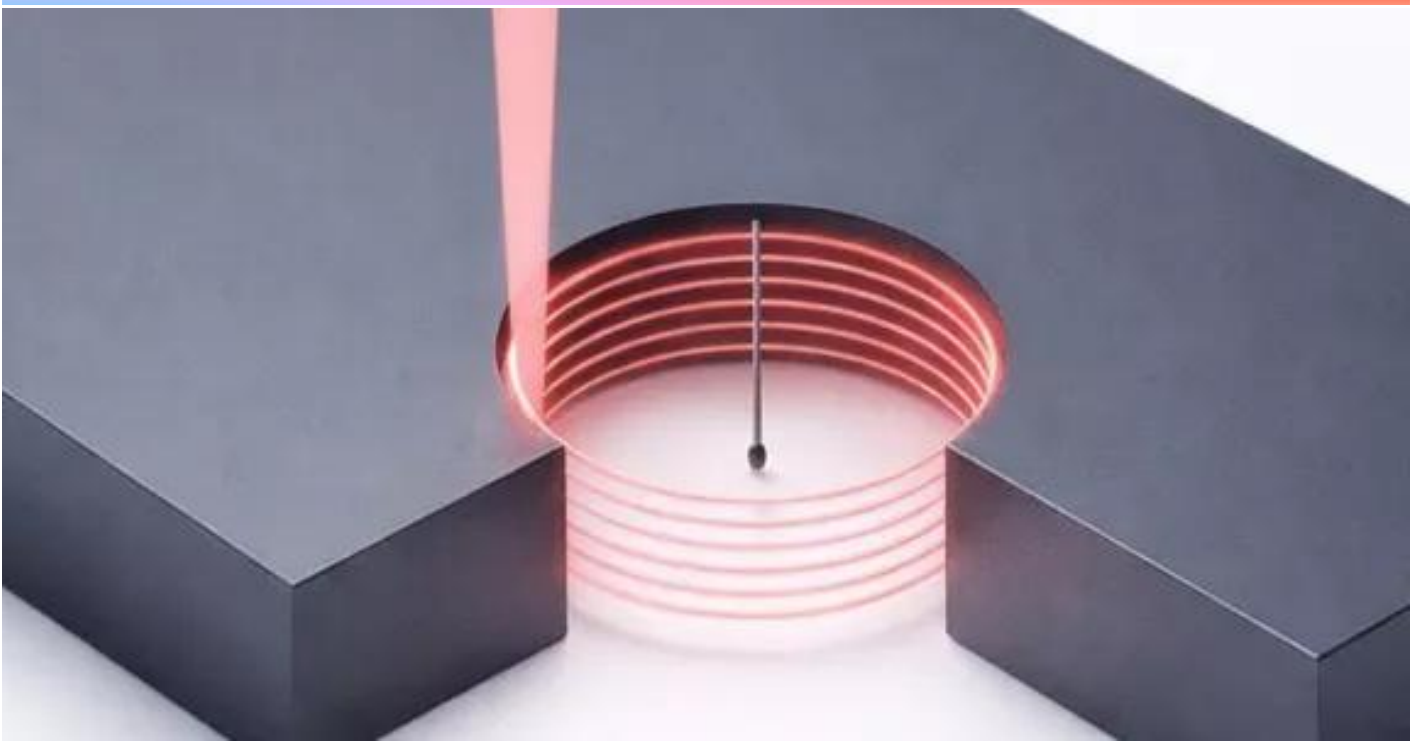




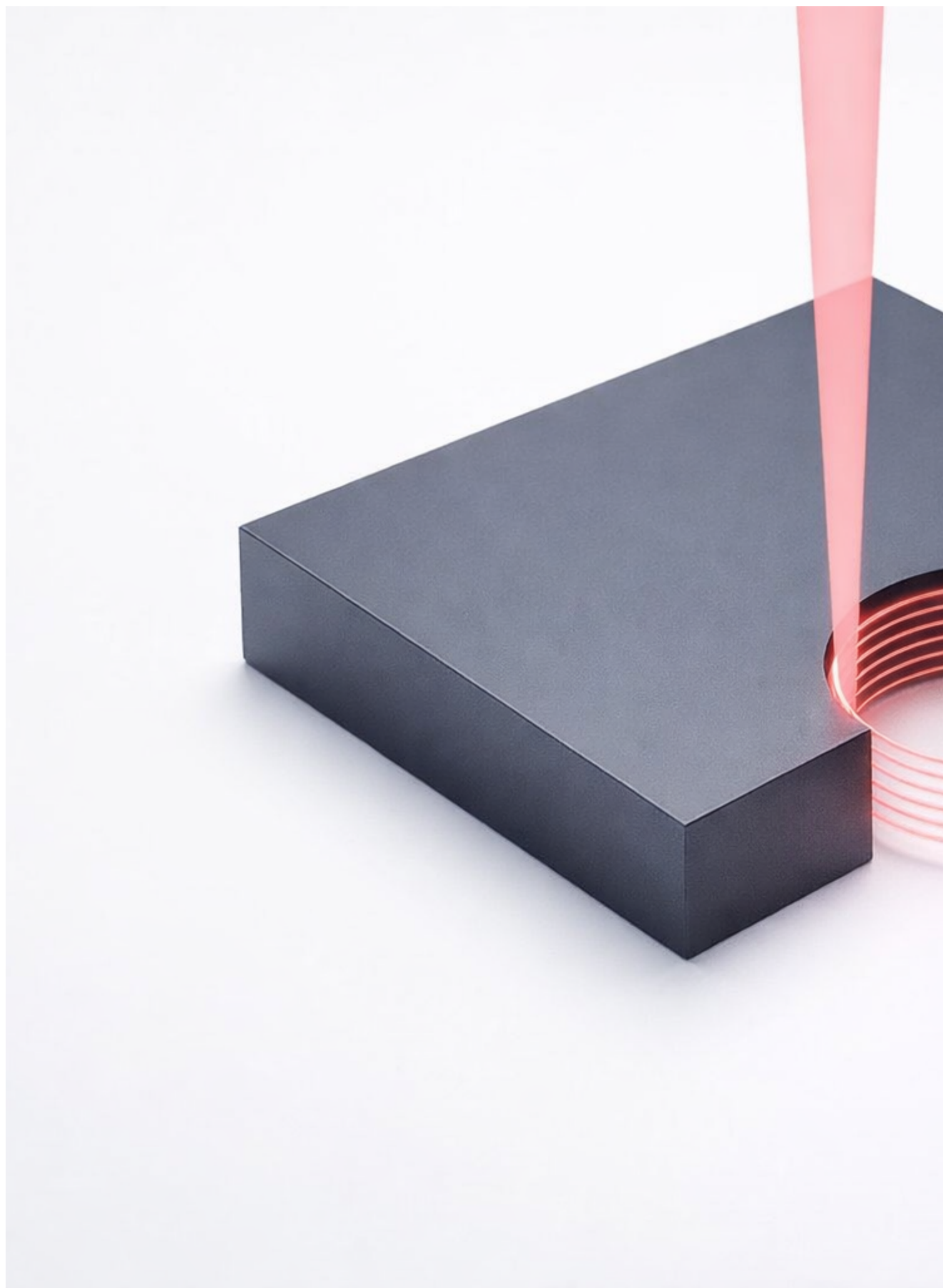
Usinage du verre et des céramiques par laser femtoseconde

02 février 2026, 09:03

Felipe Baroni

Usinage de haute précision sans effets thermiques, en voie de maturité industrielle

L'usinage précis du verre et des céramiques techniques reste complexe avec les méthodes conventionnelles. Cet article explore comment l'usinage par laser femtoseconde permet la découpe, le perçage et la structuration de surface avec un impact thermique minimal. Il explique les principes fondamentaux, illustre des cas concrets sur des composants en verre et en céramique, et passe en revue les applications où la technologie quitte le domaine de la recherche pour entrer en production industrielle.

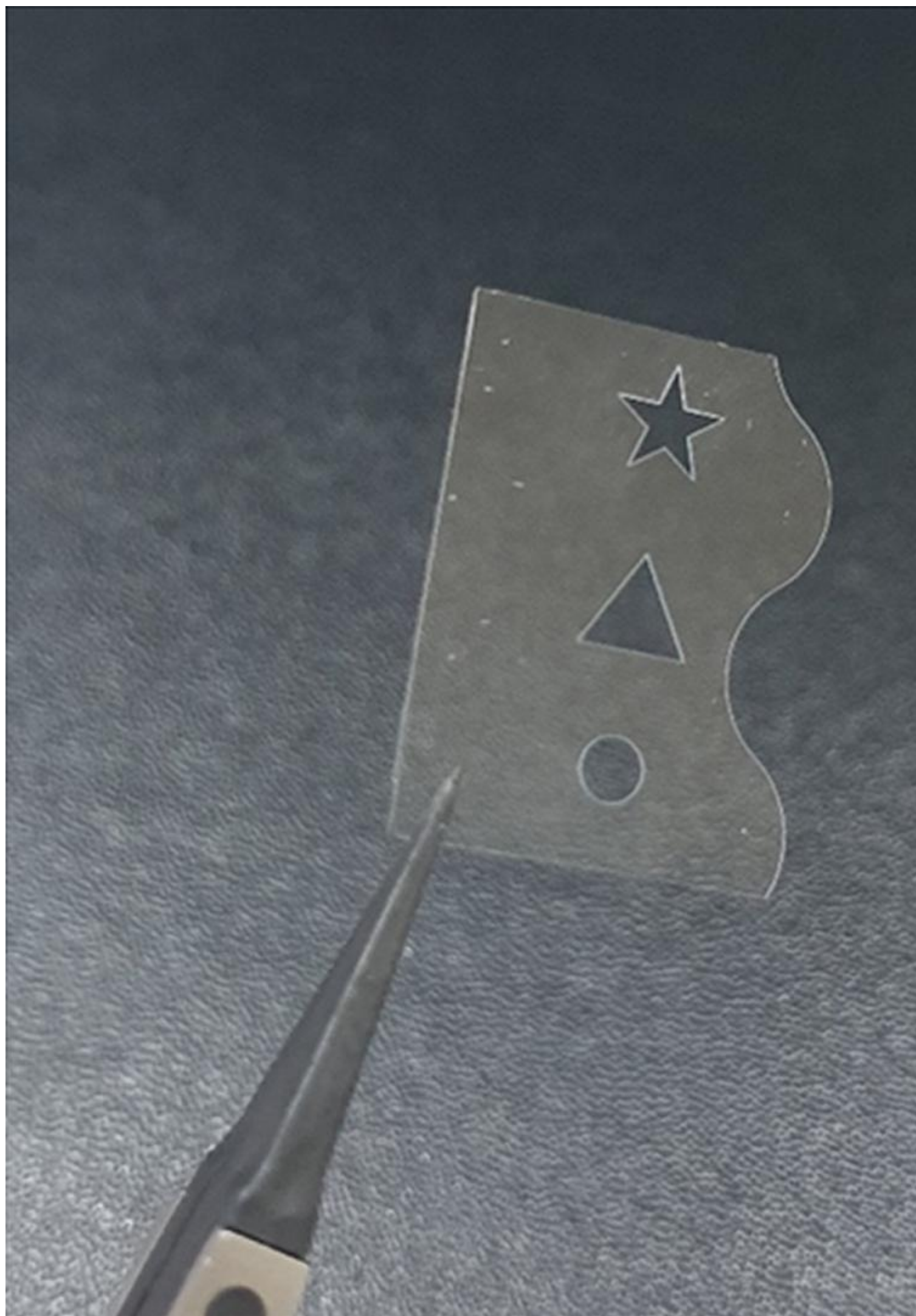


Usinage par laser femtoseconde : une approche pratique pour un problème persistant

Le verre et les céramiques techniques, comme l'alumine, la zircone ou le carbure de silicium, sont aujourd'hui indispensables dans de nombreuses applications industrielles. Ils sont utilisés comme supports, guides, buses, bagues d'étanchéité, boîtiers de capteurs ou composants optiques. Ces matériaux se distinguent par leur résistance à l'usure, leur inertie chimique et leur stabilité thermique, mais leur usinage reste difficile. Les procédés mécaniques par outils diamantés ou meules abrasives sont lents, coûteux et limités en liberté de conception. Ils présentent aussi un risque de fissures ou de microfissures compromettant l'intégrité structurelle des pièces.

Pour les entreprises qui produisent des composants de précision en verre ou en céramique, ces contraintes freinent l'automatisation et l'optimisation produit. Le besoin en structures plus fines, tolérances plus strictes et fonctionnalités intégrées augmente, alors que les techniques d'usinage traditionnelles atteignent leurs limites.

Dans ce contexte, l'usinage par laser femtoseconde (fs) constitue une alternative. Grâce à des impulsions ultracourtes et à des pics de puissance élevés, la matière est enlevée avec un apport thermique minimal. Cette interaction « froide » permet un travail de haute précision, sans les dégâts thermiques ou microfissures typiques des méthodes classiques. Ce qui était autrefois une méthode expérimentale devient aujourd'hui un outil industriel fiable, reproductible et compatible avec les environnements de production.



Comment fonctionne l'usinage par laser femtoseconde sur les matériaux fragiles ?

Lorsqu'une impulsion femtoseconde frappe un matériau transparent ou céramique, une absorption non linéaire se produit. L'intensité élevée du faisceau entraîne une ionisation locale et une ablation par plasma, même si le matériau est normalement transparent à la longueur d'onde du laser. L'énergie est déposée de manière si rapide et localisée que le matériau se vaporise avant que la chaleur ne se propage.

Cela présente trois avantages clés :

1. **Dommmages thermiques minimes**

Les bords et parois des trous restent nets, sans zones fondues ni fissures. Cela réduit les besoins en post-traitement comme le polissage.

2. **Possibilité de réaliser des détails très fins**

Des spots de quelques microns et un contrôle précis de la profondeur permettent de créer des trous, fentes et formes complexes, même dans les matériaux durs et cassants.

3. **Texture de surface en sous-produit**

Dans certaines conditions, des structures nanorépétitives auto-organisées (LIPSS) se forment, influençant la tension de surface, le frottement ou l'absorption de la lumière par la surface traitée. [1,2]

Usinage du verre : bien plus que de la découpe

Les lasers femtoseconde sont déjà utilisés dans de nombreuses applications de traitement du verre technique. Ils servent, par exemple, à percer et découper des verres borosilicatés, des verres dépolis ou des verres trempés pour capteurs, fenêtres de protection ou plaques optiques. Des trous traversants, fentes ou contours complexes sont produits avec une grande qualité de bord et un écaillage minimal.

La fonctionnalisation des surfaces est une autre application. Comme pour les métaux, des micro- ou nanostructures peuvent être appliquées sur les surfaces en verre pour leur conférer des propriétés hydrophobes, anti-buée ou anti-salissures. Les fenêtres de capteurs et les couvercles d'appareils destinés à l'extérieur, par exemple, acquièrent des propriétés fonctionnelles sans revêtement supplémentaire. [3]

Grâce à la flexibilité du faisceau laser, différentes zones d'un même composant peuvent être traitées avec des paramètres différents : par exemple, percer des trous de fixation dans une partie d'une plaque de verre et structurer une surface dans une autre.

Céramiques de précision : découpe, structuration, renforcement

Les mêmes avantages s'appliquent aux céramiques techniques, souvent utilisées dans des applications exigeantes :

- **Alumine et zircon**

Ces matériaux sont utilisés pour les pièces d'usure, composants de pompes, éléments de

positionnement et bagues d'étanchéité. Le laser femtoseconde permet de réaliser des ouvertures, fentes ou chanfreins précis sans compromettre la solidité structurelle.

- **Substrats céramiques**

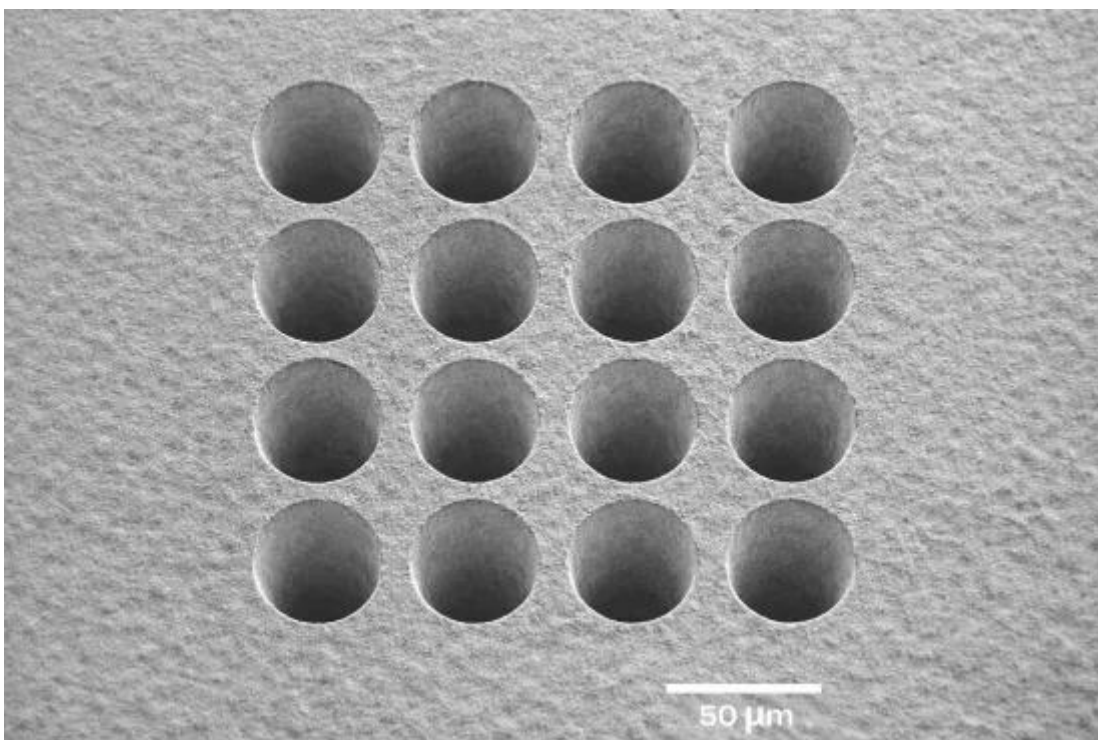
Dans l'électronique, les substrats en alumine et similaires sont souvent pourvus de vias, cavités ou canaux. Le traitement fs permet de produire ces structures sans contact et avec une grande reproductibilité, sans solliciter mécaniquement les plaques fines.

- **Buses et orifices**

Pour le dosage de gaz, la distribution de liquides ou le microdosage, des ouvertures nettes et précises dans la céramique sont essentielles. Le laser permet des formes de sortie complexes ou des chanfreins locaux, améliorant l'écoulement ou limitant les bouchons, tout en conservant la résistance à l'usure.

- **Structuration de surface légère**

En appliquant des micro-rainures ou alvéoles, on peut optimiser les propriétés de glissement ou la formation d'un film lubrifiant. [4] Cette approche, issue du travail sur les métaux, est aujourd'hui appliquée à des céramiques standards.



production existantes
iples, galvanomètres

Maturité industrielle et optimisation continue

Aujourd'hui, l'objectif de l'usinage par laser femtoseconde n'est plus la rupture, mais l'optimisation :

- **Augmenter la productivité avec les classes de puissance existantes**

Des stratégies de balayage plus intelligentes, le modelage du faisceau et l'optimisation du recouvrement des impulsions permettent d'accélérer les systèmes sans perte de qualité.

- **Standardisation et bibliothèques de paramètres**

De plus en plus d'entreprises adoptent cette technologie, ce qui amène une meilleure

documentation et reproductibilité des paramètres pour des matériaux standards comme l'alumine ou le borosilicate. Cela facilite son adoption.

- **Combiner usinage et fonctionnalisation**

L'intérêt grandit pour utiliser le même laser à la fois pour former les pièces et texturer leur surface. Par exemple, une bague d'étanchéité avec une zone de contact texturée, ou une fenêtre de capteur dont les trous et les structures de surface sont réalisés en un seul processus. Cette combinaison est de plus en plus fréquente.

Une technologie d'avenir

L'usinage par laser femtoseconde n'est plus une promesse futuriste, mais une réalité concrète. Pour les composants en verre ou céramique souvent conçus aux limites du possible, cette technologie offre une solution robuste. Les entreprises qui produisent des pièces complexes, précises ou multifonctionnelles peuvent y intégrer de nouvelles formes et fonctions, sans compromis sur la qualité ou la fiabilité des matériaux.

Cet article a été rédigé dans le cadre du [projet BBBC FEMTOFUNC](#), avec le soutien du FOD Economie.

Envie de façonner des surfaces biomimétiques et d'en explorer le potentiel industriel ?

Avec le projet FEMTOFUNC, Sirris montre comment la texturation laser femtoseconde permet de créer des surfaces fonctionnelles, durables et circulaires. Nous vous invitons à participer, à vous inspirer et à découvrir comment cette technologie propre ouvre de nouvelles perspectives en conception et en production.

[Découvrez le projet FEMTOFUNC](#)

Vous êtes confronté à des défis d'usinage dans le verre ou les céramiques techniques ?

Contactez notre expert Felipe Baroni pour discuter de votre application et évaluer comment le laser femtoseconde peut apporter de la valeur dans votre contexte de production.

[Contactez-nous](#)

Références

- [1] S. Höhm, A. Rosenfeld, J. Krüger, J. Bonse, “Femtosecond laser-induced periodic surface structures on silica,” *Journal of Applied Physics*, 112(1), 014901, 2012. doi:10.1063/1.4730902
- [2] G. Zhao, G. Wang, Y. Li, L. Wang, Y. Lian, Y. Yu, H. Zhao, Y. Wang, Z. Lu, “Femtosecond laser-induced periodic surface structures on hard and brittle materials,” *Science China Technological Sciences*, 67, 19–36, 2024. doi:10.1007/s11431-022-2327-8
- [3] Y. Lin, J. Han, M. Cai, W. Liu, X. Luo, H. Zhang, M. Zhong, “Durable and robust transparent superhydrophobic glass surfaces fabricated by a femtosecond laser with exceptional water repellency and thermostability,” *Journal of Materials Chemistry A*, 6(19), 9049–9056, 2018. doi:10.1039/C8TA01965G
- [4] Q. Yang, Y. You, B. Cheng, L. Chen, J. Cheng, D. Lou, Y. Wang, D. Liu, “Wettability surface and friction characterisation of ZrO₂ ceramics by femtosecond laser texturing,” *Industrial Lubrication and Tribology*, 75(1), 118–125, 2023. doi:10.1108/ILT-08-2022-0241
- Image 1, adapted from: Li, W. Investigation of Heat Accumulation in Femtosecond Laser Drilling of Carbon Fiber-Reinforced Polymer. *Micromachines*, 14(5), 913. 2023. <https://doi.org/10.3390/mi14050913>
- Image 2: Shin, H. Bottom-up cutting method to maximize edge strength in femtosecond laser ablation cutting of ultra-thin glass. *Optics & Laser Technology*, 38 – 106921. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.106921>
- Image 3, adapted from: Jia, X. Advances in Laser Drilling of Structural Ceramics. *Nanomaterials* 12(2), 230. 2022. <https://doi.org/10.3390/nano12020230>

Auteurs



Felipe Baroni