

Innenrundfräsen
von Bohrungen
(Bildnachweis:
Gebr. Heller
Maschinenfabrik,
Nürtingen)



Innenrundfräsen und
Fräsbohren

Neue Möglichkeiten der Bohrbearbeitung

In der Fertigung wird ein sicheres und automatisierbares sowie leistungsfähiges Bohrvorgang angestrebt. Für die Bohrbearbeitung werden daher schon seit vielen Jahren die Vorteile des Innenrundfräsens genutzt. Zum Vergrößern von Vorbohrungen stellt dieses Verfahren eine wirtschaftliche Alternative zum Aufbohren mit konventionellen Aufbohrwerkzeugen dar. Mittels Fräsbohren können verschiedene Flächenkonturen mit einem einzigen Werkzeug auch ins Volle erzeugt werden.

**Prof. Dr.-Ing. U. Heisel
und Dipl.-Ing. G. Ruziczka¹⁾**

Die Entwicklung der Fertigungstechnik spielt im sich ständig vollziehenden Veränderungsprozeß in der Produktion eine wichtige Rolle. Neben der innerbetrieblichen Forderung nach Verminderung der Durchlaufzeit im Betrieb sind marktspezifische Forderungen zu erfüllen, die sich auf eine zunehmende Variantenvielfalt und eine kürzere Produktlebenszeit beziehen [1]. Dies führt zu weitergehenden Forderungen nach steigender Genauigkeit, höherer Produktivität und höherer Flexibilität. Diesen Forderungen sucht man in den Betrieben verstärkt durch den Einsatz von flexibel automatisierten Fertigungs-

einrichtungen gerecht zu werden, mit denen unterschiedliche Teile in kleinen Losgrößen mit hoher Produktivität und Qualität wirtschaftlich gefertigt werden können. Steigende Produktivität und Wirtschaftlichkeit sind jedoch nicht allein durch höhere Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten sowie geringeren Nebenzeiten zu erreichen. Es bedarf auch einer hohen Prozeßsicherheit, die Fertigungsverfahren und Werkzeuge mit hoher Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Bearbeitungsergebnisse erfordern.

Bei Teilearten mit überwiegender Bohr- und Fräsbearbeitung sind Bohrungen die am häufigsten herzustellenden Formelemente (Bild 1). Unter den spanenden Fertigungsverfahren in der industriellen Produktionstechnik wird daher dem Bohren eine besondere Beachtung geschenkt [2, 3]. Wesentliche verfahrensbedingte Nachteile des Bohrens mit Wendelbohrern sind die bis auf Null abfallende Schnittgeschwindigkeit im

¹⁾ Professor Dr.-Ing. U. Heisel ist Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart. Dipl.-Ing. G. Ruziczka ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Institut.

Bohrungszentrum des Werkzeugs und der damit vorhandenen hohen Vorschubkraft, der schwierige Abtransport der Späne, die ungünstige Wärmeverteilung in der Schnittstelle, der erhöhte Verschleißangriff auf die scharfkantige Schneidenecke und das Reiben der Führungsfasen an der Bohrungswand. Die Verfahren Innenrundfräsen und Fräsbohren ermöglichen eine hohe Zerspanungsleistung sowie eine gute Automatisierbarkeit der Bohrbearbeitung

durch die Kurzspanbildung [4, 5]. Zusammen mit der hohen erzielbaren Fertigungsgenauigkeit stellen beide Alternativen zu konventionellen Bohrverfahren dar.

Konventionelle Bohrverfahren

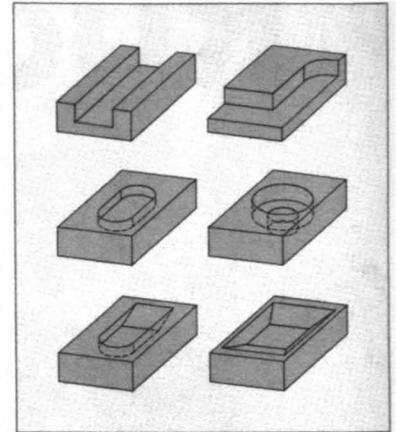
Ein hoher Anteil der Bearbeitung von Bohrungen mit unterschiedlichen Funktionen und Genauigkeiten erfordert insbesondere bei hoher Maß-, Form- und Lagegenauigkeit sowie geringen Oberflächenrauheiten eine große Anzahl von Bohrwerkzeugen. Zusätzlich bedingt das Fertigen größerer Bohrungsdurchmesser wegen der meist geringen Wiederholhäufigkeit einen großen Aufwand für das Bereitstellen konventioneller Bohrwerkzeuge zum Bohren ins Volle und anschließend stufenweise Aufbohren. Verstellbare Bohrstangen können zwar einen bestimmten Durchmesserbereich bearbeiten, je nach Bohrungsdurchmesser bauen diese Werkzeuge aber sehr groß und machen in einem Bearbeitungszentrum oft das Freilassen benachbarter Werkzeugmagazinplätze erforderlich.

Innenrundfräsen

Voraussetzung für das Innenrundfräsen sind numerisch gesteuerte Bohr-/Fräsmaschinen, mit denen beispielsweise Walzenstim-, Schaft- oder Scheibenfräser durch Zirkularinterpolation auf einer Kreisbahn am Innenrand der Bohrung entlanggeführt werden können (Bild 2). Durchmesserbezogene Bohrwerkzeuge werden dabei durch Fräswerkzeuge ersetzt, so daß sich oft zusätzliche Werkzeugwechsel einsparen lassen, wenn verschiedene Bohrungsdurchmesser zu fertigen sind [6].

Die beim Innenrundfräsen eventuell sich bildenden Marken an der Bohrungswand, die durch die Richtungsänderung des Fräsvorschubs entstehen können, werden entweder durch eine Reduzierung der Vorschubgeschwindigkeit oder durch allmähliches Eintauchen des Fräasers bis zum vollen Eingriff vermieden.

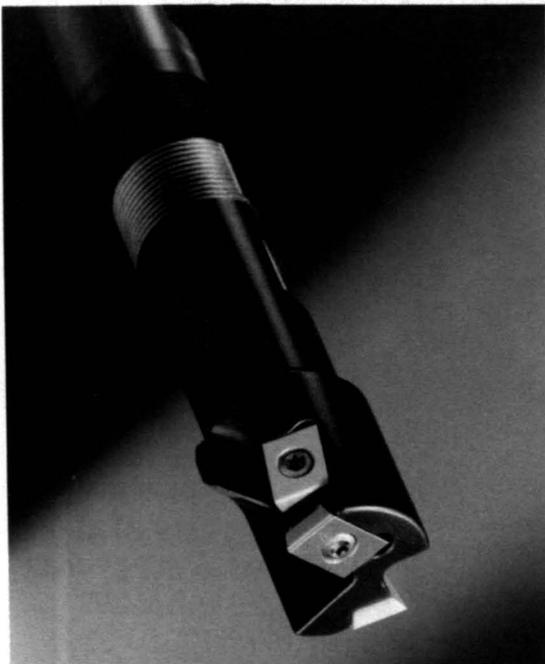
Der Eingriff eines Werkzeugs beim Innenrundfräsen über die gesamte Bohrungslänge führt zu Verbiegungen des Werkzeugs. Eine radiale Auslenkung



Erzeugbare Formelemente mittels Bohrnutenfräsen

des Fräasers verursacht beispielsweise eine konische Bohrung. Durch Optimieren der Schneidteilgeometrie und der Werkzeugform kann dieser Formfehler der Bohrung minimal gehalten werden. Wird eine hohe Fluchtgenauigkeit hintereinanderliegender Bohrungen gefordert, ist die Bearbeitung in einer Aufspannung mit Werkzeugen oft sehr großer Auskraglänge erforderlich. Aufgrund der elastischen Verformung des Werkzeugs und den dabei hervorgerufenen Schwingungen kann es ebenfalls zu Maß- und Formabweichungen sowie zu großen Rauheiten kommen. Mit schwingungsdämpfenden Werkstoffen für den Werkzeughalter sowie mit Schwingungsdämpfern, die im Werkzeughalter eingebaut sind, können Vibrationen reduziert werden.

Bohrungen, die länger als der Schneidenteil des Fräasers sind, können durch mehrere Umläufe des Fräasers nach jeweiligem axialen Versetzen bearbeitet werden. Hohe Fertigungsgenauigkeiten sind wegen möglicher Bearbeitungsmerkmale aufgrund der Unterbrechung des Zerspanungsvorgangs nur schwer zu erreichen. Hohe dynamische Werkzeugbelastungen treten bei koaxialer Ausrichtung der Umfangsschneiden auf, da jeweils eine Schneide über die gesamte Eingriffslänge ein- oder ausschneidet. Gedrallte Fräser mit unter einem Neigungswinkel eingebauten Schneidplatten und geraden Schneidkanten ergeben einen Formfehler der Bohrungswand. Diese Profilverzerrung der erzeugten Oberfläche gegenüber dem Projektionsprofil des Werkzeugs ist abhängig von Schneidkantenlänge, Schneidengeometrie und Schneid-



Bohrnutenfräser (Bildnachweis: Ingersoll Maschinen und Werkzeuge, Burbach)



Fräser mit wendelförmigen Wendeschneidplatten (Bildnachweis: Komet Stahlhalter- und Werkzeugfabrik, Besigheim)

durchmesser. Mit wendelförmigen Wendeschneidplatten werden bei gedrahten Fräs Werkzeugen derartige Formabweichungen der Bohrungsoberfläche vermieden und gleichzeitig die Vorteile auswechselbarer Schneiden genutzt (Bild 3). Der kontinuierliche Eintritt der Fräterschneiden in das Werkstückmaterial ermöglicht es zusätzlich, die dynamische Belastung zu reduzieren. Aufgrund der Verringerung der Ratterschwingungen wird die Standzeit erhöht und eine Schlichtqualität der Werkstückoberfläche erreicht [7]. Die entstehende Bohrungsoberfläche ist dabei gerade und parallel zur Werkzeugachse. Vorteilhaft ist auch ein schneller Schneidenwechsel bei Standzeiten. Aufwendige Nachschleifoperationen, wie sie bei Vollhartmetallwerkzeugen erforderlich sind, können entfallen. Außerdem kann der Schneidstoff und die Beschichtung dem zu bearbeitenden Werkstückmaterial sehr gut angepaßt werden.

Problematisch ist das Fräsen dünnwandiger Bauteile. Während der Bearbeitung können sich diese Bauteile aufgrund der Zerspankraft elastisch verformen, so daß die Bohrungsoberflächen Schwingungsmuster aufweisen. Schrapp-Schlichtfräser ermöglichen ein hohes Zerspannungsvolumen bei gleichzeitig geringer Rauheit [8]. Bei diesem Werkzeug sind am Umfang abwechselnd Schrapp- und Schlichtschneiden angeordnet, die jeweils durch eine Entspannungsnut getrennt sind. Durch die kleinere Umfangsteilung zwischen der Schrapp- und Schlichtschneide ergibt sich bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit eine kleinere Spanungsdicke an der Schlichtschneide. Damit ist ein hohes Zerspannungsvolumen eines Schrappfräasers bei einer gleichzeitig geringen Bohrungsrinheit eines Schlichtfräasers möglich.

Fräsbohren

In der Praxis unterscheidet man bei Werkzeugen zum Fräsbohren zwischen Bohrzirkularfräser, Bohrmutenfräser, Messerkopffräser, Bohrgewindefräser und Fräsbohrwerkzeugen. Die verschiedenen konstruktiven Ausführungen der Werkzeuge zum Fräsbohren gewährleisten jeweils sehr flexiblen Einsatz. Das Verfahren Fräsbohren als Kombination der beiden Verfahren Fräsen und



Bohrgewindefräser für Stufenbohrungen mit Gewinde (Bildnachweis: Jel Präzisionswerkzeuge, Stuttgart)

Bohren erfüllt durch die verfahrensbedingte Kurzspanbildung eine wichtige Voraussetzung für die automatisierte Bohrbearbeitung. Ähnlich wie beim Innenrundfräsen ändern sich auch beim Fräsbohren die Eingriffsverhältnisse ständig. Der wesentliche Unterschied zum Innenrundfräsen liegt in der Zerspannung des gesamten Bohrungsquerschnitts mittels wendelförmiger Vorschubbewegung. Das verringert zusätzlich die an der Maschine bereitzustellende Anzahl der Werkzeuge. Weiterhin werden die Nebenzeiten für Werkzeugwechsel und Werkzeuvoreinstellung sowie der Aufwand für die Lagerhaltung weiter reduziert. Die günstige Schnittgeschwindigkeitsverteilung über den Bohrungsradius ermöglicht eine gute Ausnutzung der Leistungsfähigkeit moderner Schneidstoffe.

Wie beim Innenrundfräsen hängt beim Fräsbohren die erzielbare Maßgenauigkeit und Oberflächenrauheit der herzustellenden Bohrung nicht nur von der Genauigkeit und Steifigkeit des Werkzeugs selbst ab wie dies beim Bohren der Fall ist. Wichtig ist auch die Steifigkeit der Maschine, die Genauigkeit der Führungen und der NC-Steuerungen. Bohrzirkularfräser entsprechen in ihrem Aufbau einem mit Wendeschneidplatten bestückten Walzenstirnfräser (Bild 4). In einem Schnitt können hohe Bohrungsaufmaße bearbeitet werden, wo-



Bohrzirkularfräser für mittlere bis große Bohrungsdurchmesser
(Bildnachweis: Ingersoll Maschinen und Werkzeuge, Burbach)

bei die maximale radiale Schnitttiefe der Breite der Stirnschneiden entspricht. Bohrungen ins Volle sind wegen fehlender Innenschneiden nicht herstellbar.

Bohrzirkularfräser

Der Betrag der maximalen axialen Zu- stellung je zirkularem Umlauf entspricht der Länge der Umfangschneiden, die auch zu der Hauptzerspanungsleistung beitragen.

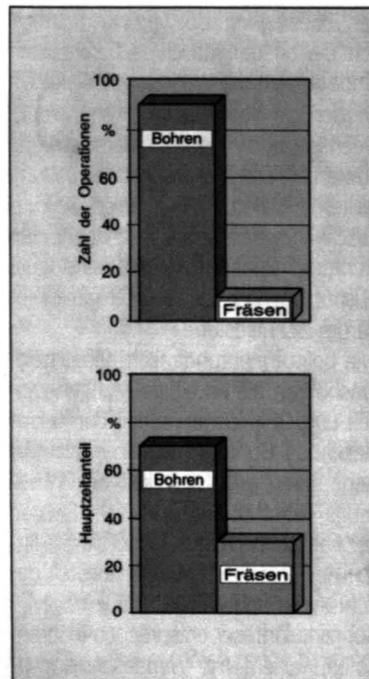
Bohrzirkularfräser werden beispielsweise zum Aufbohren großer Bohrungsdurchmesser in Guß- oder Schmiedeteilen eingesetzt. Einstellbare Wendschneidplatten zum Verringern von Planlauf Fehlern und insbesondere des Rundlauffehlers ermöglichen ein Reduzieren der Bohrungsrauheit. Dadurch sind solche Werkzeuge auch für Schlichtoperationen geeignet. Gleichzeitig kann auch eine Überlastung einzelner Schneiden vermieden und die Werkzeugstandzeit zum Teil erheblich erhöht werden. In der Regel wird die Bohrung mit dem Bohrzirkularfräser nur geschruppt und anschließend mit konventionellen Aufbohrwerkzeugen auf das Fertigmaß bearbeitet.

Bohrnutenfräser

Bohrnutenfräser ermöglichen sowohl Bohren ins Volle mit anschließendem Aufbohren auf das Sollmaß mittels In-

nenrundfräsen als auch Fräsbohren. Handelsübliche einschneidige Bohrnutenfräser sind ab etwa 20 mm Werkzeugdurchmesser erhältlich. Vereinfachend gesehen ist das Werkzeug ein Wendepaltenbohrer zum Herstellen kurzer Bohrungen, der am Umfang zusätzliche Schneiden zum Innenrundfräsen besitzt (Bild 5). Noch kleinere Bohrnutenfräser bis 10 mm Durchmesser sind zweischneidig ausgeführt. Schneidteil und Schaft sind hier einteilig aus Vollhartmetall ausgeführt.

Die häufigsten Anwendungen sind das Bohren von sehr kurzen Bohrungen mit anschließendem Fräsen von Senkungen, Nuten oder Taschen sowie Konturfräsen (Bild 6). Zur Bearbeitung von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen sowie Leichtmetall- und Präzisionsguß mit endkonturgerechter Formgebung werden solche Werkzeuge beispielsweise zur Schlichtbearbeitung mit Hochgeschwindigkeitsspindeln eingesetzt [9]. Die unsymmetrisch auftretenden Zerspankräfte beim Bohren und Fräsen begrenzen große Bohrtiefen und beschränken den Einsatzbereich dieser Werkzeuge auf ein Verhältnis von Bohrtiefe zu Bohrungsdurchmesser von etwa zwei zu eins. Gegenüber konventionellen Fräs Werkzeugen kann der



Anteil des Bohrens bei der Bearbeitung prismatischer Werkstücke
(Bildnachweis: IFW)

Bohrnutenfräser die niedrige Zerspanungsleistung mit kürzeren Nebenzeiten kompensieren und verfügt über vergleichbare Bohreigenschaften wie ein Kurzbohrer.

Messerkopffräser

Allgemein bekannt sind Messerkopffräser für den Einsatz zum Planfräsen. Erst seit einiger Zeit werden in der Praxis mit runden Schneidplatten bestückte Werkzeuge auch zum Fräsbohren ins Volle verwendet. Bohrungs- und Fräserdurchmesser müssen dabei so gewählt werden, daß eine Fräferschneide über die Bohrungsmittelpunkt schneidet, um den gesamten Bohrungsquerschnitt zu zerspannen. Industriell eingesetzt wird dieses Verfahren beispielsweise bereits als wirtschaftliche Alternative zum Bohren beim Bearbeiten von Bohrungen ins Volle in Großschmiedeteilen auf Bearbeitungszentren.

Bohrgewindefräser

Beim Herstellen von Gewinden mit Gewindebohrern können beispielsweise hohe Fertigungskosten verursacht werden. Eine Ursache stellt der Bohrerbruch dar, der wegen Verklammern von Spänen auftreten kann. Mit einem Gewindefräser ist ein Gewindebohrerbruch zwar vermeidbar, während der Bohrbearbeitung ist die Gewindelänge aber zu überwachen. Die endgültige Gewindelänge muß bei vorzeitigem Überschreiten des zulässigen Drehmoments dann mittels Nachschneiden erzeugt werden. Bei ungenügender Anfasung der Bohrung führt die Bildung eines Anschneidgrats beim nachfolgenden Zusammenbau zu weiteren Störungen. Durch Gewindefräsen können die beim herkömmlichen Gewindefräsen vorhandenen Probleme teils gemindert, teils sogar vermieden werden [10].

Der Bohrgewindefräser setzt sich aus Schaft, zweischneidigem Stufenbohrer zum Bohren ins Volle als auch Ansenken der Bohrung und Gewindefräserteil zusammen und besteht aus Vollhartmetall (Bild 7). Im Durchmesser ist der Fräserteil gegenüber dem Kernbohrungsdurchmesser etwas reduziert, so daß eine sehr kurze Nebenschneide des Bohrerteils verbleibt. Eine innere

Kühlschmierstoffzuführung sorgt für eine verbesserte Späneentsorgung aus der Bohrung.

Mit einem Bohrgewindefräser wird die Kernbohrung zusammen mit der Ansenkung gebohrt und anschließend das Innengewinde gefräst. Aufgrund der wendelförmigen Entspannungsnuten erhält man einen kontinuierlichen Zahneingriff beim Gewindefräsen. Hohe Schnittgeschwindigkeiten und die Aufteilung der Gewindelänge auf mehrere Schneiden ergeben eine kurze Hauptzeit. Die Zeit zum Herstellen eines Gewindes in Aluminium mittels Gewindefräsböhrn wird im Vergleich zur herkömmlichen Fertigungsweise mit Standardwerkzeugen um ca. 50 % verkürzt. Zudem muß die Arbeitsspindel nicht mehr aus hohen Drehzahlen abgebremst und reversiert werden, wie dies bei Gewindebohrern wegen der notwendigen Drehrichtungsumkehr beim Zurückdrehen des Werkzeugs aus der Gewindebohrung erforderlich ist.

Fräsbohrwerkzeuge

Fräsbohrwerkzeuge zum Fertigen auch tiefer Bohrungen wurden in Zusammenarbeit mit Fa. Gebrüder Heller GmbH Werkzeugfabrik am Institut für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart entwickelt. Die dazu erforderlichen Forschungsarbeiten wurden und werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Für die Untersuchung der Bohrbearbeitung steht ein Auskammerfräsbohrwerkzeug zur Verfügung (Bild 9). Damit sind Bohrungen im Durchmesserbereich von 88 bis 124 mm und einer Tiefe bis etwa 1000 mm herstellbar. Unterstützt von einer prozeßbegleitenden Werkzeugüberwachung wird eine Beschädigung von Werkzeug und Ma-

schine verhindert und der Verlust von Werkstücken vermieden [11].

Auskammerfräsbohrwerkzeuge ermöglichen die automatisierte Komplettbearbeitung von tiefen Durchgangs- und Sackbohrungen mit komplexen Innenkonturen in einer Aufspannung. In einer mittels Fräsbohren hergestellten Vorbohrung können beispielsweise mit einem Scheibenfräser anhand gesteuerter radialer Fräserzustellung, also senkrecht zur Bohrungsachse, während der Bohrbearbeitung rotationssymmetrische Innenkonturen mit weitgehend freier Gestaltung, wie Radien, Kegel oder Einstiche gefertigt werden. Beginnend an der tiefsten Stelle der Bohrung, erfolgt die Bearbeitung der Innenkontur mit ziehender Vorschubbewegung des Werkzeugs aus der Bohrung heraus. Das Fertigen nichtrotationssymmetrischer Innenkonturen erfordert die steuerungstechnische Kopplung zwischen der auf einer Kreisbahn erfolgenden radialen Fräserzustellung, der Vorschubbewegung parallel zur Bohrungsachse und Werkstückdrehbewegung. Nach einer entsprechenden Anpassung der Versuchseinrichtung ist damit die Herstellung komplexer Bohrungsquerschnitte möglich, die einfache Schmiertaschen, kegelige Gewinde als auch über die Bohrungstiefe in sich verdrehte Polygonprofile sein können. Bauteile, die einseitig auf Biegung beansprucht werden, wie beispielsweise Flugzeuglandebeine, können somit durch eine optimierte Konstruktion bei gleicher Biegesteifigkeit mit einem geringeren Gewicht ausgeführt werden.

Ausblick

Beim Innenrundfräsen werden Walzenstirn- oder Schafffräser auf einer Kreisbahn am Innenrand der Bohrung ent-

langgeführt. Damit ist der Fräser über die gesamte Bohrtiefe im Eingriff und die Bohrtiefe wird während eines Zirkularumlaufs gefertigt. Im Gegensatz dazu führt der Fräser beim Fräsbohren eine wendelförmige Vorschubbewegung aus und ermöglicht auch das Bohren ins volle Werkstückmaterial. Während eines Zirkularumlaufs des Fräasers wird eine vergleichsweise geringe Bohrtiefe erzeugt, so daß entsprechend der Bohrtiefe mehrere Zirkularumläufe erforderlich sind.

Die verschiedenen konstruktiven Ausführungen der Werkzeuge zum Innenrundfräsen und Fräsbohren gewährleisten jeweils einen sehr flexiblen Einsatz. Mit einem einzigen Werkzeug können verschiedene Bohrungsdurchmesser und Bohrungsgeometrien gefertigt und damit die Anzahl der an der Maschine bereitzustellenden Werkzeuge reduziert werden. Insbesondere beim Bearbeiten großer Bohrungsdurchmesser ist die hohe erzielbare Zerspanungsleistung beim Fräsen nutzbar. Durch die verfahrensbedingte Kurzspanbildung und der dadurch günstigen Späneabfuhr aus der Bohrung heraus ermöglichen beide Fertigungsverfahren eine gute Automatisierbarkeit der Bohrbearbeitung sowie eine hohe Prozeßsicherheit. Zusammen mit der hohen erzielbaren Maß- und Formgenauigkeit der Bohrungen können beide Verfahren wirtschaftliche Alternativen zu konventionellen Bohrverfahren sein. □

Literatur

- [1] Heisel, U.: Marktakzeptanz in der Fertigungsflexibilisierung. Vortrag anlässlich des Fertigungstechnischen Kolloquiums. Stuttgart 1988, S. 86-94. [2] Tuffentsammer, K.: Die Bearbeitung zylindrischer Innenflächen an stillstehenden Werkstücken. tz für praktische Metallbearbeitung, 70 (1976) 9, Seite 252-260. [3] Spur, G.: Neue Verfahren und Konzeptionen für die spanende Fertigung. dima 45 (1990) 3, S. 62-68. [4] Koster, A.: Technologische Grundlagen des Fräsbohrens. Dissertation Universität Stuttgart 1988. [5] Utz, Th.: Herstellung aufgeweiteter Innenkonturen durch Auskammerfräsbohren. Dissertation Stuttgart 1990. [6] Reinhardt, H. u. Lützkendorf, D.: Bohrbearbeitung durch Zirkularfräsen. Fertigungstechnik und Betrieb, Berlin 39 (1989) 11, S. 650-653. [7] Michel, B.: Auf dem Wendel zum Erfolg. M + W 13 - Fertigungstechnik 5 (1991), S. 90-104. [8] Kaufeld, Michael: Fräsen dünnwandiger Werkstücke mit Sonderwerkzeugen. Werkstatt und Betrieb 123 (1990) 1, S. 69-72. [9] Gallist, R.: Schneller Dreh - Hochgeschwindigkeitsspindel arbeiten Metalle und Kunststoffe. Maschinenmarkt, Würzburg 93 (1987) 46, 2. 2-4. [10] Link, H.-J. u. Schurer, W.: Schnell und genau. Zirkularfräsen von Innengewinden verkürzt die Fertigungszeiten und erhöht Oberflächenqualität. Maschinenmarkt 95 (1989) 36, S. 48-54. [11] Heisel, U. u. Ruziczka, G.: Auskammerfräsbohren - Bohrbearbeitungsverfahren mit neuem Potential, dima - die maschine 47 (1993) 4, S. 28-30.

Auskammerfräsbohrwerkzeuge und Versuchsmaschine

