

Ergebnisse der Untersuchungen an asymmetrisch bestückten Hartmetall-Wendeschneidplatten-Bohrwerkzeugen

Die sogenannten „Kurzbohrer“ sind seit Mitte der siebziger Jahre im Einsatz. Im Vergleich zu anderen Bohrwerkzeugen erlauben sie wesentlich höhere Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten. Ein Nachteil jedoch sind die hohen radialen Belastungen des Spindel-Lager-Systems durch die asymmetrische Schneidenanordnung. Der folgende Beitrag behandelt diese Problematik und zeigt Lösungsmöglichkeiten für ein mit quadratischen Wendeschneidplatten bestücktes Bohrwerkzeug. – Von Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel und Dipl.-Ing. Wolfgang Betz¹⁾.

Einleitung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens, das von der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird, sollen Grundlagenergebnisse für den Einsatz und die Entwicklung von asymmetrisch bestückten Hartmetall-Wendeschneidplatten-Bohrwerkzeugen ermittelt werden. Dies soll sowohl zu einer Verbesserung des Zerspanverhaltens führen als auch die spezielle Anwendung dieser Werkzeuge in der mehrspindligen Bohrbearbeitung ermöglichen. Die Mehrspindelbohrbearbeitung stellt immer noch ein wesentliches Element zur Verbesserung der

Wirtschaftlichkeit durch die Reduzierung von Bearbeitungszeiten und Fertigungskosten dar. Ein Aufgabenschwerpunkt bildet daher die Untersuchung und Entwicklung von Lagerungs- und Dichtungssystemen für das mehrspindlige Bohren mit asymmetrisch bestückten Bohrwerkzeugen. Dazu ist die Kenntnis der auftretenden Lagerbelastungen für die Überprüfung der Verwendbarkeit bereits bestehender und gegebenenfalls neu zu entwickelnder Lagerungssysteme notwendig.

Theoretische und experimentelle Untersuchung des Spindel-Lager-Systems

Für die Berechnung von Spindel-Lager-Systemen stehen zwei Programme zur Verfügung. Das erste Programm ist speziell auf die Optimierung von HM-WP-Bohrwerkzeugen zugeschnitten

[1]. Die Kriterien hierfür sind entweder die geringste Maßabweichung vom Soll-Durchmesser der Bohrung oder die minimale Bohrwerkzeugauslenkung. Dazu wird die Spindelgeometrie zugrundegelegt und die Auslenkung des Bohrwerkzeuges nach dem Satz von Castigliano berechnet. Bedingt durch dieses Verfahren können nur statisch bestimmte Systeme, also nur Spindeln mit maximal zwei Lagerstellen, berechnet werden.

Mit dem zweiten Programm, das auf dem Verfahren der Übertragungsmatrizen beruht, können auch mehrfach gelagerte Spindeln statisch und dynamisch berechnet werden. Durch die statische Berechnung wird der Verlauf der Biegelinie, der Querkraft- und Biegemomentenverlauf bestimmt. Die dynamische Berechnung dient dem Ermitteln der ersten drei Biegeeigenfrequenzen des Spindel-Lager-Systems sowie den zugehörigen Eigenschwingungsformen. Dies geschieht durch das Generieren eines Mehrmassenmodells der Spindel, wobei auch zusätzliche Massen, wie auf der Spindel angebrachte Hülsen, Muttern und so weiter, berücksichtigt werden können.

Die praktische Ermittlung der Lagerbelastungen durch die Zerspankräfte und Untersuchungen am Dichtungssystem wird mit einem Versuchsstand durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde eine Versuchsspindel konzipiert und gebaut, welche zur Bruchüberwachung mit Kraftmeßlagern ausgerüstet ist. Der in zwei Achsen numerisch verfahrbare Versuchsstand, in dem die Spindel eingebaut ist, weist eine maximale Drehzahl von 8000 min^{-1} , bei einer Antriebsleistung von 30 kW auf.

Die Meßwerterfassung geschieht mit Hilfe eines Vierkomponenten-Dynamometers der Firma Kistler [2] und einer A/D-Wandlerkarte. Diese befindet sich in einem IBM-PC kompatiblen Rechner, auf dessen Festplatte die Meßdaten gespeichert werden. Die Auswertung geschieht mit Hilfe von diversen Programmen zur grafischen Darstellung, zur Berechnung der Zerspankennwerte oder für statistische Analysen. Die Meßkurven können am Monitor oder mit dem Plotter/Drucker dargestellt werden.

Zur Bestimmung der Zerspankennwerte nach [1] wurden Bohrwerkzeuge mit einem Durchmesser von 20 und 25 mm, bestückt mit trigonförmigen Wendeschneidplatten in Kombination mit verschiedenen Werkstoffen und bei unterschiedlichen Schnittbedingungen, untersucht.

Zunächst wurde die Berechnung des Bohrwerkzeug-Spindel-Lager-Systems, welches im Versuchsstand eingebaut ist, mit dem zweiten Programm durchgeführt. Als Belastung wurde eine durchschnittliche gemessene Radialkraft angenommen. Abb. 1a zeigt für den Verlauf der statischen Biegelinie, daß der Schwachpunkt des Sy-

¹⁾ Professor Dr.-Ing. Uwe Heisel ist Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart. Dipl.-Ing. Wolfgang Betz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Institut.

stems das Bohrwerkzeug ist, und Abb. 1b Ergebnisse der dynamischen Berechnungen.

Analyse des Bohrwerkzeugs

Wie in [1] dargestellt wird, ist nicht nur die Größe der resultierenden Radialkraft, sondern auch der Richtungswinkel für die Auslenkung des Bohrwerkzeugs und somit den Durchmesser der Bohrung maßgeblich. Mit Hilfe des Berechnungsprogramms zur Optimierung der Bohrwerkzeuggeometrie lassen sich die wesentlichen Einflußgrößen variieren und untersuchen. Da nicht alle Einflußgrößen aus konstruktiven Gründen berücksichtigt werden können, wurden umfangreiche Analysen durchgeführt, um die Parameter für ein Versuchswerkzeug zu bestimmen. Abb. 2 zeigt die ausgewählten Größen:

- den axialen Schneidversatz a_{ax} ,
- den Schneidenverdrehwinkel φ und
- den Einstellwinkel $\alpha_{a,i}$ der Außen- und Innenschneide.

In [3] werden erste Versuchsergebnisse zur Bestimmung des Richtungswinkels der resultierenden Radialkraft vorgestellt. Durch die Versuchsanordnung ist jedoch nur eine relativ ungenaue Winkelbestimmung möglich. Die Zuordnung des rotierenden Bohrwerkzeugs zu den Bezugskordinaten der Meßwerterfassung wurde durch das Si-

gnal einer Photo-Diode vorgenommen. Zur genauen Bestimmung des Richtungswinkels wird deshalb das Bohrwerkzeug im Dynamometer fest eingespannt und das Werkstück in der rotierenden Spindel. Dadurch ist es möglich, mit Hilfe eines Auswerteprogramms den Winkel und die Größe der resultierenden Radialkraft exakt zu berechnen. Die Lage der Wendeschneidplatten des Bohrwerkzeugs zum Koordinatensystem des Meßaufnehmers ist ebenfalls in Abb. 2 dargestellt. Durch die konstruktive Gestaltung des Versuchswerkzeugs sind zwei unterschiedliche Anordnungen der Schneiden, dargestellt in Abb. 3, möglich.

Um das Risiko eines Werkzeugbruchs möglichst gering zu halten, war beabsichtigt, die Bohrungen in gut zerspanbaren Proben aus einer Aluminiumlegierung durchzuführen. Der Einfluß des Werkstückstoffs auf die Richtung der resultierenden Radialkraft wurde anhand von Vergleichsbohrungen in Stahl und die erwähnte Aluminiumlegierung bestimmt. Es hat sich gezeigt, daß der gemessene Unterschied für die untersuchten Werkstoffe im Bereich der Meßungenauigkeiten liegt und somit der Richtungswinkel bei die-

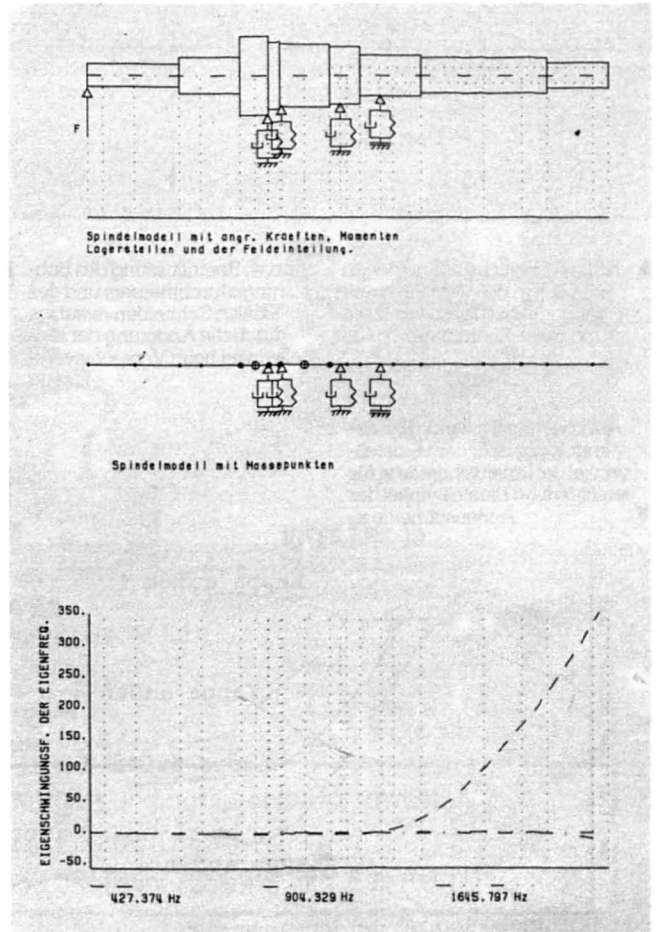
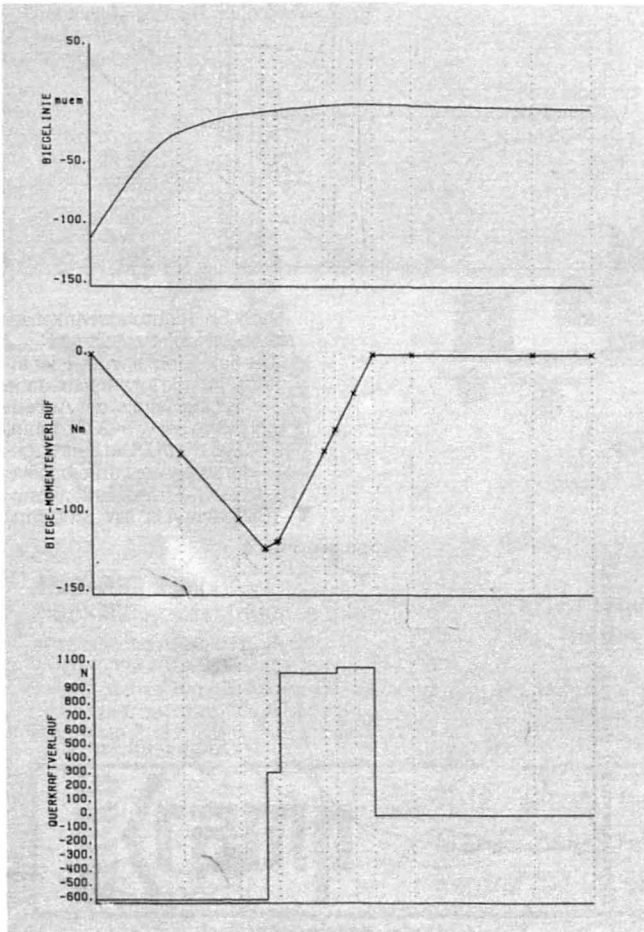
sen Schnittbedingungen unabhängig von dem Werkstückstoff ist.

Das Versuchswerkzeug ist mit quadratischen Wendeschneidplatten bestückt, die in Kassetten aufgenommen werden, welche um die Befestigungsschraube in der Mitte der Platten drehbar angeordnet sind. Dadurch ist eine stufenlose Verstellung des Einstellwinkels für die Innen- und Außenschneide in dem Bereich von ungefähr 75° bis 100° möglich. Jedoch ist ein Einstellwinkel α_a 90° für die Außenschneide nicht sinnvoll. Die Änderung des Einstellwinkels durch den Drehpunkt in der Mitte der quadratischen Wendeschneidplatte bewirkt eine Vergrößerung oder Verkleinerung des Bohrdurchmessers, je nach Größe des Einstellwinkels der äußeren Wendeschneidplatte, sowie eine Beeinflussung des axialen Versatzes der beiden Schneidplatten zueinander durch die Abhängigkeit von den Einstellwinkeln (Abb. 4).

Die Messung des Bohrungsdurchmessers kann somit nicht als Kriterium für die Qualität der Bohrung herangezogen werden.

Abb. 1a: Ausdruck der Ergebnisse der statischen Berechnungen des Bohrwerkzeug-Spindel-Lager-Systems

Abb. 1b: Ausdruck der Ergebnisse der dynamischen Berechnungen des Bohrwerkzeug-Spindel-Lager-Systems



Experimentelle Untersuchungen

Die Versuchsergebnisse mit dem beschriebenen Werkzeug sind für die resultierende Radialkraft und den Richtungswinkel in den Diagrammen in Abb. 5a und 5b dargestellt.

Es wurden verschiedene Kombinationen für die Einstellwinkel der Innen- und Außenschneide untersucht. Dargestellt wurden die Ergebnisse für vier verschiedene Einstellwinkel der Außenschneide bei variablem Einstellwinkel der Innenschneide.

Es ist zu erkennen, daß mit größer werdendem κ_a und κ_i ein Minimum für die resultierende Radialkraft existiert. Insgesamt gesehen streuen die Werte der vier dargestellten Kurven jedoch sehr stark. Dies ist auf die großen Unterschiede des axialen Schneidversatzes für diesen Bereich zurückzuführen. Je nach Einstellwinkel variiert er zwischen $-0,7$ mm bis zu $0,9$ mm. Im unteren Bereich liegen die Kurven näher beieinander, hier ist $a_{ax} = -0,7$ mm bis ungefähr $0,5$ mm.

Die dargestellten Ergebnisse für den Richtungswinkel der resultierenden Radialkraft weisen für den unteren Bereich des Einstellwinkels der Innenschneide nahe zusammenliegende Werte auf. In der Mitte existiert ein

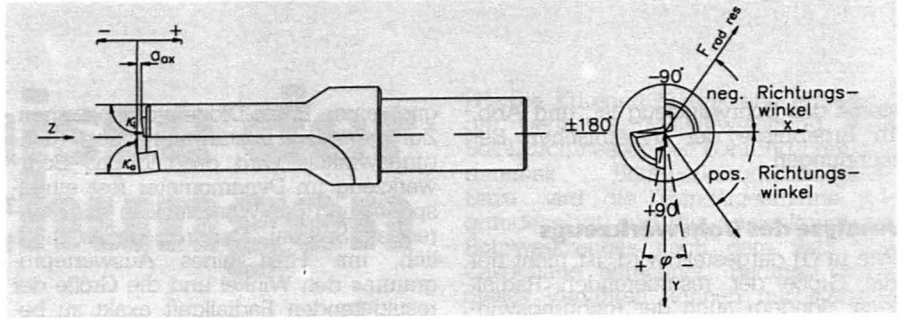


Abb. 2: Darstellung der ausgewählten Parameter für ein Versuchswerkzeug

bohrbearbeitung gerechnet werden kann.

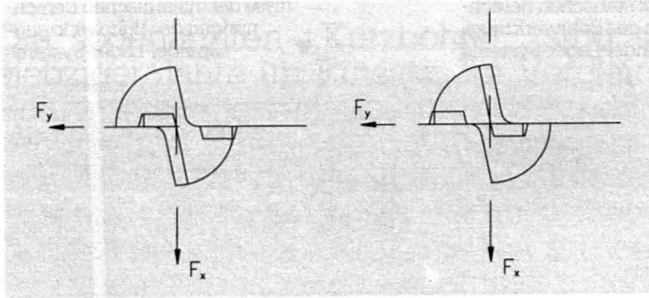
Literatur

- [1] Thierfelder, A.: Beitrag zur Auslegung des Werkzeug-Spindel-Lager-Systems für asymmetrisch bestückte Hartmetall-Wendeschneidplatten-Bohrwerkzeuge, Diss. Universität Stuttgart 1988.
- [2] Vierkomponenten-Dynamometer, Betriebs- und Serviceanleitung der Kistler Instrumente AG, Winterthur/Schweiz.
- [3] Eriskan, E.: Untersuchung des Zerspanverhaltens von Bohrwerkzeugen mit Hartmetall-Wendeschneidplatten, Hanser Verlag München, 1984.

Bereich, in dem der Richtungswinkel eine sehr geringe Abhängigkeit von den untersuchten Größen aufweist, während im oberen Bereich die Werte für die verschiedenen Kurven wieder sehr stark streuen.

Zusammenfassung

Diese ersten Versuche zeigen, daß die Größe der resultierenden Radialkraft in großen Bereichen durch die Parameter axialer Schneidversatz und Einstellwinkel bei quadratischen Wendeschneidplatten beeinflusst werden kann. Ein weiteres Versuchswerkzeug wird die Möglichkeit bieten, diese Parameter unabhängig voneinander zu untersuchen, so daß mit Ablauf des Forschungsprojektes mit konkreten Vorschlägen zur Gestaltung eines mit quadratischen HM-WP bestückten Bohrwerkzeuges für die Mehrspindel-



▲ Abb. 3: Mögliche Schneidankordnungen des Versuchswerkzeuges in bezug auf das Dynamometer-Koordinatensystem

▶ Abb. 4: Beeinflussung des Bohrungsdurchmessers und des axialen Schneidversatzes durch die Änderung der Einstellwinkel beim Versuchswerkzeug

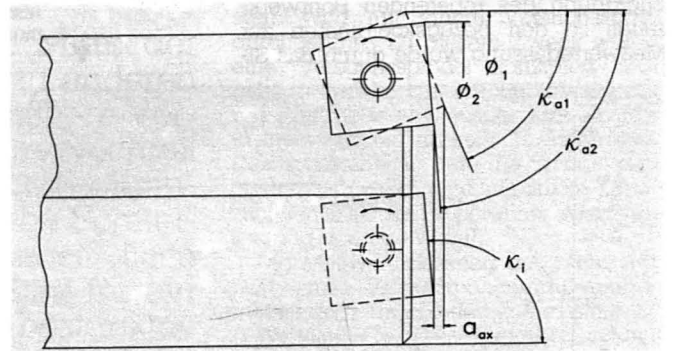


Abb. 5b: Richtungswinkel der resultierenden Radialkraft F_{res} über dem Einstellwinkel der Innenschneide für verschiedene Einstellwinkel der Außenschneide bei $v_c = 200$ m/min, $f = 0,08$ mm/U. Die Bohrungsdurchmesser variieren zwischen $25,5$ mm bis $26,5$ mm. (Bildnachweis: IfW, Stuttgart)

Abb. 5a: Resultierende Radialkraft F_{res} über dem Einstellwinkel der Innenschneide κ_i für verschiedene Einstellwinkel der Außenschneide κ_a

