Technologie beim Bohren kleinster Durchmesser

Prof. Dr.-Ing. U. Heisel, Institut für Werkzeugmaschinen,
Universität Stuttgart

Einleitung

Die Entwicklung zur Komplettbearbeitung und zur Steigerung der Flexibilität hat u.a. dazu geführt, daß das Einlippenbohren auch auf anderen Fertigungseinrichtungen, wie Bearbeitungszentren, Drehmaschinen und Transferstraßen zum Einsatz kommt /1/. Das Ziel ist es, die Investitionskosten für die Sondermaschinen einzusparen und qualitativ hochwertige Bohrungen mit großem l/d- Verhältnis auf Standardmaschinen herstellen zu können. Eine Voraussetzung dafür ist die Berücksichtigung der verfahrensspezifischen und maschinenellen Anforderungen. Hierzu zählen beispielsweise eine Hochdruck-Kühlschmiermittelanlage, eine Anbohrführung und ein ausreichend hoher Drehzahlbereich, um die notwendigen Schnittgeschwindigkeiten realsieren zu können.

Weiterhin werden dem Einlippenbohren durch die Entwicklung kleinster Werkzeuge im Durchmesserbereich zwischen 0,9 mm und 2 mm neue Anwendungsbereiche wie z.B. im Motorenbau bei Einspritzdüsen und Ventilen erschlossen und die Möglichkeit geboten, die für das Tiefbohren typische Bohrungsqualität hinsichtlich Oberflächengüte, Rundheit und Axialität wirtschaftlich zu nutzen.

Kriterium zur Beurteilung des Einlippenbohrens ist ein großes Zeitspanvolumen bei hoher Qualität und hoher Prozeßsicherheit. Insbesondere beim Bohren mit kleinsten Durchmessern, das aufgrund der aufwendigen Werkzeugherstellung vergleichsweise teuer ist, ist die Beherrschung der Prozeßsicherheit zur Vermeidung von Bohrerbrüchen und Produktionsausfällen von großer Bedeutung.

Problematik beim Bohren kleinster Durchmesser

Bei den kleinsten Abmessungen eines Einlippenwerkzeuges treten Probleme im Bereich der Kühlschmiermittel-Versorgung und der Spanabfuhr auf, wenn ein hinreichender Durchfluß des Kühlschmiermittels nicht konstant gewährleistet oder die Bildung von für die Spanabfuhr günstigen Spanformen nicht sichergestellt ist. Der Kühlschmiermittelkanal und die Sicke mindern den Bohrerquerschnitt und verringern die Bohrersteifigkeit.

Bei dem Einsatz von kleinsten Einlippenbohrwerkzeugen in Bearbeitungszentren werden besonders hohe Anforderungen an die Kühlschmiermittelversorgung hinsichtlich der Schmierstoffart und des Arbeitsdruckes gestellt.

Im Vergleich zu den Einlippenbohrern im Durchmesserbereich von 5 bis 12 mm, der für die Verwendung in Bearbeitungszentren typisch ist, fordern kleinste Einlippen-bohrer einen weitaus höheren Arbeitsdruck. Um eine ausreichende Prozeßsicherheit beim Bohren mit kleinsten Einlippenwerkzeugen zu gewährleisten, muß die Kühlschmiermittelanlage in der Lage sein, Arbeitsdrücke über 100 bar zu erzeugen. In Bearbeitungszentren werden im Unterschied zu Tiefbohrmaschinen hauptsächlich Emulsionen als Kühlschmiermittel verwendet. Um den tiefbohrspezifischen Anforderungen gerecht zu werden und die unerwünschte Schaumbildung von Emulsionen bei hohen Drücken zu vermeiden, sind den Emulsionen geeignete Additive zuzusetzen. Zu den maschinenseitigen Voraussetzungen für einen Einsatz von kleinsten Einlippenwerkzeugen in Bearbeitungszentren zählt eine HSC-Spindel, damit Drehzahlen bis zu 26000 1/min erreicht werden können.

Für das Einlippenbohren mit kleinen Durchmessern wurden Untersuchungen angestellt, die neue Erkenntnisse über die Voraussetzungen zu einer kontinuierlichen Prozeßsicherheit erbringen sollten. Um Informationen über die verschiedenen Abhängigkeiten von Prozeßparametern zu gewinnen, wurden Durchfluß- und Zerspanungsuntersuchungen durchgeführt. Neben der Zerspanungsoptimierung,

die die Einstellung von wirtschaftlichen Prozeßparametern zum Ziel hat, wurden FEM-Berechnungen zur Werkzeugoptimierung hinsichtlich eines maximalen Durchfluß bei ausreichender Steifigkeit vorgenommen.

Durchflußuntersuchungen

Neben Bohrerlänge und Querschnittsfläche des Kühlschmiermittelkanals sind für Durchflußuntersuchungen außerdem der Druck des Mediums, sowie die Viskosität, die über die Temperatur erfaßt werden kann, von Interesse /2/. Untersuchungen wurden bisher mit Werkzeugen aus Vollhartmetall mit 1, 1,5 und 2 mm Durchmesser, sowie zum Vergleich mit einem 2 mm Bohrer als konventionellem Rohrschaftwerkzeug durchgeführt. Als weiterer Parameter wurde die Veränderung des Durchflußverhaltens am stehenden und am rotierenden Werkzeug betrachtet.

Abbildung 1 zeigt den Verlauf des Durchflusses in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck und dem Bohrerdurchmesser. Der Durchfluß verhält sich dabei nicht linear zur Druckerhöhung, sondern degressiv. Man erkennt, daß eine weitere Druckerhöhung vor allem mit abnehmendem Bohrerdurchmesser keine wesentliche Verbesserung der Durchflußmenge mehr liefert.

Die Viskositätsabhängigkeit des Durchflusses im üblichen Temperaturbereich erweist sich als verhältnismäßig gering. Aufgrund der degressiven Charakteristik der Durchflußmenge als Funktion des Arbeitsdruckes ist der Temperatureinfluß auf die Viskosität und damit die Durchflußmenge bei hohen Drücken geringer als bei kleinen. Daraus folgt, daß im Bereich praktischer Arbeitsdrücke, die über 10 MPa liegen, nur eine geringe Einflußnahme über eine denkbare Temperatursteuerung möglich wäre.

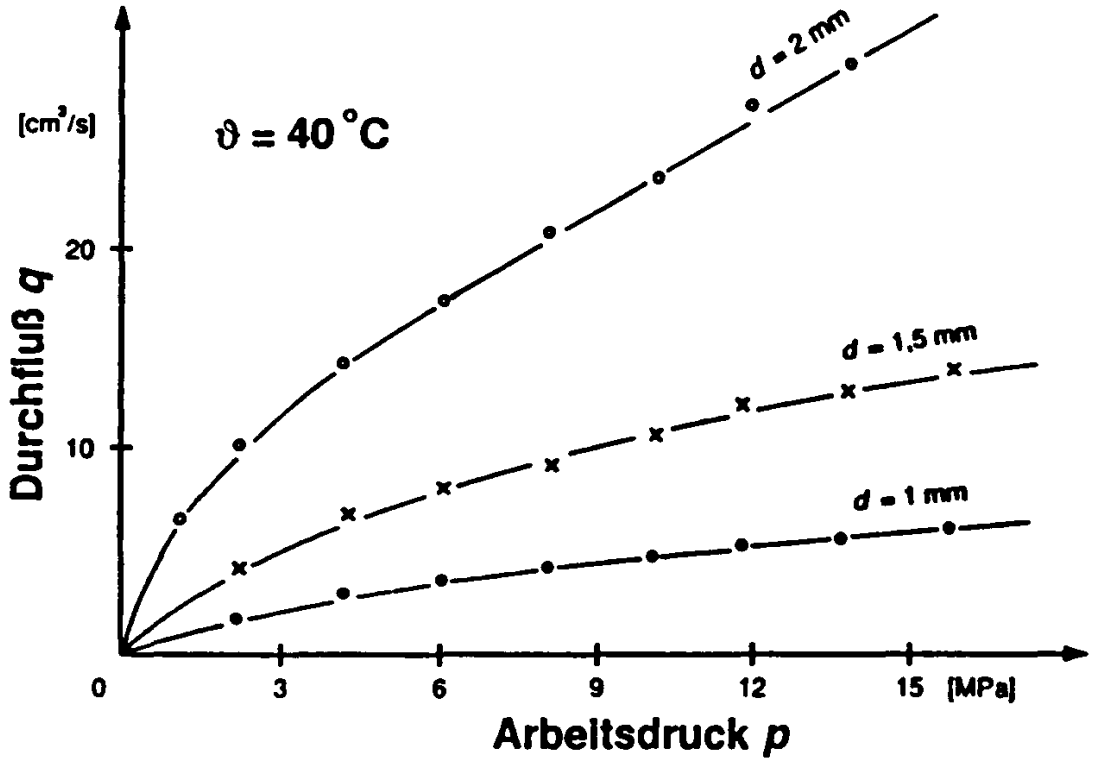


Bild 1: Durchflußmenge in Abhängigkeit des Arbeitsdrucks

Für den Bohrernenndurchmesser d = 2 mm sind sowohl Werkzeuge aus Vollhartmetall, als auch in konventioneller Bauweise mit Rohrschaft verfügbar. Das konventionell hergestellte Werkzeug weist einen höheren Durchfluß auf als das Vollhartmetall-Werkzeug. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Querschnittsfläche des Kühlschmiermittelkanals beim konventionellen Werkzeug im Bereich des einge-sickten Schaftes größer ist als beim Vollhartmetall-Werkzeug. Aufgrund der Herstellung ist beim Vollhartmetall-Werkzeug die Querschnittsfläche über der gesamten Bohrerlänge konstant und entspricht der Fläche im Bohrerkopf. Diese Feststellung gab Anlaß, unterschiedliche Kühlschmiermittelkanalgeometrien mit verschiedenen Querschnittsflächen herzustellen und bezüglich ihres Durchflußverhaltens zu untersuchen. Bei diesen Untersuchungen verhielt sich die Durchfluß-menge proportional zu der vom hydraulischen Durchmesser gebildeten Kanalfläche.

Zerspanungsuntersuchungen

Für die Prozeßsicherheit des Einlippenbohrens mit kleinen Durchmessern hat die Optimierung von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub eine besonderen Stellenwert. Nicht angepaßte Schnittparameter können zu unerwünschten Spanformen, wie Fließ- oder Wirrspäne führen, welche die Sicke am Bohrerschaft verstopfen und eine akute Bruchgefahr verursachen /3/. Durchgeführte Untersuchungen mit dem Werkstoff 42CrMo4V zeigen, daß die Varianz der Schnittgeschwindigkeiten und der Vorschübe in einem sehr engen Bereich liegen, da sonst der Verschleiß schnell ansteigt. Bei Abweichungen ergeben sich entweder die angesprochenen Spanprobleme oder die Zerspanungskomponenten werden so groß, das die Festigkeit des Werkzeugs überschritten wird und es zu Bohrerbrüchen kommt.

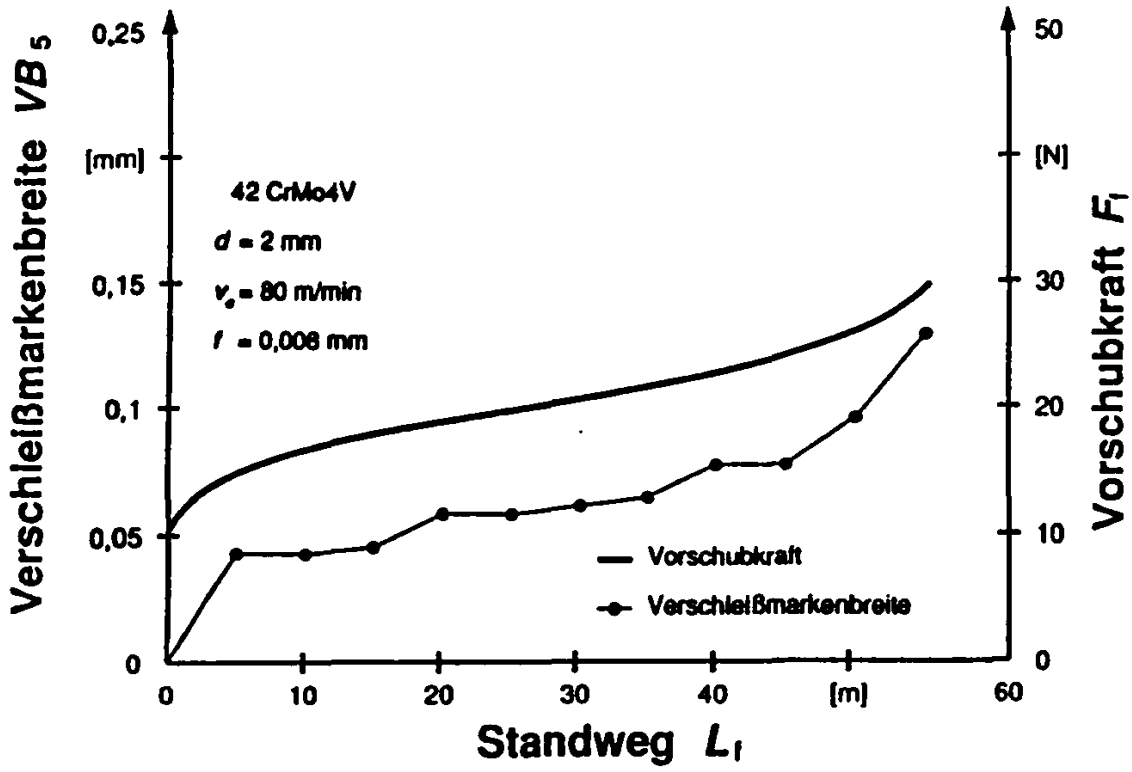


Bild 2: Verschleißmarkenbreite und Vorschubkraft in Abhängigkeit vom Standweg

Der Verschleiß am Schneideneck bzw. an der Rundschliffase nimmt nach einer Anfangsabstumpfung wie bekannt kontinuierlich zu /4/. Zum Standzeitende hin erhöht sich der Verschleiß überproportional. Mit dem Verlauf der Verschleißmarkenbreite korreliert der Vorschubkraftverlauf, der deshalb oft als Verschleißüberwachungskenngröße genutzt wird.

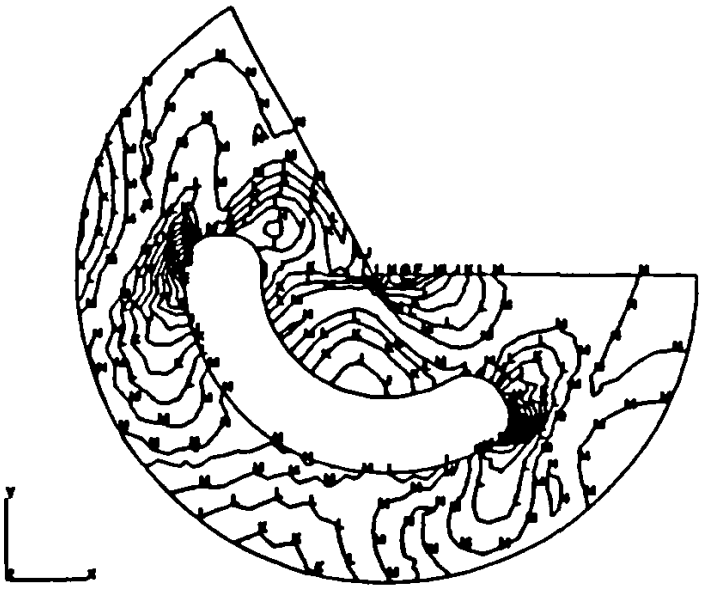
FEM - Berechnung der Einlippenwerkzeuge

Neben der Optimierung der Zerspanungsparameter ist die Verbesserung der Werkzeuggeometrie hinsichtlich einer hohen Steifigkeit bei größtmöglichem Kühlschmiermittel-Durchfluß eine weiteres Ziel. Mit der Kenntnis über die Materialbeschaffenheit des Bohrers, die auftretenden Zerspankräfte, die Kühlmitteldruckabhängigkeiten sowie die Art der Einspannung und der Krafteinleitung können statische und dynamische Berechnungen durchgeführt werden. Mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode lassen sich die Spannungen und Dehnungen am Kopf, bzw. im Schaft der Werkzeuge ermitteln. Durchgeführte Berechnungen zeigen, daß bei den gebräuchlichen Ausführungen der Bohrerköpfe hochbeanspruchte Zonen an den Stützleisten und im Bereich zwischen der Sicke und der Kühlmittelbohrung liegen. Aus diesen Berechnungen lassen sich Optimierungs-kriterien für die Gestaltung der Bohrer ableiten.

Zusammenfassung

Die sichere Prozeßbeherrschung beim Einlippenbohren mit Durchmessern kleiner 2 mm ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anwendung des Verfahrens. Die genaue Kenntnis der Prozeßkenngrößen und deren Abhängigkeiten erlauben eine gezielte Prozeßüberwachung.

Es wurde bisher das Durchflußverhalten in Abhängigkeit von Durchmesser, Druck, Temperatur und Geometrie der Kühlschmiermittelkanäle untersucht. Das



	N/mm²
A	42
B	39
C	36
D	33
E	30
F	27
G	24
H	21
I	18
J	15
K	12
L	9
M	6
N	3

Bild 3: Spannungsverlauf über dem Bohrkopfquerschnitt mit d=2 mm unter Innendruck

Ergebnis zeigt einen geringen Viskositätseinfluß, aber eine hohe Querschnittsflächen-abhängigkeit des Durchflusses. Weiter wurde an einem Beispiel ein Optimum für die Schnittparameter Schnittgeschwindigkeit und Vorschub unter Berücksichtigung der Spanbildung ermittelt, wodurch der Standweg der Werkzeuge um ca. 400 % erhöht werden konnte. Berechnungen der Belastungszustände in den Querschnitten der Bohrerköpfe und -schäfte liefern Anhaltspunkte für eine Optimierung der Bohrergestaltung sowie für Grenzbedingungen, die einen Bruch ausschließen.

Literatur

/1/ Engler H., 1991, Tiefbohren auf konventionellen Werkzeugmaschinen, Tagungsband VDI Tagung Tiefbohren, Stuttgart

/2/ Osman, M.O.M., Chall, G.S., 1982, Die Auswirkung der Form des Öldurchgangsquerschnitts beim Tiefbohren, tz für Metallbearbeitung 6, S.36-39.

/3/ Heisel, U., Enderle, K., 1991, Stande der Technik beim Tiefbohren, Tagungsband VDI Tagung Tiefbohren, Stuttgart

/4/ Enderle, K., Lang, C.M., 1990, Wider den Bruch, Maschinenmarkt 15, S.48-53.