

FRANÇAIS

Usinage de haute précision avec le laser à eau «froide»

Le procédé LMJ, développé et breveté par une société suisse, est basé – c'est une image - sur la combinaison du feu et de l'eau: le matériau est usiné par un jet d'eau très fin dans lequel sont dirigées des impulsions laser à haute énergie.

Le refroidissement par l'eau permet d'éviter les dommages sur le matériau. Les domaines d'application comprennent la mécanique de précision, la technologie médicale, l'horlogerie, l'électronique, l'outillage et l'aérospatiale. L'objectif actuel du développement est l'automatisation complète en vue de l'industrie 4.0.

«Le procédé d'usinage Laser MicroJet (LMJ) est fondamentalement différent de tout autre procédé d'usinage laser sur le marché», explique le Dr Amédée Zryd, directeur des applications/R&D chez Synova SA à Duillier, en Suisse. Une caractéristique particulière de cette technologie fait que les impulsions laser, courtes mais énergivores, sont dirigées sur la pièce par une «fibre optique» constituée d'un jet d'eau très fin au lieu de passer à travers un système optique. Comme le laser reste, par réflexion sur les surfaces, focalisé à l'intérieur du flux laminaire et donc du jet d'eau d'une minceur constante sur des distances pouvant atteindre 50 mm, il est possible de réaliser des coupes très profondes avec des surfaces verticales de facto très lisses. L'usinage se fait par passages successifs, en approfondissant à chaque fois un peu plus l'entaille initiale jusqu'à ce que la coupe traverse complètement la matière. Grâce au jet d'eau, le faisceau laser du LMJ reste concentré sur des distances beaucoup plus longues que celui d'un laser classique.

Les impulsions provoquent une brève fusion de minuscules quantités de matériau, comme c'est habituellement le cas avec les procédés laser. Le jet d'eau, qui frappe à une pression de 50-800 bars, refroidit très efficacement la pièce afin qu'elle ne subisse aucun dommage thermique. Il garantit également que les particules fondues soient rapidement et efficacement chassées de la zone de travail. Il en résulte des surfaces propres ainsi que des propriétés matérielles qui correspondent à celles du matériau non usiné. Le fin faisceau d'eau assure des espaces d'entre-coupe extrêmement étroits de 25-80 µm avec une très faible rugosité des flancs. Des matériaux tels que les métaux, les métaux durs, les minéraux, les céramiques, les semi-conducteurs ou les matériaux composites peuvent être usinés. La

dureté n'a pas d'importance. Le laser peut au contraire montrer sa puissance sur des matériaux durs et super-durs allant jusqu'au diamant.

Le défi du contrôle des processus

«L'avantage de l'usinage avec une machine-outil classique est que les paramètres de l'outil sont définis avec des tolérances extrêmement serrées», dit A. Zryd. Ainsi, un foret de 3 mm de diamètre produira un trou d'un diamètre équivalent et d'une profondeur définie avec précision. C'est pourquoi ce type de processus d'usinage peut être contrôlé avec un degré élevé de certitude. Dans le processus LMJ, en revanche, les conditions sont plus complexes.

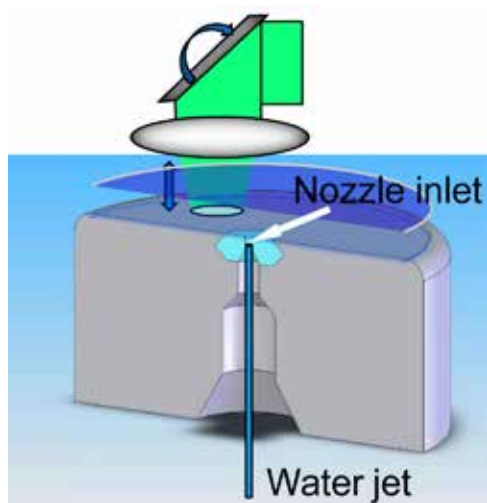
Du système de laboratoire à l'outil de travail tous usages de l'atelier

«Afin d'améliorer la maîtrise de ce processus exigeant, nous menons depuis des années une stratégie offensive en termes d'innovation», ajoute A. Zryd. L'objectif est de stabiliser tous les paramètres essentiels du processus. À cette fin, des capteurs spéciaux ainsi que des méthodes de mesure et de surveillance sophistiquées ont été développés, permettant une automatisation complète. Grâce à des boucles de contrôle aussi fermées que possible, l'objectif est de maîtriser les processus de telle sorte que les résultats du travail puissent être garantis dans les limites de tolérance les plus étroites possibles. Grâce à cette stabilisation des paramètres essentiels des installations, l'entreprise est en bonne voie pour répondre aux exigences actuelles de l'industrie 4.0. Nous nous sommes considérablement approchés de cet objectif ces dernières années. De nombreux systèmes actuels sont si simples et sûrs à utiliser qu'ils peuvent également être exploités par des employés qualifiés au niveau de l'atelier. Les solutions les plus importantes parmi les nombreuses brevétées et mises en œuvre à ce jour sont présentées ici.

Garantie de la qualité de l'outil

«Alors que les outils métalliques sont précisément définis en termes, par exemple, de longueur et de diamètre ainsi que de

paramètres de coupe, le processus LMJ doit faire l'objet de beaucoup plus d'efforts», révèle A. Zryd. Ainsi, tant la puissance du laser que la cohérence et l'uniformité du flux du jet d'eau peuvent varier, parfois considérablement, ce qui peut affecter l'efficacité de l'ablation. C'est pourquoi tout un ensemble de mécanismes de contrôle automatique a été développé, qui couvre les paramètres les plus essentiels. Le positionnement du faisceau laser exactement au centre du jet d'eau est particulièrement important. Cette solution, développée conjointement avec Makino, est basée sur un système de caméra qui détecte la position du faisceau laser à l'intérieur de la buse avec une résolution de 1 µm et le manœuvre avec précision au centre de l'ouverture de la buse à l'aide d'actionneurs. Une cellule de mesure spéciale a également été développée pour la détermination directe de l'énergie du faisceau laser sur la surface de la pièce.



Le faisceau laser est automatiquement aligné et focalisé exactement sur le centre de la buse.

Der Laserstrahl wird automatisch exakt auf die Mitte der Düse ausgerichtet und fokussiert.

The laser beam is automatically aligned and focused exactly on the centre of the nozzle.

Tout aussi important est le contrôle précis de l'angle du faisceau. Pour des raisons techniques, le faisceau généré dans la tête présente généralement une déviation angulaire, certes petite mais tout de même significative, par rapport à l'axe vertical de la tête du faisceau. Cet écart est détecté en «sondant» le faisceau sur les bords tranchants d'une unité de calibrage, qui détermine également la position du jet d'eau/laser dans la machine avec une précision micrométrique, et corrigé par un réajustement automatique de l'angle d'inclinaison de l'ensemble de la tête du faisceau. Un autre aspect important concerne la laminarité du flux du jet d'eau après sa sortie de la buse. Cette laminarité est une condition préalable à la réflexion totale de la lumière laser à l'interface avec l'air ambiant. Elle est affectée par l'usure de la buse, qui réduit l'effet des impulsions laser sur la pièce. Pour la détection, Synova a développé une unité spéciale de capteurs qui mesure le rayonnement Raman. S'il est stable à la fois localement et dans le temps sur une section correspondante du faisceau, cela indique une bonne qualité de la buse. En revanche, si l'émission Raman diminue ou fluctue, la buse doit être remplacée.

SX 100-hpm

**HIGH PRECISION
3D MICRO EROSION
CLOSED CELL MACHINE**

**SO EASY
AND
SO PERFORMING!**



**for
high accuracy
Micro EDM Drilling
and
complex
3D Micro EDM Milling
machining**

**for
MICRO MECHANICS
MICRO MOLD
AUTOMOTIVE
TEXTILE
MEDICAL
AEROSPACE**

SARIX
3D MICRO EDM MACHINING
 **sarix.com**



Détection de la position de la pièce

«Comme pour toute opération d'usinage, la position et l'orientation de la pièce doivent être calibrées pour le processus LMJ», explique A. Zryd. Pour cela, on utilise soit des stylets, soit des systèmes de caméra. Dans ce dernier cas, la pièce doit être munie d'un registre optique ou de marques de référence, qui sont ensuite automatiquement détectées par la caméra. Avec cet équipement la position de la pièce, ainsi que toute déviation angulaire, peuvent être déterminées de manière entièrement automatique en coordonnées machine dans les directions X, Y et Z.

Détecteur de pannes

Deux technologies ont été développées pour détecter une rupture dans le matériau, qui enregistrent l'intensité du rayonnement du plasma réfléchi par la pièce. Dans la première variante, qui est utilisée pour les têtes d'usinage 3D, la mesure est effectuée directement dans l'unité laser. Avec les têtes 2D en revanche, le rayonnement est préalablement dévié et guidé vers un capteur via une fibre optique. La rupture est détectée par comparaison avec un seuil prédéfini. Ce signal peut être utilisé de différentes manières selon la tâche à accomplir. Dans certains cas - par exemple, lors de l'usinage de pièces dont l'épaisseur des parois varie, comme les diamants naturels - il peut être utilisé pour réduire le temps d'usinage global. Lors de la découpe de fentes dans des plaquettes de silicium de grand format, qui sont utilisées pour le gazage dans des chambres de gravure au plasma pour plaquettes, des gains de temps de cycle de 10 à 15% ont été obtenus.

Projets futurs : usinage 3D, tournage, tête à changement rapide

«Nous travaillons actuellement sur des projets plus avancés tels que l'usinage 3D ou une tête à changement rapide», ajoute A. Zryd. Pour l'usinage 3D envisagé ainsi que pour le tournage, un capteur est utilisé pour déterminer la profondeur d'usinage actuelle à une petite échelle. Les domaines d'application possibles sont notamment les géométries brise-copeaux sur les outils de coupe ou le décolletage de précision de composants pour l'industrie horlogère. Pour l'instant, cependant, le processus est encore en cours de développement. Le développement de têtes à changement rapide, également envisagé, présente un potentiel de réduction des temps d'installation. Pour l'instant, il n'existe malheureusement qu'une solution provisoire, à



savoir l'utilisation d'une deuxième pièce de couplage. Si celle-ci est équipée d'une nouvelle buse à l'extérieur de l'installation, un changement peut être effectué en 10 minutes environ au lieu de 20 minutes auparavant.

DEUTSCH

Hochpräzisions-Bearbeitung mit dem «kalten» Wasser-Laser

Das von einem Schweizer Unternehmen entwickelte und patentierte LMJ-Verfahren beruht – bildlich gesprochen – auf der Kombination von Feuer und Wasser: Die Materialbearbeitung erfolgt durch einen haardünnen Wasserstrahl, in den hoche-nergetische Laserimpulse geleitet werden.

Die Kühlung durch das Wasser verhindert hierbei Beeinträchtigungen des Werkstoffs. Einsatzbereiche sind z.B. Feinmechanik, Medizintechnik, Uhrenherstellung, Elektronik, Werkzeugherstellung und die Luft- und Raumfahrt. Aktueller Entwicklungsschwerpunkt ist die Vollautomatisierung mit Blick auf Industrie 4.0.

«Der Laser MicroJet (LMJ)-Bearbeitungsprozess unterscheidet sich grundsätzlich von allen anderen Laserbearbeitungsverfahren auf dem Markt», erläutert Dr. Amédée Zryd, Direktor Applikation/F&E der Synova S.A. in Duillier (Schweiz). Besonderheit dieser Technologie ist die Tatsache, dass die kurzen, aber energieintensiven Laserimpulse – statt durch eine Optik – über eine «optische Faser» aus einem haarfeinen Wasserstrahl auf das Werkstück geleitet werden. Da der Laser im Inneren des laminar strömenden und damit über Distanzen von bis zu 50 mm gleichbleibend dünnen Wasserstrahls durch Oberflächenreflexion fokussiert bleibt, sind sehr tief reichende Schnitte mit faktisch vertikalen und sehr glatten Oberflächen möglich. Die Bearbeitung erfolgt durch aufeinanderfolgende Durchläufe, wodurch die sich zunächst bildende Kerbe jeweils ein wenig vertieft wird, bis der Schnitt komplett durch das Material geht. Dank des Wasserstrahls bleibt der LMJ-Laserstrahl über wesentlich größere Distanzen voll fokussiert als derjenige eines konventionellen Lasers.

Cellule de mesure pour la détection de l'énergie laser dans le jet d'eau.

Messzelle für die Erfassung der Laserenergie innerhalb des Wasserstrahls.

Measuring cell for detecting the laser energy within the water jet.

Im Werkstück bewirken die Pulse wie bei Laserverfahren üblich das kurzzeitige Aufschmelzen winziger Materialmengen. Der mit einem Druck von 50-800 bar auftreffende Wasserstrahl kühlt dabei das Werkstück mit hoher Effizienz, so dass es keine thermische Schädigung erleidet. Zudem sorgt er dafür, dass abgeschmolzene Partikel schnell und effizient aus dem Arbeitsbereich herausgespült und abtransportiert werden. Das Ergebnis sind saubere Oberflächen sowie Materialeigenschaften, die denen des unbearbeiteten Werkstoffs entsprechen. Die dünne Wasserfaser gewährleistet extrem enge Schnittspalte von 25-80 µm mit sehr geringer Flankenrauheit. Bearbeitbar sind Materialien wie Metalle, Hartmetalle, Mineralien Keramik, Halbleiter, oder Verbundwerkstoffe. Die Härte spielt keine Rolle, im Gegenteil, der Laser kann gerade bei harten und superharten Werkstoffen bis hin zum Diamant seine Stärken ausspielen.



Système de caméra (à gauche) pour déterminer la position et l'orientation de la pièce.

Kamerasystem (links) für die Bestimmung von Position und Lage des Werkstücks.

Camera system (left) for determining the position and orientation of the workpiece.

Herausforderung Prozessbeherrschung

«Der Vorteil einer Bearbeitung mit einer klassischen Werkzeugmaschine besteht darin, dass die Werkzeugparameter mit äußerst engen Toleranzen definiert sind,» weiß A. Zryd. So wird ein Bohrer mit einem Durchmesser von 3 mm auch eine Bohrung mit exakt diesem Durchmesser und einer ebenfalls genau definierten Tiefe erzeugen. Aus diesem Grund lassen sich die entsprechenden Bearbeitungsprozesse mit hoher Sicherheit beherrschen. Beim LMJ-Prozess sind die Verhältnisse dagegen komplexer.

Vom Laborsystem zum Werkstatt-Arbeitspferd

«Um die Beherrschung dieses anspruchsvollen Prozesses zu verbessern, betreiben wir seit Jahren eine systematische Innovations-offensive», ergänzt A. Zryd. Ziel ist die Stabilisierung aller wesentlichen Prozessparameter. Hierfür wurden spezielle Sensoren sowie ausgeklügelte Mess- und Überwachungsmethoden entwickelt, die eine umfassende Automatisierung ermöglichen. Durch möglichst weitgehend geschlossene Regelkreise wolle man die Prozesse so in den Griff bekommen, dass die Arbeitsergebnisse innerhalb möglichst enger Toleranzen gewährleistet werden können. Dank dieser Stabilisierung der wesentlichen Anlagenparameter sei man auf einem guten Weg, um sich heutigen Anforderungen wie Industrie 4.0 weitgehend anzugleichen. Diesem Ziel habe man sich in den letzten Jahren bereits merklich nähern können. Viele der heutigen Anlagen seien in der Handhabung so einfach und so sicher, dass man sie auch mit Facharbeitern auf Werkstattebene

bedienen könne. Von den zahlreichen bisher realisierten patentierten Lösungen sollen hier die wichtigsten vorgestellt werden.

Gewährleistung der «Werkzeug»-Qualität

«Während metallische Werkzeuge bezüglich z.B. Länge und Durchmesser sowie Zerspanungsparametern genau definiert sind, muss beim LMJ-Prozess deutlich mehr Aufwand getrieben werden», verrät A. Zryd. So können sowohl die Leistung des Lasers als auch Kohärenz und Gleichmäßigkeit der Strömung des Wasserstrahls teils erheblich variieren, was wiederum die Wirksamkeit der Abtragung beeinflusst. Deshalb wurde ein ganzes Paket automatischer Regelmechanismen entwickelt, welche die wesentlichsten Parameter abdecken. Besonders wichtig ist dabei die Positionierung des Laserstrahls exakt in der Mitte des Wasserstrahls. Diese gemeinsam mit Makino entwickelte Lösung beruht auf einem Kamerasystem, das die Position des Laserstrahls innerhalb der Düse mit einer Auflösung von 1 µm erfasst und mithilfe von Stellgliedern genau in die Mitte der Düsenöffnung manövriert. Auch für die direkte Bestimmung der Energie des Laserstrahls auf der Oberfläche des Werkstücks wurde eine spezielle Messzelle entwickelt.

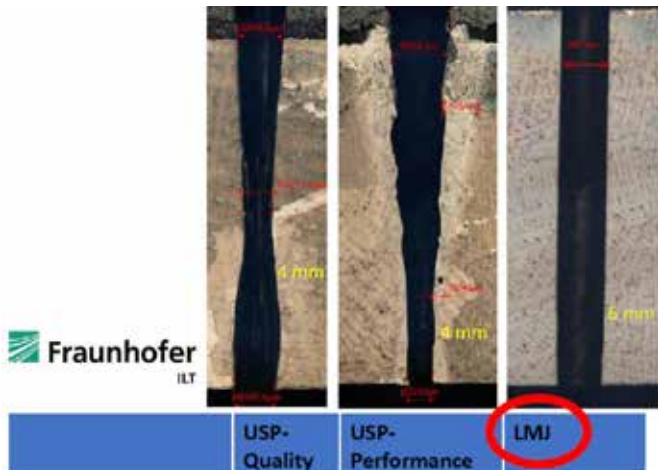
Ebenso bedeutsam ist die genaue Kontrolle des Strahlwinkels. Technisch bedingt weist der im Kopf erzeugte Strahl in der Regel eine kleine, aber signifikante Winkelabweichung gegenüber der Vertikalachse des Strahlkopfs auf. Diese Abweichung wird durch



The next generation of cobots is here



Learn more on our website



Comparaison de trous fins percés avec un laser conventionnel à impulsions ultracourtes (centre et gauche) et avec un laser LMJ (droite) dans un alliage à base de nickel revêtu (Photo : Fraunhofer ILT).

Vergleich von feinen Bohrungen, die mit einem konventionellen Ultrakurz-puls-Laser (Mitte und links) bzw. mit einem LMJ-Laser (rechts) in eine beschichtete Nickelbasislegierung eingebracht wurden (Foto: Fraunhofer ILT).

Comparison of fine holes made in a coated nickel-based alloy with a conventional ultrashort pulse laser (centre and left) and with an LMJ laser (right) (Photo: Fraunhofer ILT).

von Teilen mit variierender Wanddicke wie Naturdiamanten – lässt sich dadurch die Gesamtdauer der Bearbeitung verringern. Beim Schneiden von Schlitz in großformatige Silizium-Scheiben, die zur Begasung in Plasma-Ätzkammern für Wafer verwendet werden, wurden so Zykluszeitvorteile von 10-15 % erzielt.

Zukunftsprojekte: 3D-Bearbeitung, Drehen, Schnellwechselkopf

«Derzeit arbeiten wir an weitergehenden Projekten wie 3D-Bearbeitungen oder einem Schnellwechselkopf», setzt A. Zryd hinzu. Bei der angedachten 3D-Bearbeitung sowie beim Drehen kommt ein Sensor zum Einsatz, mit dem die aktuelle Bearbeitungstiefe kleinräumig festgestellt werden kann. Mögliche Einsatzbereiche seien beispielsweise spanbrechende Geometrien an Zerspanungswerkzeugen oder Feindrehbauteile für die Uhrenindustrie. Momentan sei das Verfahren allerdings noch in der Entwicklung. Potential für die Einsparung von Rüstzeiten ergebe sich durch die ebenfalls angedachte Entwicklung von Schnellwechselköpfen. Derzeit verfüge man leider erst über eine Zwischenlösung, indem ein zweites Kupplungsstück verwendet wird. Wenn man dieses außerhalb der Anlage mit einer neuen Düse ausrüstet, kann ein Wechsel innerhalb von etwa 10 statt wie bisher 20 Minuten ausgeführt werden.

ENGLISH

High-precision machining with the "cold" water laser

The LMJ process, developed and patented by a Swiss company, is based - this is an image - on the combination of fire and water: the material is machined by a very fine water jet into which high-energy laser pulses are directed.

Water cooling prevents damage to the material. Areas of application include precision mechanics, medical technology, watchmaking, electronics, tooling and aerospace. The current development goal is complete automation for Industry 4.0.

"The Laser MicroJet (LMJ) machining process is fundamentally different from any other laser machining process on the market,"

«Antasten» mit dem Strahl an den scharfen Kanten einer Kalibriereinheit detektiert, die außerdem die Lage des Laser-Wasserstrahls in der Maschine mikrometergenau bestimmt, und durch automatisches Nachjustierung des Neigungswinkels des gesamten Strahlkopfs korrigiert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft die Laminarität der Strömung des Wasserstrahls nach dem Austritt aus der Düse. Diese Laminarität ist Voraussetzung für die Totalreflexion des Laserlichts an der Grenzfläche zur Umgebungsluft. Sie wird durch an der Düse auftretenden Verschleiß beeinträchtigt, was die Wirkung der Laserpulse auf das Werkstück verringert. Zur Erkennung entwickelte Synova eine spezielle Sensor-Einheit, welche die sogenannte Raman-Strahlung misst. Ist diese örtlich wie zeitlich über einen entsprechend großen Abschnitt des Strahls hinweg stabil, so signalisiert dies eine gute Düsenqualität. Bei Verringerung oder Fluktuation der Raman-Emission muss dagegen die Düse ausgetauscht werden.

Erfassung der Werkstückposition

«Wie bei jeder maschinellen Bearbeitung müssen auch beim LMJ-Verfahren Position und Ausrichtung des Werkstücks eingemessen werden», sagt A. Zryd. Hierfür kommen wahlweise Taster oder Kamerasysteme zum Einsatz. Bei letzteren muss das Werkstück mit optischen Passer- bzw. Referenzmarken versehen werden, die dann von der Kamera automatisch erfasst werden. Mit diesen Ausrüstungen lässt sich die Lage des Werkstücks in Maschinenkoordinaten in X-, Y- und Z-Richtung sowie eine gegebenenfalls vorhandene Winkelabweichung vollautomatisch bestimmen.

Durchbruchsensor

Für die Erkennung eines Durchbruchs durch das Material wurden gleich zwei Technologien entwickelt, welche die Intensität der vom Werkstück zurückgeworfenen Plasma-Strahlung registrieren. Bei der ersten Variante, die bei Köpfen zur 3D-Bearbeitung eingesetzt wird, erfolgt die Messung direkt in der Lasereinheit. Bei 2D-Köpfen wird die Rückstrahlung dagegen vorher ausgeleitet und über eine optische Faser zu einem Sensor geführt. Durch Vergleich mit einer vordefinierten Schwelle wird der Durchbruch erkannt. Dieses Signal kann je nach Aufgabenstellung unterschiedlich genutzt werden. In bestimmten Fällen – z.B. bei der Bearbeitung

explains Dr. Amédée Zryd, Director of Applications/R&D at Synova SA in Duillier, Switzerland. A special feature of this technology is that the laser pulses, which are short but energy consuming, are directed onto the workpiece by an "optical fibre" consisting of a very fine jet of water instead of passing through an optical system. As the laser remains, by reflection from the surfaces, focused within the laminar flow and thus the constantly thin water jet over distances of up to 50 mm, it is possible to make very deep cuts with very smooth vertical surfaces. Machining is carried out in successive passes, each time deepening the initial notch a little more until the cut passes completely through the material. Thanks to the water jet, the LMJ's laser beam remains concentrated over much longer distances than that of a conventional laser.

The pulses cause a brief melting of tiny amounts of material, as is usually the case with laser processes. The water jet, which strikes at a pressure of 50-800 bar, cools the workpiece very effectively so that it does not suffer any thermal damage. It also ensures that the molten particles are quickly and efficiently expelled from the work area. This results in clean surfaces and material properties that match those of the unmachined material. The fine water beam ensures extremely narrow gaps of 25-80 µm with very low flank roughness. Materials such as metals, hard metals, minerals, ceramics, semiconductors or composite materials can be machined. Hardness is not important. On the contrary, the laser can show its power on hard and super-hard materials up to diamond.

The challenge of process control

"The advantage of machining with a conventional machine tool is that the tool parameters are defined with extremely tight tolerances," says A. Zryd. For example, a drill with a 3 mm diameter will produce a hole with an equivalent diameter and a precisely defined depth. This is why this type of machining process can be controlled with a high degree of certainty. In the LMJ process, on the other hand, the conditions are more complex.

From the laboratory system to the all-purpose work tool in the workshop

"In order to improve our mastery of this demanding process, we have been pursuing an offensive strategy in terms of innovation for years," A. Zryd adds. The aim is to stabilise all the essential parameters of the process. For this purpose, special sensors and sophisticated measuring and monitoring methods have been developed, enabling full automation. By means of control loops that are as closed as possible, the aim is to control processes in such a way that work results can be guaranteed within the narrowest possible tolerance limits. Thanks to the stabilization of the installations essential parameters, the company is well on its way to meeting the current requirements of Industry 4.0. We have come considerably closer to this goal in recent years. Many of today's systems are so simple and safe to use that they can also be operated by workshop's qualified employees. The most important solutions among the many patented and implemented to date are presented here.

ALL-ROUND SOLUTIONS MAXIMUM PRECISION AND PRODUCTIVITY

PRECI
TRAME



- High precision transfer system of the part
- Complete machining with one clamping step
- Up to 66 axes simultaneous and up to 60 tools
- Automatic tool changer ATC440 for HSK-40
- User-friendly operation with the HMI Precitrame Machine Manager (PMM)
- Compatible with the automated cell Precitrame CA61 and Cybermotion®
- Highly productive, versatile and adaptive turnkey solution



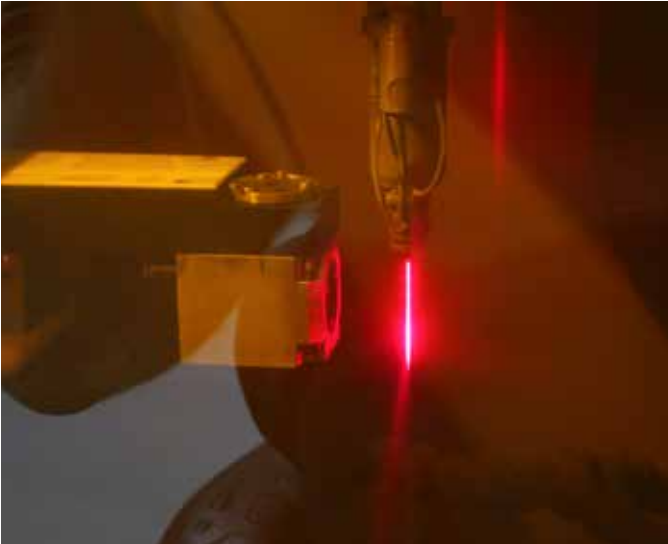
Precitrame Machines SA

Grand-Rue 5

CH-2720 Tramelan

T +41 32 486 88 50

precitrame.com



La qualité de l'ouverture de la buse est indirectement détectée par l'analyse du rayonnement Raman. A gauche le capteur, à droite le faisceau LMJ apparaissant en rouge à travers la fenêtre de protection laser.

Die Qualität der Düsenöffnung wird indirekt durch Analyse der Raman-Strahlung erfasst. Links der Sensor, rechts der durch das Laserschutzfenster rot erscheinende LMJ-Strahl.

The quality of the nozzle opening is indirectly detected by analysing the Raman radiation. On the left the sensor, on the right the LMJ beam appearing red through the laser protection window.

register or reference marks, which are then automatically detected by the camera. With this equipment, the position of the workpiece, as well as any angular deviation, can be determined fully automatically in machine coordinates in the X, Y and Z directions.

Guaranteed tool quality

"Whereas metal tools are precisely defined in terms of length and diameter as well as cutting parameters for example, the LMJ process requires much more effort", reveals A. Zryd. Thus, both the power of the laser and the coherence and uniformity of the flow of the water jet can vary, sometimes considerably, which can affect the efficiency of the ablation. For this reason, a whole set of automatic control mechanisms has been developed, covering the most essential parameters. The positioning of the laser beam exactly in the centre of the water jet is particularly important. This solution, developed with Makino, is based on a camera system that detects the position of the laser beam inside the nozzle with a resolution of 1 µm and directs it precisely to the centre of the nozzle opening using actuators. A special measuring cell has also been developed for the direct determination of the laser beam energy on the workpiece surface.

Equally important is the precise control of the beam angle. For technical reasons, the beam generated in the head usually has a small but still significant angular deviation from the vertical axis of the beam head. This deviation is detected by "probing" the beam on the sharp edges of a calibration unit, which also determines the position of the water jet/laser in the machine with micrometric accuracy, and corrected by automatically readjusting the angle of inclination of the entire beam head. Another important aspect is the laminar flow of the water jet after it leaves the nozzle. This laminarity is a prerequisite for the total reflection of the laser light at the interface with the ambient air. It is affected by nozzle wear, which reduces the effect of the laser pulses on the workpiece. For detection, Synova has developed a special sensor unit that measures Raman radiation. If it is stable both locally and over time on a corresponding section of the beam, this indicates good nozzle quality. On the other hand, if the Raman emission decreases or fluctuates, the nozzle must be replaced.

Detection of workpiece position

"As with any machining operation, the position and orientation of the workpiece must be calibrated for the LMJ process," explains A. Zryd. Either stylus or camera systems are used for this. In the latter case, the workpiece must be provided with an optical

Failure detector

Two technologies have been developed to detect a break in the material, which record the intensity of the plasma radiation reflected from the workpiece. In the first variant, which is used for 3D machining heads, the measurement is carried out directly in the laser unit. With 2D heads, on the other hand, the radiation is first deflected and guided to a sensor via an optical fibre. Breakage is detected by comparison with a predefined threshold. This signal can be used in different ways depending on the task at hand. In some cases - for example, when machining workpieces with varying wall thicknesses, such as natural diamonds - it can be used to reduce overall machining time. When cutting slots in large-format silicon wafers, which are used for gassing in wafer plasma etching chambers, cycle time savings of 10-15% have been achieved.

Future projects: 3D machining, turning, quick-change heads

"We are currently working on more advanced projects such as 3D machining or a quick-change head," A. Zryd adds. For the planned 3D machining as well as for turning, a sensor is used to determine the current machining depth on a small scale. Possible areas of application include chip-breaking geometries on cutting tools or the precision turning of components for the watch industry. For the time being, however, the process is still under development. The development of quick-change heads is also being considered with the potential to reduce installation times. At the moment, unfortunately, there is only a temporary solution, namely the use of a second coupling piece. If this is equipped with a new nozzle outside the system, a changeover can be carried out in about 10 minutes instead of 20 minutes previously.

Klaus Vollrath

SYNOVA SA

Route de Genolier 13
CH-1266 Duillier
T. +41 (0)21 552 26 00
www.synova.ch