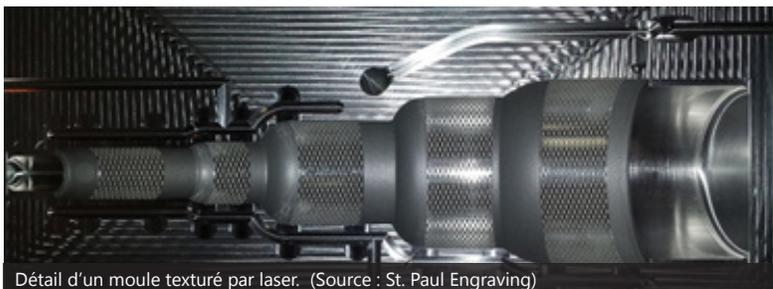
Une goutte d'eau rebondit sur une surface avec microtexturation hydrophobe, sans mouiller celle-ci.



Cavités de 30 microns de large sur une pièce en acier, pour en abaisser le coefficient de friction

Considérée parfois comme une variante du marquage, la création de textures millimétriques gagne en popularité. Cette technique est utilisée, entre autres, pour créer la texture intérieure des moules qui sera reproduite sur chaque pièce.

La texturation par laser présente de nombreux avantages face aux autres techniques; il s'agit d'un procédé très précis qui ne nécessite pas de masquage et ne requiert pas de réactif chimique. De plus, les textures sont généralement beaucoup plus durables que celles créées par des enduits. En tant que procédé entièrement numérique, la texturation assure une excellente répétitivité, et rend possible la réalisation de motifs impossible à créer chimiquement.



Détail d'un moule texturé par laser. (Source : St. Paul Engraving)

Partenaire financier :



**Lorraine Blais, ing.**  
Chef de Section - Procédés laser  
laser@novika.ca  
(418) 856-4350 # 105

SOLUTIONS  
**NOVIKA**  
129, rue du Parc-de-l'Innovation  
La Pocatière (Québec) G0R 1Z0