

Miniaturohrer ■ Spanflächengestaltung ■ Massenbohrbilder

# Optimierte Spannuten steigern die Leistung von Kleinstbohrern

Immer kleiner und filigraner werden die Bauteile, immer zahlreicher die Bohrungen – nicht nur in Hightech-Branchen. Eine Möglichkeit, die Zerspanleistung zu steigern und die Bohrerdienstzeit zu verlängern, ist eine Nachbehandlung der Spanfläche. Versuche bestätigten das.

von Gerhard Petruelli und Jan Philipp Jaeger

Auf vielen Sektoren der Produktionstechnik ist eine fortschreitende Entwicklung hin zu kleineren Bauteilen mit zunehmend filigranen Strukturen feststellbar. Dabei wird mit steigendem Verhältnis der Bohrungstiefe zum Bohrungsdurchmesser (L/D-Verhältnis) die Technologie hochproduktiver Miniaturohrprozesse in der Massenproduktion immer mehr zur Herausforderung. Ein Beispiel dafür sind sogenannte Lochscheiben, die in der Lebensmittelindustrie benötigt werden. Bild 2 zeigt ein Segment einer solchen Lochscheibe und die zu ihrer Herstellung benötigten Bohrwerkzeuge. Letztere bedürfen einer stetigen Optimierung.

## Die Oberflächengüte der Spanfläche definiert die Prozessgrenzen

Neben der Werkzeuggeometrie rückt die Oberflächenqualität der Spannut von Wendelbohrern in den Fokus der Werkzeugoptimierung. Derzeit werden beispielsweise Hartmetallerzeugnisse mit verminderten Reibkoeffizienten in der Medizintechnik verwendet [1]. Gerade beim Bearbeiten von Buntmetallen und Verbundwerkstoffen sind infolge verbesselter Werkzeugoberflächen Standwegsteigerungen zu erwarten [2 und 3].

Die Oberflächenqualität der Spanflächen beeinflusst den Spänetransport, besonders bei großen Bohrtiefen, und definiert somit die Prozessgrenzen. Im Ver-



**1** Mit dieser Versuchsanordnung wurde die Leistungsfähigkeit von Wendeltiefbohrern mit behandelter und unbehandelter Spanfläche bei der Edelstahlbearbeitung untersucht. Links Plattform zur Standwegmessung; rechts Plattform zur Messdatenerfassung (© swf)

gleich zu konventionellen sind bei spannutoptimierten Werkzeugen ein deutlich gleichmäßigerer Momenten- und Kraftverlauf während der Bearbeitung sowie ein verlängerter Standweg messbar [1].

Die Wirtschaftlichkeit der Oberflächen-Nachbearbeitung und die mögli-

chen Oberflächenverbesserungen sind abhängig von dem jeweiligen Verfahren [4]. Ziel der im Folgenden vorgestellten Untersuchung war es, zu prüfen, ob das Bohren mit Kleinstbohrern durch die Finishbearbeitung der Werkzeuge beeinflusst wird. »



**2 Werkzeuge zum Bohren von Tieflöchern mit  $d < 1,5$  mm auf dem Segment einer Lochscheibe für die Lebensmittelindustrie**

(© swf)

Gehobt wurde in martensitischen Edelstahl (1.4112), der aufgrund der hohen Abrasions- und Adhäsionsneigung eine besondere Herausforderung für die Zerspanung darstellt. Verwendet wurden kopfbeschichtete Werkzeuge mit einem Durchmesser von  $d = 1,4$  mm, mit denen Bohrungen mit einem L/D-Verhältnis von 10 möglich sind. Alle Werkzeuge wurden einer Charge entnommen, sodass sie sich nur durch die Art der Spannut-Nachbehandlung unterschieden. Die Nachbehandlung reduzierte die Rauheit der Spannut von  $R_{\max} \approx 0,4 \mu\text{m}$  auf  $R_{\max} \approx 0,2 \mu\text{m}$ .

Mit einer HSC-Fräsmaschine wurden in Scheiben der Dicke  $t = 11,2$  mm zunächst Pilotbohrungen, dann im Peck-Drilling-Verfahren Durchgangsbohrungen eingebrochen. Um die Prozesssignale bestimmen zu können, spannte man die Scheiben auf einer Zwei-Komponenten-Messplattform ( $F_z$ ;  $M_z$ ) auf. Bild 1 zeigt diesen Aufbau.

#### Spanflächenqualität sensibilisiert das System in puncto Zerspangrößen

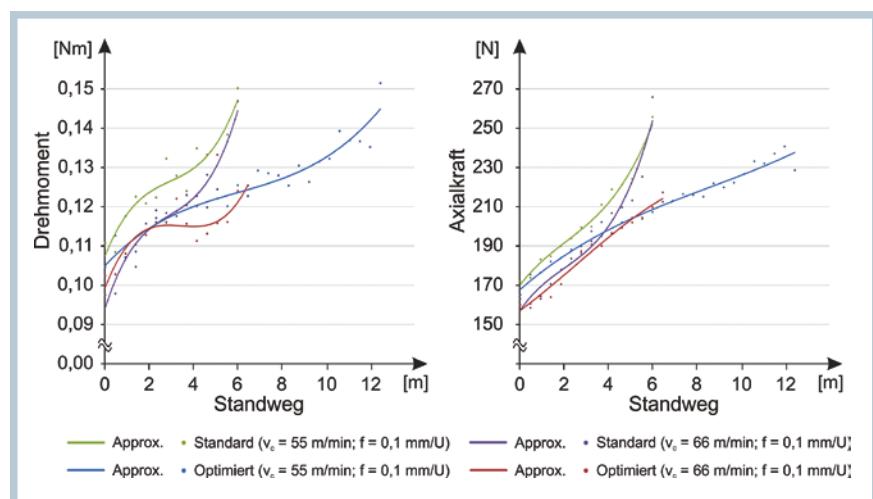
Für eine Abschätzung des Standwegs wurden zunächst mit jeweils drei Werkzeugen im Wechsel fünf Mess- und 245 Verschleißbohrungen hergestellt (Messzyklus  $MZ_{250}$ ). Um den Verschleißfortschritt besser erfassen zu können, fertigte man im zweiten Schritt mit je zwei Werkzeugen im Wechsel jeweils fünf Mess- und 45 Verschleißbohrungen (Messzyklus  $MZ_{50}$ ). Die Messwerte der fünf Messbohrungen wurden gemittelt, die Standardabweichung wurde bestimmt. Beim Bohren galten die Schnittwertempfehlungen des Herstellers, mit den HPC-Bedingungen erhöhte Vorschubgeschwindigkeit (HPC1) und erhöhte Schnittgeschwindigkeit (HPC2).

Es stellte sich heraus, dass der mittlere Standweg des Standardwerkzeugs

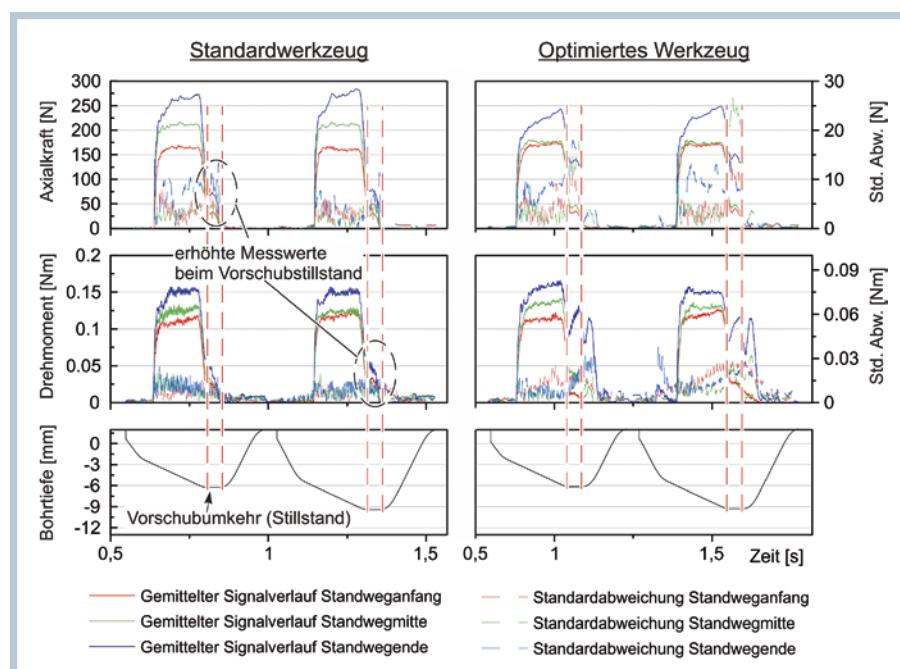
kaum von den Schnittparametern abhängig ist ( $MZ_{50}$ :  $\bar{x} = 5,07$  m bis 5,21 m,  $MZ_{250}$ :  $\bar{x} = 5,83$  m bis 5,94 m). Eine Standwegsteigerung um rund 20 Prozent bei längerem Messintervall war auf den stabileren Prozess (kleinere Standardabweichung) zurückzuführen, weil unter anderem weniger Werkzeugwechsel zum Pilotieren erforderlich waren.

Grundsätzlich andere Ergebnisse ließen sich mit den Werkzeugen mit verbesserter Oberfläche erzielen. Die Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit (HPC1)

hatte bei kurzem Messintervall ( $MZ_{50}$ ) eine deutliche Verlängerung des Standwegs, bei langem Intervall ( $MZ_{250}$ ) eine signifikante Reduktion des Standwegs zur Folge. Demgegenüber zeigte die höhere Schnittgeschwindigkeit (HPC2) bei kurzem Intervall ( $MZ_{50}$ ) kaum einen, bei langem Intervall jedoch einen signifikanten Einfluss auf das Standzeitverhalten. Offensichtlich reagiert das Zerspanungssystem bei unterschiedlicher Oberflächenqualität der Spanfläche, verändertem Spanfluss und Spanvolumen in Ver-



**3 Gemittelte Axialkraft- und Drehmomentverläufe über dem Standweg als Ergebnis der Zerspanversuche mit Bohrern, deren Spanfläche unbehandelt (Standard) oder behandelt (optimiert) war** (© swf)



**4 Kraft- und Drehmomentenverlauf über der Bohrungstiefe bei verschiedenen Verschleißzuständen beim 11,2 mm tiefen Bohren von Stahl 1.4112 mit einem 1,4-mm-Standardwerkzeug bei einer Schnittgeschwindigkeit von  $v_c = 55$  m/min und einem Vorschub von  $f = 0,1$  mm/U; Kühlschmierung MMS extern** (© swf)

bindung mit der dadurch bedingten unterschiedlichen Temperaturrentwicklung empfindlicher auf Änderungen der Zerspanparameter.

Die aus den jeweils fünf Messbohrungen gemittelten maximalen Drehmomente und Axialkräfte sind, in Abhängigkeit vom Vorschubweg, in Bild 3 dargestellt. Der Verlauf der Messwerte (Punkte) wurde durch eine Funktion höheren Grades interpoliert (Linie). Der Verschleißfortschritt folgt einem für Reibverschleiß typischen Verlauf [5]. Die stationären

größere Werte am Standardwerkzeug auftreten als beim optimierten Werkzeug. Die große Standardabweichung weist darauf hin, dass die Prozesse mit dem Standardwerkzeug deutlich instabiler sind. Diese Effekte deuten auf einen erhöhten Querschneidenverschleiß und damit Materialanhäufungen hin. Die erhöhten Drehmomente, die während der Rückhubbewegung sogar ansteigen, lassen sich mit einer verstärkten Adhäsionsneigung und Spanaufklebungen, die an der Bohrungswand reiben, erklären.

In den mit dem verbesserten Werkzeug ermittelten Daten kamen diese Effekte nur schwächer zum Vorschein. Das zeigt, dass durch die Finishbearbeitung die Prozessstabilität beim Bohren mit großem L/D-Verhältnis erheblich verbessert werden kann.

#### **Form und Farbe des Grats geben Hinweise auf die Zerspantemperatur**

Um mögliche Ursachen für die Standwegunterschiede einzuschränken, wurde der Grat an der Werkstückunterseite analysiert, der beim Austritt des Werkzeugs aus dem Werkstück entsteht. Aus der Form und der Farbe des Grats sind qualitative Rückschlüsse auf die Zerspantemperatur möglich. Bei großem Messintervall ( $MZ_{250}$ ) bildeten sich schon nach einem kurzen Vorschubweg deutlich ausgeprägte Grate. Zum Standwegende hin entstanden stark verformte Strukturen, die auf ein verschlissenes Werkzeug, erhöhte Zerspantemperaturen und ein baldiges Werkzeugversagen hindeuten. Bestätigt wird das durch Versuche, bei denen zwischen den einzelnen Bohrungen eine Verweilzeit von 2 s programmiert wurde. Unter diesen Bedingungen ließen sich deutlich längere Standwege erreichen. Die nun resultierenden Grade und Materialverfärbungen weisen auf reduzierte Prozesstemperaturen hin (Bild 5).

**5 Vergleich der Grade zum Standwegende in Bezug auf die verschiedenen Werkzeugtypen und Prozessstrategien** (© swf)

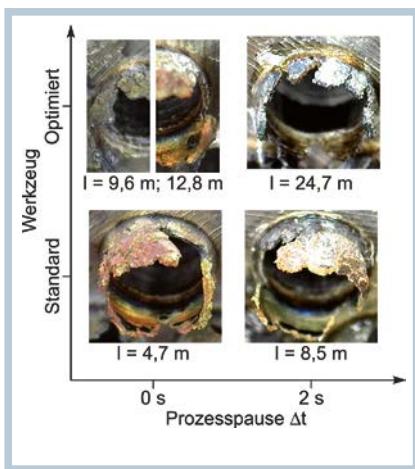
und instationären Verschleißphasen sind insbesondere im Drehmomentverlauf bei höherer Oberflächenqualität der Spannuta deutlich erkennbar.

Mit zunehmendem Vorschubweg steigen sowohl das Drehmoment als auch die Axialkraft um ungefähr 45 Prozent auf  $\bar{x}_{(Mz)} = 0,147 \text{ Nm}$  ( $s_{(Mz)} = 0,007 \text{ Nm}$ ) beziehungsweise  $\bar{x}_{(Fz)} = 239 \text{ N}$  ( $s_{(Fz)} = 12 \text{ N}$ ) an. Zudem hat die Nachbehandlung der Spannuta mit steigendem Vorschubweg geringfügig kleinere Kräfte und Momente zur Folge.

Die zeitlichen Verläufe der gemittelten Kraft- und Drehmomentverläufe (HPC1) mit den entsprechenden Standardabweichungen sowie der jeweilige Vorschubweg sind in Bild 4 dargestellt. Die Zyklen sind auf das Peck-Drilling zurückzuführen. Zum Vergleich werden lediglich der zweite und der dritte der insgesamt vier Bohrzyklen dargestellt.

**Mit dem Standardwerkzeug sind die Prozesse deutlich instabiler**  
Der Vergleich zeigt, dass nach dem Einzelhub und bei Vorschubumkehr deutlich

Steigerung der Prozesssicherheit genutzt werden kann. Allerdings sind für diese Werkzeuge die Schnittdaten neu zu optimieren. Des Weiteren zeigten die Versuche, dass die Minimalmengenschmierung – vor allem die damit erreichbare Kühlung – verbessert werden muss, um die Prozesssicherheit zu erhöhen und weitere Steigerungen der Standzeit zu erreichen. ■



- [1] D. Biermann, T. Heymann und C. Rauert:** Polieren passt Hartmetallflächen der jeweiligen Anwendung an. MM Maschinenmarkt 45/2011, S. 42–44
- [2] Diametal AG:** Bohrer und Fräser mit polierter Spannut aus Vollhartmetall schleifen. mav maschinen anlagen verfahren 3/2014, S. 84
- [3] T. Heymann:** Schleifen und Polierschleifen von wendelförmigen Spannuten an Vollhartmetallbohrwerkzeugen. Dissertation Universität Dortmund 2015
- [4] H. Gegenheimer:** Verbesserte Finishbearbeitung. MM Maschinenmarkt 8/2012, S. 78–81
- [5] E. Paucksch:** Zerspantechnik. Prozesse, Werkzeuge, Technologien. Viehweg + Teubner, Wiesbaden, 2008

## INFORMATION & SERVICE



### INSTITUTE

**Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (IPK) der TH Köln**  
50678 Köln  
Tel. +49 221 8275-2362  
[www.th-koeln.de](http://www.th-koeln.de)

**Labor für Werkzeugmaschinen und Fertigungsverfahren der Fachhochschule Südwestfalen**  
59494 Soest  
Tel. +49 2921 378-0  
[www.fh-swf.de](http://www.fh-swf.de)

### LITERATUR

- DIE AUTOREN**
- Prof. Dr. Gerhard Petuelli** lehrt am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (IPK) der TH Köln [gerhard.petuelli@th-koeln.de](mailto:gerhard.petuelli@th-koeln.de)
- Jan Philipp Jaeger** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fachhochschule Südwestfalen in Soest [jaeger.janphilipp@fh-swf.de](mailto:jaeger.janphilipp@fh-swf.de)
- PDF-DOWNLOAD**  
[www.werkstatt-betrieb.de/3424620](http://www.werkstatt-betrieb.de/3424620)