

Usinage horloger : l'exigence du micron

L'horlogerie de haute précision repousse sans cesse les limites de l'usinage. De l'or et du platine taillés au dixième de millimètre près aux pierres dures façonnées par coupe plutôt que par abrasion, deux innovations technologiques illustrent comment gain de matière et gain de temps redéfinissent aujourd'hui la fabrication des composants les plus exigeants.

Dans l'usinage de composants horlogers en métaux précieux, quelques dixièmes de millimètre représentent un enjeu considérable. Lorsqu'il s'agit de découper des mailons de bracelets en or ou en platine, la largeur du trait de coupe détermine directement le volume de matière transformé en copeaux, et donc le coût global du processus.

Trois dixièmes de millimètre qui changent tout

Les outils habituellement employés pour ce type d'application affichent une épaisseur d'environ 0,8 mm, associée à une denture limitée à une dizaine de dents. MARS Solutions a exploré une voie différente en développant sous la marque Stellar Tools un outil PCD (diamant polycristallin) de seulement 0,5 mm d'épaisseur, doté de 32 dents.

Passer de 0,8 à 0,5 mm équivaut à une réduction de 37,5 % de la largeur du trait

de coupe. Cela ne signifie pas qu'un tiers de la matière totale de la pièce est économisée, mais que chaque passe génère nettement moins de copeaux. Sur des métaux comme l'or ou le platine, en séries répétées, cette différence prend rapidement une dimension économique substantielle. Réduire l'épaisseur d'un outil ne suffit pas à garantir sa performance : plus fin, il devient mécaniquement plus sensible et exigeant en stabilité. L'enjeu a donc consisté à obtenir cette réduction sans provoquer de vibrations susceptibles de dégrader la pièce, l'état de surface, ou la durée de vie de l'outil.

La seconde avancée concerne la denture. Avec 32 arêtes engagées simultanément, contre 10 à 12 habituellement, cette configuration permet de travailler sur la régularité de la coupe et d'élargir les possibilités d'avance, avec un double objectif : réduire à la fois le coût matière et le temps de processus.

Cette performance ne résulte pas d'une simple miniaturisation d'un outil existant, mais d'une expertise accumulée depuis de nombreuses années dans la conception d'outils PCD de très faible épaisseur et la maîtrise de leur mise en œuvre.

Dans l'horlogerie, l'innovation n'est pas toujours spectaculaire à l'œil nu. Elle peut tenir dans trois dixièmes de millimètre, qui prennent une tout autre valeur lorsqu'ils permettent d'économiser une matière

précieuse tout en améliorant la productivité.

Après le métal précieux, le défi des matières dures

L'or et le platine ne sont pas les seules matières à mettre l'usinage horloger à l'épreuve. Céramique, pierre naturelle, ou lapis-lazuli posent un défi différent : celui de matériaux extrêmement durs mais tout aussi fragiles. Traditionnellement façonnées par abrasion à l'aide de meules diamantées, ces matières se heurtent à une limite intrinsèque de cette technologie pourtant éprouvée : la meule s'use au contact de la matière et s'écarte progressivement de son diamètre nominal.

Cette problématique devient particulièrement sensible sur les petits diamètres. Pour atteindre la dimension recherchée, il faut multiplier les passes, contrôler régulièrement la pièce, mesurer l'évolution de l'outil, puis corriger le processus, autant d'opérations de mesure et de compensation qui s'ajoutent au temps d'usinage. Avec la technologie Ultra Diamond Coating (UDC) développée par Union Tool, l'approche change radicalement de nature : il ne s'agit plus d'abrasion, mais d'une véritable opération de coupe.

Une technologie entièrement maîtrisée

L'outil revêtu UDC repose sur un corps en métal dur sur lequel est déposée une couche de diamant, ensuite taillée au laser sur des équipements dédiés afin de générer précisément la géométrie de coupe et d'obtenir une acuité d'arête inférieure au micron. Sa singularité réside dans la maîtrise complète de sa chaîne de fabrication : du substrat au revêtement diamant, jusqu'au taillage laser de l'arête, chaque étape déterminante est réalisée en interne. Cette intégration verticale garantit la répétabilité à l'échelle industrielle. Avec un taux de



0,5 mm d'épaisseur, 32 dents : la fraise-scie PCD Stellar Tools de MARS Solutions réduit de 37,5 % le trait de coupe sur les métaux précieux, pour moins de copeaux, et plus de productivité.

Source : MARS Solutions SA

rebut mesuré en quelques PPM, l'objectif n'est pas d'obtenir ponctuellement un outil exceptionnel, mais de reproduire la même qualité en continu, du 1^{er} janvier au 31 décembre.

Cette maîtrise de bout en bout distingue les outils UDC sur le marché et a permis de développer un savoir-faire propriétaire, protégé par plusieurs brevets (revêtement, taillage, etc...), sans dépendance à aucun procédé critique externalisé.

De deux à trois fois plus rapide que le meulage

Une meule diamantée travaille par abrasion et perd progressivement sa dimension. L'outil revêtu UDC, lui, opère avec une arête de coupe définie et conserve bien mieux sa géométrie dans la durée. Une seule passe d'usinage peut ainsi remplacer plusieurs passes de meulage, ainsi que les opérations intermédiaires de mesure et de correction.

Selon les applications, le temps global de processus peut ainsi être divisé par deux, voire par trois. Plus l'outil est petit, plus il sera rapide comparé à une meule. Le gain ne se limite pas à la productivité : la stabilité dimensionnelle de l'outil permet également de mieux maîtriser la géométrie finale de la pièce et de rendre le processus plus reproductible d'une série à l'autre.

Cette nouvelle approche introduit néanmoins des contraintes différentes de celles du meulage. Une céramique ou une pierre naturelle supporte mal les chocs : là où une meule enlève progressivement la matière par abrasion, une véritable arête de coupe génère une sollicitation mécanique à chaque passage, comme une succession de micro-impacts contrôlés plutôt qu'une abrasion continue.

Toute la difficulté consiste donc à bénéficier de l'efficacité de la coupe sans transmettre à la pièce des contraintes susceptibles de provoquer des éclats, voire une rupture. Les développements menés permettent aujourd'hui d'obtenir une excellente qualité d'usinage, avec des éclats contenus autour de 3 microns, sachant que sur des matières naturelles « vivantes »,

Coupée, non meulée : cette carrure en lapis-lazuli illustre la précision de la technologie UDC (Ultra Diamond Coating) sur les matières les plus fragiles.

Source : Union Tool



dont la structure n'est jamais parfaitement homogène, leur apparition conserve une part liée à la matière elle-même. C'est précisément à cette échelle que l'on mesure combien la performance ne dépend plus uniquement de l'outil de coupe.

Maîtriser la cinétique d'usinage de la broche à la pièce

Disposer d'une arête de coupe d'une acuité inférieure au micron n'a de sens que si elle peut être positionnée et déplacée avec une précision cohérente par rapport à la pièce. Le système de préhension de l'outil devient ainsi presque aussi déterminant que l'outil lui-même. C'est là qu'interviennent les porte-outils hydrauliques Stellar Tools, marque développée par MARS Solutions. Leur rôle dépasse le simple maintien de la queue de l'outil : ils contribuent directement à la maîtrise de la concentricité entre le nez de broche, l'outil et le point de contact réel de l'arête dans la matière, ce que l'on peut désigner comme la cinétique d'usinage.

Il ne s'agit plus seulement de connaître la position théorique programmée par la machine, mais de maîtriser la trajectoire effective de l'arête au contact de la pièce. À cette échelle, quelques microns de déplacement parasite, de faux-rond, ou de déformation suffisent à modifier la sollicitation appliquée à une pierre ou une céramique, et donc à influencer la qualité obtenue.

La technologie hydraulique Stellar Tools contribue à cette maîtrise en assurant un maintien homogène de l'outil et une concentricité optimale de l'ensemble broche-outil, afin de préserver jusqu'au point de contact l'extrême précision obtenue lors de la fabrication de l'arête UDC. La performance finale repose ainsi sur une chaîne

complète : précision de la machine, qualité du porte-outils hydraulique, géométrie de l'UDC, prise de pièce, paramètres de coupe et stratégie d'usinage.

Rendre simple ce qui ne l'était pas

Les premiers développements ont nécessité de repartir d'une feuille blanche : paramètres de coupe, stratégies d'usinage, prise de pièce et d'outil, compréhension du comportement de matières très différentes des matériaux métalliques conventionnels. Derrière les processus aujourd'hui maîtrisés se cachent inévitablement des essais, des outils cassés, des pièces éclatées, et de longues heures consacrées à comprendre ce que chaque matière accepte, et ce qu'elle n'accepte pas.

Les essais réalisés sur le lapis-lazuli illustrent concrètement cette démarche : différentes stratégies d'ébauche et de finition ont été mises au point avec la gamme UDC, avec des vitesses de rotation atteignant 24 000 tours par minute et des conditions de coupe adaptées à chaque opération.

Une fois cette expérience acquise, ce qui paraissait extrêmement complexe devient progressivement reproductible, puis presque simple. C'est probablement là que se situe la véritable innovation : non pas seulement disposer d'un outil capable de couper une pierre, mais maîtriser l'ensemble de la chaîne qui permet de le faire plus rapidement, avec précision et de manière répétable. En d'autres termes, rendre simple ce qui, au départ, ne l'était absolument pas.

MARS Solutions SA
Route du Nant-d'Avril 150, 1217 Meyrin
Tél. 079 840 90 91, contact@mars-sa.ch
mars-sa.ch

MSM EN BREF

Spécialiste en solution d'usinage

Mars Solutions organise régulièrement des workshops techniques consacrés aux nouvelles technologies d'usinage. Pour être informé des prochaines sessions ou proposer une problématique d'usinage, il suffit de contacter le 079 840 90 91 ou par email à contact@mars-sa.ch.