

Bild 1: Das Micro Bore Sizing System besteht aus den drei Bereichen Maschine, Werkzeug und Dienstleistungen

Honen und Innenrundläppen von Kleinstbohrungen mit Durchmessern von 0,015 mm bis 4 mm

Nicht nur in der Elektronik, Analytik, Automotive, Telekommunikation und Medizintechnik, sondern auch im Maschinenbau schreitet die Miniaturisierung der Produkte voran. Der Markt und die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Mikrotechnik entwickeln sich dynamisch und werden in den nächsten Jahren noch deutlich wachsen. Dies ist auf allen Ebenen der Wertschöpfungsstufen innerhalb der Mikrotechnik zu beobachten [1]. Um erfolgreich „miniaturisieren“ zu können, genügt es oft nicht, alles einfach nur zu verkleinern.

Beispielsweise muss die Materialwahl neu beurteilt werden, denn in der Mikromechanik ist die spanabhebende Bearbeitung von duktilen Werkstoffen äußerst kritisch, da schon geringste Gratbildungen sowie plastische Verformungen für die meisten Anwendungen nicht tolerierbar sind [2]. Dies ist ein Grund, dass sich der Einsatz von Hartmetall, Keramik, Silizium oder polykristallinem Diamant (PKD) aufdrängt. Zudem können herkömmliche Bearbeitungsverfahren mit den dazu gehörenden Maschinen

und Werkzeugen nicht immer in den Mikrometerbereich herunterskaliert werden, was vielfach einen Systemwechsel in der Bearbeitung bedingt. Sprödharte Werkstoffe werden vorwiegend mittels Schleif- und Polierverfahren, unter Verwendung von Diamant als Schneidstoff, bearbeitet. Innerhalb der Mikromechanik stellt die Bearbeitung einer Bohrung eine besondere Herausforderung dar. Diese liegt v.a. in der erschwerten Zugänglichkeit der Bearbeitungsfläche und oft großen Aspektverhältnissen

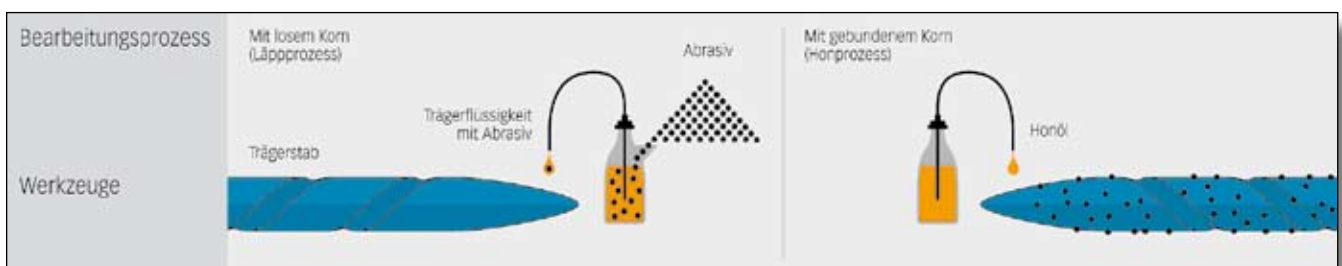


Bild 2: Es stehen zwei verschiedene Prozesse zur Verfügung. a) Mit losem Korn (Läppprozess); b) mit gebundenem Korn (Honprozess)

(Bohrungslänge zu Durchmesser).

Kleine Bohrungen

Konventionelles Bohren mit Zerspanungswerkzeugen, Laserbohren, Stanzen, Erodieren oder Abformen eines Kerns (PIM) – um nur einige Beispiele zu nennen – sind wirtschaftliche Verfahren, die sich bereits für mikrotechnische Anwendungen qualifizieren konnten. Die effiziente Herstellung von Mikrobohrungen ist damit eigentlich kein Problem, vorausgesetzt man stellt nicht zu hohe Ansprüche an die Präzision (Form, Maßhaltigkeit etc.), Oberflächengüte und Reproduzierbarkeit. Während Bohrungen mit einem Durchmesser von mehr als 2 mm geschliffen oder gehont werden können, stoßen derartige Verfahren spätestens bei Durchmessern unter 1,2 mm an ihre Grenzen und sind nicht mehr sinnvoll weiter miniaturisierbar.

Micro Bore Sizing

Die Firma Microcut hat die oben erwähnte Ausgangslage aufgenommen und bietet mit dem Micro Bore Sizing (MBS) wirtschaftliche Lösungen zur Bearbeitung von Bohrungen bis zu einem minimalen Durchmesser von 15 µm, insbesondere auch für harte Werkstoffe [3, 4]. Einfach handhabbare Bearbeitungslösungen

erlauben es, die Geometrie (Durchmesser, Rundheit, Zylindrizität) in enge Toleranzfelder zu bringen sowie die Oberflächenrauheit gezielt zu verbessern. Das Micro Bore Sizing (Bild 1) bildet ein anwenderfreundliches System bestehend aus:

- Maschine
 - Werkzeug
 - Dienstleistungen
- Beim Micro Bore Sizing Verfahren wird spanabhebend mit genauen Werkzeugen bearbeitet. Durch die (kalte) Bearbeitung tritt keine gefügebedingte Materialschwächung der Randzonen ein. Beim Maschinentyp UniBore 800 stehen im Bohrungsdurchmesserbereich von 0,4 mm bis 4 mm zwei verschiedene Prozesse zur Verfügung (Bild 2). Die Wahl des Prozesses wird v.a. aufgrund des zu bearbeitende Materials getroffen:

a) Mit losem Korn (Läppprozess) werden bevorzugt sprödharte Materialien wie Keramik, Saphire oder Hartmetall effizient bearbeitet. Dieser Prozess eignet sich auch höchsten Anforderungen bezüglich der Oberflächengüte gerecht zu werden. Bei diesem Prozess besteht das Werkzeug aus Trägerstab/Trägerdraht, Trägerflüssigkeit und Abrasiv (typischerweise Mikrodiamant). Der Stab, welcher als Träger des Schleifmittels fungiert, wird

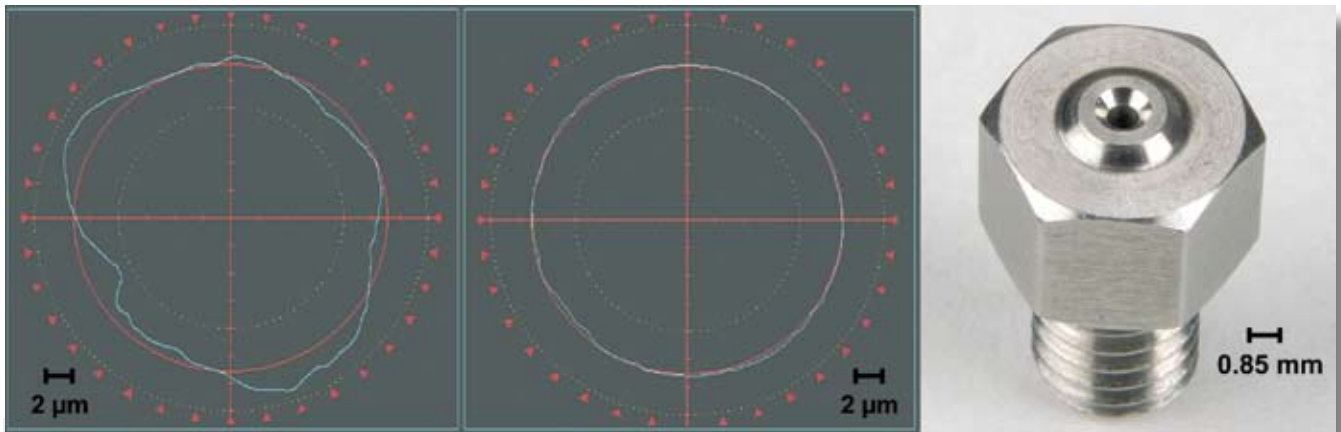


Bild 3:
Rundheitsmessung einer Düse mit einer Bohrung von 0,85 mm vor und nach der Bearbeitung mittels MBS

mit diesem benetzt und in die bereits vorhandene Bohrung eingeführt. Mit dem konischen Teil des Trägerstabes wird die Rohbohrung vergrößert und mit dem zylindrischen Abschnitt erreicht man, auch über große Stückzahlen, einen gleich bleibenden Enddurchmesser der Bohrung. Durch die definierte Genauigkeit des Trägerstabes und die stabilen Bearbeitungsbedingungen,

entfällt für den Anwender das langwierige Herantasten an den gewünschten Bohrungsdurchmesser und an die Geometrie.

b) Beim Micro Bore Sizing wird von einem Honprozess gesprochen, wenn mit einem Werkzeug, welches galvanisch gebundenes Korn enthält bearbeitet wird. Dieser Prozess wird v.a. für weichere Materialien wie

beispielsweise Stahl eingesetzt. Hierbei ist die Geometrie des Werkzeuges gleich dem Trägerstabe beim Prozess a, jedoch ist das Diamantkorn auf dem Träger festgebunden und wird nicht via Flüssigkeit zugebracht.

Das MBS-Maschinensortiment beinhaltet anwendungsspezifische und universelle, modulare Maschinentypen. Kriterien für die Maschinenwahl sind der Durchmesser der zu bearbeitenden Bohrung, die Symmetrie des Werkstückes (rotations-symmetrisch / nichtrotations-symmetrisch), das Material, der



Bild 4:
Uhrenzahnradchen aus gehärtetem Stahl, welches durch Drehen hergestellt wurde. Um eine Durchmesser-toleranz von 2 µm sowie eine Oberflächengüte von $R_z = 0,2 \mu\text{m}$ einhalten zu können ist eine Nachbearbeitung mittels MBS Prozess erforderlich

Materialabtrag und die zu erzielende Geometrie der Bohrung sowie die zu bearbeitende Losgröße.

Die Bearbeitungswerkzeuge bilden einen wichtigen Bestandteil des Micro Bore Sizing Systems, da vor allem durch ihre Genauigkeit die Präzision des Durchmessers erreicht wird. Durch die Wahl des Werkzeuges kann zudem die Oberflächenrauheit und die Abtragsleistung gesteuert werden. Die Werkzeuge sind einteilig mit einem konischen und einem zylindrischen Teil und werden als Standardwerkzeuge oder anwendungsspezifisch in der geforderten Genauigkeit hergestellt. Wichtige Kriterien beim Werkzeug sind u.a. die Geometrie, eine Spannut, Diamantkorngröße oder eine spezifische Beschichtung, welche sich hauptsächlich nach dem zu bearbeitenden Material richtet. Bei bestimmten Produktionsmaschinen wird der Trägerdraht auf der Maschine ab Rolle konfektioniert und so das verschlissene Werkzeug kontinuierlich ersetzt. Die Dienstleistungen umfassen Beratung, Kundenversuche, Prozessarbeit, Lohnfertigung und Service und runden somit das MBS System ab.

Kriterien bei der Bearbeitung einer Bohrung

Maß, Form und Oberfläche sind bekanntlich

unabdingbar miteinander verknüpft. Spricht man also von einer Toleranz des Bohrungsdurchmessers von z.B. 3 µm, muss eine Rundheit genauer als 1 µm garantiert werden. Auch die Oberflächenrauheit muss in einem bestimmten Verhältnis zur Maßgenauigkeit und Formgröße stehen. Anhand von einigen Bearbeitungsbeispielen sollen die Möglichkeiten des Micro Bore Sizing gezeigt werden. Hierbei werden die Kriterien besprochen, welche durch das MBS maßgeblich verbessert werden können.

Form

Die Formtreue wird beim MBS-Verfahren durch das Werkzeug vorgegeben und dann durch die überlagernden Bewegungen (Rotation und Translation) noch verbessert, so dass die Rundheit der bearbeiteten Bohrung typischerweise genauer ausfällt, als die des Werkzeuges selber.

Die Düsenbohrung in Bild 3 wurde durch konventionelles Bohren mit Spiralbohrer eingebracht und weist dadurch eine Rundheit von 5 µm auf. Durch die Nachbearbeitung mittels MBS resultiert eine Rundheit von 0,65 µm. Mit dem MBS Verfahren lassen sich sogar Rundheiten von 0,2 µm erzielen. Eine Zylindrizität von <1 µm

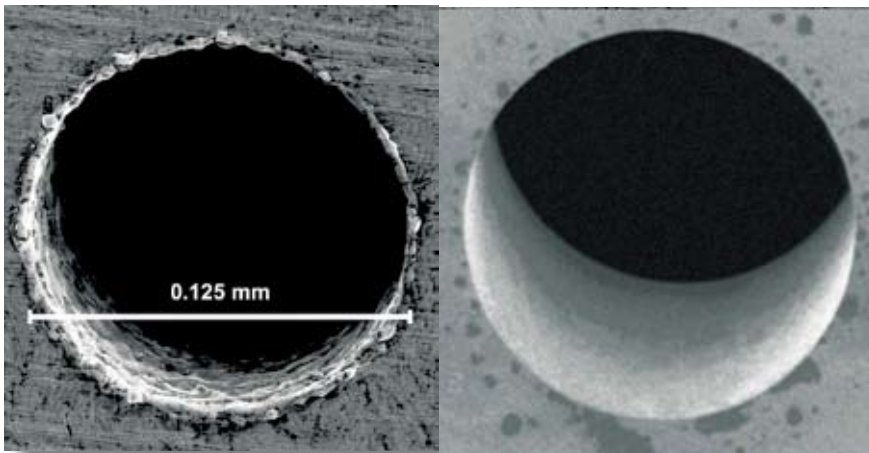


Bild 5:
Bohrungsnormale:
links erodierte Oberfläche,
rechts nach MBS Bearbeitung

kann erreicht werden.

Durchmesser und Maßhaltigkeit

Durch den MBS Prozess wird
a) eine Bohrung vom Startdurchmesser auf den gewünschten Enddurchmesser gebracht und
b) kann ein enges Toleranzfeld eingehalten werden.
Bild 4 zeigt ein Uhrenzahnradchen aus gehärtetem Stahl, welches durch Drehen herge-

stellt wurde. Um eine Durchmesser-toleranz von $2 \mu\text{m}$ sowie eine Oberflächengüte von $R_z = 0,2 \mu\text{m}$ einhalten zu können ist eine Nachbearbeitung mittels MBS Prozess erforderlich.
Bei der Ferrule (Hauptkomponente aus Zirkonoxidkeramik bei einer Lichtwellenleitersteckverbindung) ist die Anforderung bezüglich Durchmesser bei einer Bohrungslänge von ca. 10 mm wie folgt gegeben: $\varnothing = 125 \mu\text{m} +1/-0 \mu\text{m}$.

Weitere typische Werkstücke sind Düsen jeglicher Art. Bei der Stahldüse in Bild 3 konnte die Durchmesser-toleranz von der Rohbohrung von $\pm 5 \mu\text{m}$ auf $\pm 1 \mu\text{m}$ eingeschränkt werden.

Oberflächenrauheit

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig verfolgt das Ziel, die Unsicherheit von Messungen mit dem opto-taktilen Taster zu reduzieren. Mikrobohrungen mit Durchmessern $0,2 \text{ mm}$ sind in vielen Bereichen der Industrie funktionsbestimmend. Beispiele sind Kraftstoff-Einspritzdüsen und Zieh-düsen in der Draht- bzw. Textilindustrie. Durch Toleranzen bis in den Sub- μm -Bereich werden an die Messung dieser Mikrobohrungen sehr hohe Anforderungen gestellt. Diese Messungen können taktil zurzeit nur mit dem opto-taktilen

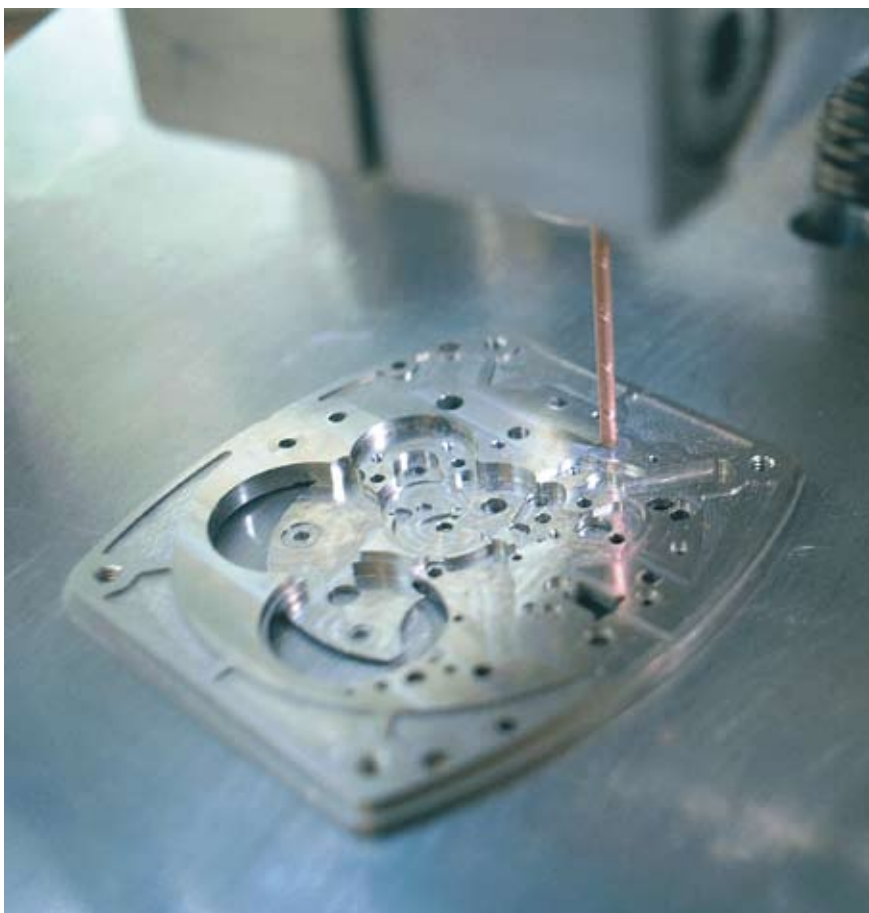


Bild 6:
Bearbeitung einer Uhrenplatine auf der UniBore 800
(Werkbilder: Microcut Ltd., Lengnau/Schweiz)

Taster ausgeführt werden. Allerdings sind die Einflüsse auf die Messunsicherheit noch nicht vollständig bekannt. Bei der Messung in tiefen Mikrobohrungen (Bohrungstiefe > 0,2 mm) entstehen systematische Abweichungen, u.a. durch optische Abschattungen. Um diese Abweichungen bestimmen zu können, wurde ein Mikro-Bohrungsnormal mit hohem Aspektverhältnis entwickelt und zum Patent angemeldet [5]. Da für dieses Bohrungsnormal die geforderten Oberflächen- und Rundheitswerte mit Erodieren nicht zu erreichen waren, wurden mittels Micro Bore Sizing diese Kriterien maßgeblich verbessert.

Bild 5 zeigt links eine feinerodierte Oberfläche und links ist die Oberfläche nach der MBS Bearbeitung zu sehen. Beim Erodieren von Bohrungen sind typischerweise Rauheitswerte Rz von 10 µm (groberodiert), respektive 1,5 µm (feinerodiert) zu erreichen. Mit dem MBS Verfahren können Rz-Werte von 0,1 - 0,2 µm realisiert werden.

Material und Werkstücke

Typische Werkstücke, welche die Vorzüge des MBS ausschöpfen können sind Düsen, Röhren und Buchsen. Mit der UniBore 800 können neu nun auch kleine Bohrungen in großen nicht rota-

tionssymmetrischen Werkstücken (Bild 6), wie sie typischerweise in Einsätzen im Stanz- und Spritzguss-Werkzeugbau Verwendung finden, bearbeitet werden. Die elektrische Leitfähigkeit ist nicht relevant, dementsprechend können auch nicht leitende Werkstoffe bearbeitet werden. Es werden vorzugsweise harte Materialien wie Keramik oder Hartmetall aber auch weichere wie beispielsweise Stahl oder Glas bearbeitet. Die Anwendungsgebiete reichen von der Fiber-Optik über die Medizinaltechnik und Halbleiterindustrie bis zur Automobilindustrie und den Werkzeugbau.

Literatur

- [1] H. Steg,
Studie VDI/VDE-IT, 2004.
- [2] W. Ehrfeld,
Handbuch Mikro-technik, Carl Hanser Verlag 2002.
- [3] U. Maag,
Kleinste Bohrungen automatisch und präzise kalibrieren, Mikroproduktion 1, 20-23, 2003
- [4] P. Mikhail,
Bearbeitungstechniken für Mikro- und Kleinstbohrungen, MikroSystemTechnik 2, 24-25, 2005
- [5] U. Neuschäfer Rube,
Verfahren zur Herstellung von Prüfkörpern für die Überprüfung von Messgeräten für Mikrobohrungen, Patent DE 10318762