



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Institut für
Fertigungstechnik und
Photonische Technologien



Diplomarbeit

Entwicklung einer Spindeleinheit für das schwingungsunterstützte Mikrotiefbohren

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieur unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Friedrich Bleicher

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

und

Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Habersohn

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

David Jaunecker BSc.

01425699 (066 482)

Römergasse 5/1/8

3253 Erlauf

Erlauf, im August 2021

David Jaunecker

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Erlauf, im August 2021

David Jaunecker

Danksagung

Im Zuge meiner Tätigkeit als studentischer Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik bekam ich die Möglichkeit meine Kollegen in der Arbeitsgruppe „*Technologie*“ in Projekten zu unterstützen. Dadurch beschäftigte ich mich intensiv mit dem schwingungsunterstützten Tiefbohr-Prozess und war überrascht von der Überlegenheit dieser Fertigungstechnologie.

In weiterer Folge ergab sich die Chance, mit einem Projektpartner, diese Technologie für den industriellen Einsatz nutzbar zu machen. Hier möchte ich mich bei der *Fa. Fronius GmbH* für die gute Zusammenarbeit und der Finanzierung dieser Prototyp-Entwicklung bedanken.

Weiters bin ich meinem Hauptbetreuer und Institutsleiter Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Friedrich Bleicher sehr zu Dank verpflichtet, da er mir diese Arbeit ermöglichte und durch seine Erfahrung und Verbesserungsvorschlägen zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

An weiterer Stelle möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Habersohn hervorheben, der mich von Beginn an bei dieser Abschlussarbeit betreute. Ich bedanke mich für die Unterstützung in allen technischen und konstruktiven Entscheidungen und dem mir entgegengebrachte Vertrauen.

Ebenso will ich Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Manuel Reiter danken, der mich mit seiner Expertise bei der Versuchsdurchführung und Auswertung tatkräftig unterstützte.

Natürlich will ich mich auch bei meiner Familie und im Besonderen bei meinen Eltern bedanken, die mich fortlaufend förderten und mir während der gesamten Studienzeit mit Rat zur Seite standen. Des Weiteren will ich auch meine Freundin Marlene hervorheben, die mir viel Geduld, Beistand und Verständnis während meiner Studienzeit schenkte. Danke dafür!

Kurzfassung

Die Zerspanungstechnik ist der wohl bedeutendste Bereich der Fertigungstechnik, speziell in den Branchen der Automobil- und Industrietechnik. Infolgedessen werden neue Technologien entwickelt, um den steigenden Anforderungen hinsichtlich Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Flexibilität gerecht zu werden.

Zur Herstellung von Tiefbohrungen ($l/d > 10$) werden üblicherweise Tiefbohrbänke verwendet. Durch den verbreiteten Einsatz von Bearbeitungszentren, welche die Herstellung komplexer Bauteile in wenigen Aufspannungen ermöglicht, finden auch Tiefbohr-Verfahren vermehrt Anwendung auf diesen [1]. Dabei wird überwiegend das Einlippentiefbohr-Verfahren angewendet. Bei der Herstellung von Tiefbohrungen kleiner Durchmesser können, bei schlecht zerspanbaren Werkstoffen, lediglich geringe Vorschubgeschwindigkeiten realisiert werden. Die Prozesse sind daher zeitaufwendig und nur bedingt wirtschaftlich nutzbar.

Durch eine zusätzlich eingebrachte Relativbewegung, in Form von Schwingungen des Werkzeuges oder des Werkstückes, kann die Prozessperformance erheblich gesteigert werden. Der industrielle Einsatz der schwingungsunterstützten Zerspanung befindet sich noch in einem wenig ausgereiften Stadium und wird zurzeit meist durch Sonderlösungen realisiert. Daher ist es von großer Bedeutung für Produktionsbetriebe und Maschinenhersteller, Konzepte für die Integration dieser Technologie zu entwickeln.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Schwingspindereinheit (SSE) entwickelt, die es ermöglicht „schwingungsunterstütztes Tiefbohren“ auf einem Bearbeitungszentrum zu betreiben. Durch die geeignete Auslegung einer SSE-BAZ-Schnittstelle und einer modularen Bauweise wird eine Standardlösung generiert, welche sich für weitere Anwendungen skalieren und transferieren lässt.

Dazu wurde zu Beginn die Technologie des Tiefbohrens und speziell des schwingungsunterstützten Bearbeitens untersucht. Darauf folgend wurde ein Konzept der Schwingspindereinheit entworfen und die Vor- und Nachteile einzelner Funktionsbausteine ausgearbeitet. Der Konzeptionierung folgte die Detailplanung in der die einzelnen Komponenten ausgelegt, ausgewählt und konstruktiv erstellt wurden. Die Einzelteile des Prototyps wurden gefertigt bzw. beschafft und anschließend assembliert. Die Funktionsfähigkeit der SSE wurde in Versuchen nachgewiesen und auch der Einfluss auf die Struktur der Basismaschine (BAZ) und das Schwingverhalten im Betriebszustand wurde untersucht.

Abstract

Machining technology is probably the most important area of manufacturing technology. Especially automotive and industrial branches are a driver for innovation in this field. As a result, new technologies are being developed to meet the increasing demands in terms of productivity, economy and flexibility.

For the production of deep holes ($l/d > 10$), special deep drilling workbenches are usually used. Due to the widespread use of machining centers (MCs), which enable the manufacturing of complex workpieces in a few clampings, efforts have been made to incorporate deep drilling processes on MCs. Therefore the single-lip deep drilling process is mainly used [1]. When producing deep holes of small diameters, only low feed rates can be realized for materials that are difficult to machine. Hence the processes are time-consuming and can only be used economically to a limited extent.

Through an additionally introduced relative movement, in form of vibrations of the tool or the workpiece, the process performance can be increased significantly. Lower tool wear and longer tool life compared to conventional methods are common benefits of vibration-assisted machining (VAM). However, the industrial application of VAM is still in a less developed state and relies mostly on special solutions. Therefore, it is of great importance for production companies and machine tool manufacturers to develop concepts for the integration of this technology.

In the present work, an oscillating spindle unit (OSU) is developed to enable "vibration-assisted deep hole drilling" on a MC. Through the appropriate, modular design of an OSU-MC interface, a standard solution is generated, which can be used for a variety of applications.

For this purpose, the technology of deep drilling and in particular, vibration-assisted machining was examined. Subsequently, a concept of the oscillating spindle unit was designed and the advantages and disadvantages of individual functional components were analysed. The concept was followed by detailed planning in which the individual components were designed, selected and constructed. The individual parts of the prototype were manufactured or purchased and then assembled. The function of this system was proven in tests and the effect on the structure of the basic machine (BAZ) and the vibration behavior in the operating mode was also examined.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Aufgabenstellung.....	9
1.1 Basismaschine (BAZ) [6].....	10
1.2 Anforderung an die Schwingspindeleinheit.....	10
2 Grundlagen des Tiefbohrens.....	13
2.1 Verfahren.....	13
2.1.1 Einlippentiefbohren (ELB-Verfahren).....	14
2.1.2 Wendeltiefbohren.....	16
2.2 Tiefbohren kleinster Durchmesser „Mikrobohren“.....	17
2.3 Schwingungsunterstütztes Tiefbohren.....	19
3 Ideenfindung und Konzeptionierung.....	24
3.1 Komponenten der Schwingspindeleinheit.....	24
3.2 Morphologischer Kasten.....	25
3.2.1 Werkzeug.....	25
3.2.2 Werkzeugführung.....	26
3.2.3 Axiale Lagerung.....	27
3.2.4 Schwingungserregung.....	28
3.3 Umgesetztes Konzept.....	30
3.4 Maschinenkommunikation.....	32
4 Detailplanung und Konstruktion.....	33
4.1 Aktorik.....	34
4.1.1 Grundlagen der Piezotechnik.....	34
4.1.2 Anforderungen.....	36
4.1.3 Berechnung erforderlicher Antriebskraft.....	38
4.1.4 Auswahl der Piezoelemente [47].....	41
4.1.5 Verstärker [48].....	42
4.2 Schwingeinheit.....	45
4.2.1 Hochfrequenzspindel.....	45
4.2.2 Klemmhülse.....	49
4.2.3 Lagerung und Membranauslegung.....	51

4.3	Maschinenanbindung	56
4.3.1	Montageplatte	57
4.3.2	Rahmen	58
4.4	Anbauelemente	59
5	Inbetriebnahme	61
5.1	Feinjustage	61
5.2	Einbau in die Basismaschine und Ausrichtung	63
6	Funktionstest und Versuche	65
6.1	Ansteuerung der Aktoren	65
6.2	Sensorik	67
6.2.1	Wirbelstromsensor	67
6.2.2	Beschleunigungssensor	68
6.3	Versuche zur Membranauswahl	69
6.3.1	Versuchsaufbau und Durchführung	69
6.3.2	Ergebnisbeurteilung und Membranauswahl	72
6.4	Versuche in der Basismaschine	75
6.4.1	Versuchsaufbau	75
6.4.2	Schwingungsmessung	76
6.4.3	Beschleunigungsmessung	77
7	Resümee	80
7.1	Erkenntnisse aus dem Produktionsbetrieb	80
7.2	Weiterentwicklung	81
7.2.1	Ausrichtungskonzept	81
7.2.2	Dichtungskonzept	82
7.2.3	weitere Optimierungsmöglichkeiten und Forschungsgebiete	83
8	Literatur	85
9	Abbildungsverzeichnis	90
10	Tabellenverzeichnis	92

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
3D	Dreidimensional
Al	Symbol für chemisches Element Aluminium
BAZ	Bearbeitungszentrum
bspw.	Beispielsweise
BTA	Boring and Trepanning Association
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Zirka
CAD	Computer aided design, aus dem Englischen für rechnerunterstütztes Konstruieren
(C)NC	(Computerized) numerical control, aus dem Englischen für rechnergestützte numerische Steuerung
Cr	Symbol für chemisches Element Chrom
Cu	Symbol für chemisches Element Kupfer
d. h.	das heißt
DI	Digital Input, aus dem Englischen für digitaler Eingang
DIN	Deutsches Institut für Normung
DO	Digital Output, aus dem Englischen für digitaler Ausgang
ELB	Einlippen(tief)bohr / Einlippen(tief)bohren
EN	Europäische Norm
et al.	et alii
etc.	et cetera
Fa.	Firma
FEM	Finite-Elemente-Methode
FFT	Fast Fourier Transform, aus dem Englischen für schnelle Fourier-Transformation
HSK	Hohlschaftkegel
IFT	Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien
IKZ	innere Kühlschmierstoffzufuhr
inkl.	Inklusive
ISO	International Organization for Standardization
KSS	Kühlschmierstoff
lt.	Laut
max.	Maximal
min.	Minimal
NBR	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk
O	Symbol für chemisches Element Sauerstoff
Pb	Symbol für chemisches Element Blei
Pb	Symbol für chemisches Element Blei
PC	Personal Computer
SK	Steilkegel
SSE	Schwingspindleinheit
SU	Schwingungsunterstützung
SUB	schwingungsunterstützte Bearbeitung

Ti	Symbol für chemisches Element Titan
TU	Technische Universität
usw.	und so weiter
VAM	Vibration assisted machining, aus dem Englischen für schwingungsunterstützte Bearbeitung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
(V)HM	(Voll)-Hartmetall
WB	Wendelbohrer
z. B.	zum Beispiel
Zn	Symbol für chemisches Element Zink
Zr	Symbol für chemisches Element Zirkon