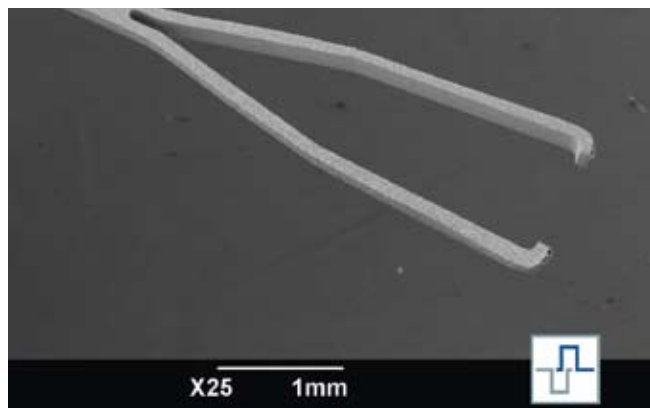


Fraisage électrochimique et plus...

La tendance à la miniaturisation s'accélère et touche également les applications dans la technologie du médical. La chirurgie ophtalmologique, la neurochirurgie et la chirurgie ORL ont joué depuis longtemps un rôle de pionnier dans l'utilisation d'instruments de microchirurgie. En chirurgie ophtalmologique, particulièrement lors d'opérations de la rétine, des micro-forceps de 0,3 mm de diamètre sont utilisés depuis longtemps avec succès. Mais qu'en est-il de la production de ces derniers ?

Investissement important

Les exigences techniques et médicales liées aux instruments de microchirurgie font que jusqu'à aujourd'hui, la production de ces derniers nécessitait un important investissement en ressources techniques et humaines. Par exemple, la plupart des micro-forceps actuellement disponibles pour la chirurgie ophtalmologique sont produits par des machines d'électroérosion ou de micro fraisage conventionnel. Les deux nécessitent des opérations manuelles de finition qui coûtent très cher. Pour minimiser ces coûts de production, trois entreprises, 1stQ GmbH (fabricant de produits pour la technique médicale), primeTEC GmbH & Co KG (R&D, management de projets) and Ecmtec GmbH (R&D technologie ECF et fournisseur de services) travaillent conjointement à une nouvelle manière de faire. Ce projet coopératif vise à utiliser la nouvelle technologie ECF de micro fraisage électrochimique pour développer un nouveau micro-forceps jetable destiné à l'utilisation en ophtalmo-chirurgie. La technologie ECF permet la réalisation de micro structures et de micro géométries sans opération de reprise toujours très coûteuses.



2. Prototype du micro-forceps. La forme intérieure est usinée par fraisage électrochimique. Le système de fermeture fonctionne en poussant une douille par dessus.

2. Prototyp einer Mikrozange. Die Innenkontur wurde ECF-gefräst. Der Schließmechanismus erfolgt durch das Überschieben einer Hülse.

2. Prototype of a microforceps. The internal shape was ECF-milled. The closing mechanism works by pushing a sheath over it.

Fraisage électrochimique

La mise sur le marché doit être précédée par le développement du cœur du micro-forceps, le système d'accroche. Cette pièce est réalisée en deux étapes. Des ébauches sont préparées par un procédé classique de gravure à l'eau forte dans de l'acier au chrome (7C27Mo2). La figure 1 montre une de ces ébauches. Les opérations d'usinages ultérieures sont effectuées par fraisage électrochimique. Ce processus est thermiquement neutre et ne génère pas d'effort sur la pièce, il permet de réaliser des usinages aux états de surface parfaits. Les petites dimensions et la géométrie très acérée demandées ne permettent pas de réaliser la pièce à l'aide d'un procédé classique d'usinage électrochimique. En fraisage électrochimique, tout comme en fraisage classique, un outil cylindrique se déplace selon une trajectoire bien définie.

L'enlèvement de matière se fait non pas sous forme de copeaux mais par action électrochimique. La matière usinée se transforme en solution à proximité immédiate de l'outil. Lors de cette opération un faible espace de travail se crée entre la pièce et l'outil. Au contraire d'un procédé classique d'usinage électrochimique, l'espace est pré-régulé à une hauteur de moins de 5 µm. Grâce au procédé d'usinage qui ne génère pas d'usure d'outil, il est possible d'utiliser des outils extrêmement petits, d'une fraction d'un cheveu de section. Ce procédé permet de réaliser des pièces d'une géométrie aussi complexe qu'en fraisage classique, mais à une échelle bien plus petite. L'emploi d'outils standards permet l'usinage de prototypes avec simplicité, dans ce cas, les micro-forceps.

Contacts électriques

Le prototype du micro-forceps avec des crochets de 100 µm de large doit être réalisé par micro fraisage électrochimique. Les données CAO fournies indiquent la forme, dans ce cas la surface intérieure des mâchoires et incluent, entre autres informations, le diamètre de l'outil ainsi que la distance de travail. Comme outil, nous utilisons une électrode Wolfram cylindrique réduite à une épaisseur de 40 µm sur la machine de micro fraisage électrochimique. Tant l'inclinaison que la rotation de l'ébauche doivent être compensées. Cette opération est rendue délicate par le fait que la surface externe de la pièce n'est pas droite (résultats du procédé précédent). L'alignement est réalisé en utilisant une fonction ; dès que l'outil touche la pièce, un contact électrique est effectué. Ce contact est important lors de l'usinage également. Ce qui était fait « à la main » a été automatisé par une routine d'alignement. Ainsi il est possible d'orienter l'ébauche et de mettre en place les conditions qui assurent la précision de la géométrie des micro-forceps.

Usinage de précision

La précision de la procédure est induite par le très petit espace entre l'outil et la pièce qui reste constant et l'usinage sans contact qui ne génère pas d'usure d'outil. Ceci assure une bonne base pour la réalisation de pièces précises de manière constante tout au long du processus. Pour prendre un simple exemple, un fraisage aux dimensions bien définies est déterminé par la précision du positionnement de l'outil ainsi que de son diamètre, sa longueur, sa forme et bien entendu l'espace entre l'outil et la pièce. Si l'outil est altéré par l'usure, l'usinage s'en trouve également dégradé, il est plus étroit et plus profond. Durant le processus, l'outil travaille l'ébauche de 300 µm et délimite les angles intérieurs. Le processus prend plusieurs heures durant lesquelles l'outil fraise la forme générale de 7 mm qui est suffisante pour la production d'un prototype (voir figure 2). L'objectif est de réaliser des grandes séries de cette pièce pour atteindre plusieurs milliers de micro-forceps par année. Pour atteindre cet objectif, le processus de production doit être transformé en matricage électrochimique. En ce cas, la géométrie du micro-forceps sera réalisée en une fois avec la forme appropriée.

Prochaine étape

Cependant le prototype bénéficie déjà de toutes les caractéristiques nécessaires à sa mise sur le marché. Le chef de projet Markus Gäckle, CEO de primeTEC est satisfait : « Le premier prototype de micro-forceps produit par fraisage électrochimique démontre le potentiel important de cette nouvelle technologie qui peut produire des formes simples et complexes de très petites dimensions en métal tout en préservant une grande précision géométrique sans avoir à recourir à des opérations de finition toujours très coûteuses. Ceci offre des possibilités de créer de nouveaux micro-instruments ou même de transformer des outils réutilisables en outils jetables de très haute qualité. » La prochaine étape est de passer de la production de prototypes à la production en petite série en utilisant le procédé ECF de matricage (voir figure 3). A la place d'un outil cylindrique, on utilise ici un outil de forme qui transfère la structure sur la pièce. Dans le cas des micro-forceps, le contour intérieur est effectué en une seule passe. L'avant-

tage technologique (enlèvement de matière par un outil qui ne s'use pas, usinage sans copeaux, et usinage thermique neutre) est bien entendu conservé.

Elektrochemischen Fräse und mehr...

Der Trend zur Miniaturisierung schreitet auch in medizintechnischen Anwendungen immer rascher voran. Seit langem hat die Augen Chirurgie, die Neurochirurgie und die HNO-Chirurgie eine Vorreiterrolle im Einsatz von mikrochirurgischen Instrumenten inne. In der Augen Chirurgie, besonders in der Netzhautchirurgie, werden seit längerem Mikrogreifer (Mikrozangen) mit einem Durchmesser von 0,3 Millimeter erfolgreich eingesetzt.

Erhebliche Aufwand

Wegen der hohen Anforderungen an mikrochirurgische Instrumente, technischer wie medizinischer Art, konnten diese bisher nur mit erheblichem technischen und personellem Aufwand hergestellt werden. Zum Beispiel werden die meisten heute für die Augen Chirurgie verfügbaren Mikrozangen mittels konventionellen Mikroerosionstechniken oder mittels Mikrozerspanung hergestellt, welche anschließend eine aufwändige manuelle Nachbearbeitung erfordern. Um die dadurch entstehenden hohen Herstellungskosten zu minimieren, gehen drei Firmen 1stQ GmbH (Hersteller medizintechnischer Produkte), primeTEC GmbH & Co KG (R&D, Projektleitung) und die Ecmtec GmbH (R&D ECF-Technologie und Dienstleister) einen neuen Weg. Ziel dieser Kooperation ist es, mit Hilfe der neuen Mikrotechnologie ECF (elektrochemisches Mikrofräsen) eine neue Einweg-Mikrozange für den mikrochirurgischen Einsatz in der Augen Chirurgie zu entwickeln. Die ECF Technologie ermöglicht eine Herstellung von metallischen Mikrostrukturen und Mikroformen ohne aufwändige Nacharbeiten.

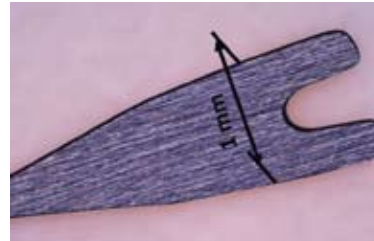
Elektrochemischen Fräse

Doch vor der Einführung in den Markt steht die Entwicklung des Kernstücks der Mikrozange, dem Zangenelement. Die Fertigung vollzieht sich im Wesentlichen in zwei Schritten. Zunächst werden mit klassischen nasschemischen Ätzverfahren Rohlinge aus Chromstahl (7C27Mo2) gefertigt. In Bild 1 ist ein solcher Rohling abgebildet. Die weitere Detaillierung des Rohlings wird mittels elektrochemischem Fräsen durchgeführt, da dieses Verfahren aufgrund seiner kräftefreien und thermisch neutralen Arbeitsweise eine grat- und verzugsfreie Fertigung ermöglicht. Aufgrund der geforderten scharfen Kantenübergänge und Dimension können auch klassische Puls-ECM-Verfahren nicht genutzt werden. Ähnlich der klassischen Fräsbearbeitung wird bei der elektrochemischen Fräse ein stabförmiges Werkzeug entlang einer definierten Werkzeugbahn geführt. Nur erfolgt der Abtrag dabei nicht spanabhebend, sondern elektrochemisch. Der Werkstoff geht in unmittelbarer Umgebung des Werkzeuges in Lösung. Es entsteht dabei ein winziger Arbeitsspalt zwischen Werkzeug und Werkstück. Dieser Spalt läßt sich entgegen der klassischen gepulsten ECM-Verfahren auf eine Größenordnung unter 5 µm (0.005 mm) vorinstellen. Wegen des werkzeugverschleißfreien Wirkprinzips können dünnste Werkzeuge eingesetzt werden, deren Größe den Bruchteil des Durchmessers eines menschlichen Haares betragen. Damit lassen sich prinzipiell ähnlich komplexe Geometrien wie beim Fräsen bearbeiten, nur eben um eine Größenordnung kleiner. Diese Methode eignet sich aufgrund der standardisierten Werkzeuge ideal für die Fertigung von Prototypen, hier der Mikrozange.

Elektrische Kontakt

Der Prototyp der Mikrozange mit Greifern in Form von 100 µm breiten Stegen soll mittels ECF-Fräsen entstehen. Die CAD-Daten, die erzeugt werden müssen, legen die künftige

Form – in unserem Fall die Innenkanten der Zange – fest und enthalten u. a. den Werkzeugdurchmesser und den Arbeitsspalt. Als Werkzeug dient ein Wolframdraht, der auf der ECF-Maschine auf 40 µm Durchmesser abgedünnt wurde und zylindrisch ist. Als eigentliches Problem stellt sich das Einmessen des Rohlings auf der ECF-Maschine heraus. Sowohl die Verkipfung als auch die Verdrehung des Rohlings müssen ausgeglichen werden, was insofern schwierig ist, als dass die Außenkanten des Werkstücks nicht gerade sind – ein Resultat des Vorgängerprozesses. Die Einmessung selbst erfolgt mit einer Funktion – einem elektrischen Kontakt, sobald das Werkzeug das Werkstück berührt – die auch während des Bearbeitungsprozesses eine Rolle spielt. Was zunächst „per Hand“ durchgeführt wurde, wurde dann durch eine Einmessroutine automatisiert. So gelingt es, den Rohling zentrisch auszurichten und die Voraussetzung zur präzisen Geometrie der Mikrozange zu schaffen.



1. Ebauche en acier au chrome martensitique usiné par gravage chimique
1. Nasschemisch geätzter Rohling einer Mikrozange aus einem martensitischen Chromstahl.
1. Wet-chemical etched blank of a microforceps in martensitic chromium steel

Präzise Fertigung

Die Genauigkeit des Verfahrens ergibt sich durch den minimalen, konstanten Arbeitsspalt sowie dem berührungslosen und werkzeugverschleißfreien Abtrag. Damit bleiben die Grundvoraussetzungen zur präzisen Fertigung von Bauelementen über die gesamte Prozesszeit konstant. Einfaches Beispiel: Ein Graben mit einer definierten Breite und Tiefe wird durch die Positioniergenauigkeit der Anlage sowie dem Werkzeugdurchmesser, dessen Länge, Form und dem Arbeitsspalt bestimmt. Würde sich das Werkzeug aufgrund von Werkzeugverschleiß verändern, hätte das direkte Auswirkungen auf den Geometrieverlauf des Grabens – er wird schmaler und flacher. Während des Prozesses durchstößt das Werkzeug zuerst den 300 µm dicken Rohling und fährt dann die Kontur der Innenkanten ab. Noch dauert der Prozess mehrere Stunden, dabei „fräst“ das Werkzeug eine Kontur von 7 mm – für die Fertigung eines Prototypen (siehe Bild 2) ausreichend. Ziel ist die Massenfertigung der Bauteile mit einem Durchsatz von mehreren Tausend Mikrozangen pro Jahr. Dazu muss der Bearbeitungsprozess auf ein Stempelverfahren umgestellt werden, was bedeutet, dass die Geometrie der Mikrozange durch Absenken einer geeigneten Form entsteht

Nächste Schritt

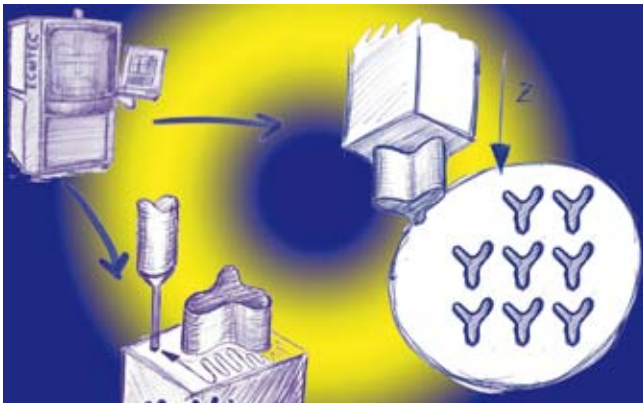
Doch schon der Prototyp erfüllt alle Anforderungen, die an eine marktfähige Mikrozange gestellt werden. Projektleiter Markus Gäckle, Geschäftsführer von primeTEC, ist zufrieden: „Die ersten, mit ECF erzeugten Mikrozangen-Prototypen, zeigen bereits das erstaunliche Potential dieser neuen Technologie. Einfache wie auch komplexe Geometrien können mit dieser Technologie im Mikromaßstab, in metallische Werkstoffe, extrem präzise abgeformt werden, ohne aufwändig nacharbeiten zu müssen. Dies gibt uns die bisher nicht da gewesene Möglichkeit, neue innovative Mikroinstrumente, aber auch schon bekannte Mehrweg-Mikroinstrumente, in qualitativ hochwertige Einweg-Mikroinstrumente (µm) zu gestalten.“ Der nächste Schritt ist die Überführung der Fertigung des Prototypen in eine Kleinserie, und das im ECF-Stempelverfahren (vgl. Bild 3). Dabei wird anstelle eines dünnen, stabförmigen Werkzeuges ein bereits strukturierter Stempel abgesenkt, wobei die Struktur auf das Bauteil übertragen wird. Im Falle der Mikrozange bedeutet dies, dass die gesamte Innenkontur durch das Absenken eines entsprechenden Negativwerkzeuges in einem Arbeitshub effizient gefertigt werden soll. Die technologischen Vorteile (werkzeugverschleißfreier Abtrag, gratfreie und thermisch neutrale Bearbeitung) bleiben dabei erhalten.

Electrochemical milling and more...

The trend towards miniaturization is advancing with ever increasing speed, and this also applies in medical technology applications. Ophthalmic surgery, neurosurgery and ENT surgery have long played a pioneering role in the use of microsurgical instruments. In ophthalmic surgery, especially retinal operations, microforceps 0.3 millimetres in diameter have been successfully used for a considerable time. How is the production ?

Significant technical and personal investment

Due to the demanding requirements, both technical and medical, applicable to microsurgical instruments, it has only been possible to produce these up to now with considerable input of technical and personal resources. For example, most of the microforceps currently available for ophthalmic surgery are produced by conventional spark-erosion technology or conventional micro-machining, both of which afterwards require costly manual finishing. To minimize the consequent high production costs, three companies, 1stQ GmbH (manufacturers of medical technology products), primeTEC GmbH & Co KG (R&D, project management) and Ecmtec GmbH (R&D ECF technology and service providers) are treading a new path. This cooperative project aims to use the new ECF microtechnology (electrochemical micro-milling) to develop a new disposable micro-forceps for microsurgical use in the field of ophthalmic surgery. ECF technology makes it possible to produce metal micro-structures and micro-shapes without costly refinishing.



3. Les installations de Ecmtec sont équipées pour le fraissage et le matriçage électrochimique.

3. Ecmtec-Anlagen ermöglichen elektrochemisches Fräsen und Senken.

3. Ecmtec installations are equipped for electrochemical milling and recessing.

Electrochemical milling

But the launch on the market must be preceded by the development of the heart of the microforceps, the gripper unit. This component is made essentially in two steps. First, blanks are prepared from chromium steel (7C27Mo2) using a classical wet-chemical etching procedure. Figure 1 shows one of these blanks. Further detail work on the blank is performed by electrochemical milling, as this process, exerting no stresses and being thermally neutral, enables manufacture free from scratches or warping. Due to the sharp edge transitions and dimensions required, a classical pulse ECM process cannot be used either. In electrochemical milling, just as in classical milling, a bar-shaped tool is moved along a predefined tool path. Metal removal, however is effected not in the form of chips, but by electrochemical action. The material being worked goes into solution in the immediate vicinity of the tool. In this operation, a tiny working gap appears between the tool and the workpiece. In contrast to the classical pulse ECM process, this gap is preset to a magnitude of less than 5 μm (0.005 mm). Due to the principle of operation, which generates no tool wear, it is possible to employ the thinnest tools,

a fraction of the diameter of a human hair in thickness. By this means, it is possible to work geometries as complex as those made by classical milling, but smaller by an entire order of magnitude. Because of the use of standardized tools, this method is ideal for the manufacture of prototypes, in this case the microforceps.

Electrical contact

The prototype of the microforceps with grippers in the form of bars 100 μm wide must be made by ECF milling. The CAD data to be generated lay down the future shape – in this case the inner surface of the jaws – and include, among other information, the diameter of the tool and the working gap. As a tool, we use a wolfram wire which is reduced to 40 μm thickness on the ECF machine and is cylindrical. A problem that arises is the precise alignment of the blank in the ECF machine. Both the tilt and the rotation of the blank must be compensated, an operation made more difficult by the fact that the outer edges of the workpiece are not straight – a result of the previous process. Alignment itself is performed using a function – an electrical contact as soon as the tool touches the workpiece – which also plays a role during the machining process. What was initially done "by hand" has now been automated by an alignment routine. In this way, it is possible to orient the blank centrally and set up the preconditions for accuracy in the geometry of the microforceps.

Precision manufacture

The precision of the procedure is the consequence of the very small, constant working gap and the removal of material without contact and free from tool wear. This keeps the prerequisites for precise component production constant throughout the process. To take a simple example: an excavation of defined breadth and depth is determined by the accuracy of positioning of the equipment together with the diameter of the tool, its length, shape and the working gap. If the tool were to be altered by reason of wear, this would directly influence the geometry of the excavation – it would become narrower and shallower. During the process, the tool first pierces the 300 μm thick blank and then delineates the inner edges. The process will take several more hours, during which the tool "mills" an outline of 7 mm – sufficient for the production of a prototype (see Figure 2). The objective is mass production of the components, with a throughput rate of several thousand microforceps per year. To do this, the production process must be transferred to a stamping procedure, meaning that the geometry of the microforceps is generated by sinking in an appropriate shape.

The next step

The prototype, however, already meets all the requirements for a marketable microforceps. Project leader Markus Gäckle, CEO of primeTEC, is satisfied: "The first prototype microforceps produced by ECF already demonstrates the extraordinary potential of this new technology, with which both simple and complex geometries can be produced to micro-scale in metal materials with extreme geometrical accuracy and without the need for expensive finishing operations. This opens up the possibility, which did not exist before, of making new, innovative micro-instruments, or even transforming known types of reusable micro-instruments, into qualitatively high-value disposable micro-instruments." The next step is to convert the production of prototypes into a small-batch series, using the ECF stamping procedure (cf. Figure 3). Instead of a thin, bar-shaped tool, this brings down a previously formed punch, transferring the structure onto the workpiece. In the case of the microforceps, this means that the complete inner contour is efficiently formed by lowering the corresponding negative tool in a single working stroke. The technological advantages (removal of material by a non-wearing tool, scratch-free and thermally neutral machining) are meanwhile conserved.

ECMTEC GmbH

Robert-Bosch-Str. 3 - D - 71088 Holzgerlingen
Tel.: +49 07031/86652-0 - Fax: +49 07031/86652-5
www.ecmtec.com - labor@ecmtec.com