

Titel

Entwicklung gedämpfter Werkzeugaufnahmen für lang auskragende rotierende Werkzeuge

IGF-Nr.: 18559 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung: Leibniz Universität Hannover, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)



Institut für Fertigungstechnik
und Werkzeugmaschinen

Ansprechpartner beim Institut:

M. Sc. Christian Teige
0511/ 762 18334
teige@ifw.uni-hannover.de

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 18559 N der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW), Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ausgangssituation

Bei der Zerspanung stellt die Werkzeugaufnahme als Schnittstelle zwischen Werkzeug und Spindel eine wesentliche Einflussgröße auf den Prozess dar. Insbesondere lang auskragende Werkzeuge, die beispielsweise beim Ausspindeln eingesetzt werden, haben einen signifikanten Einfluss auf die dynamischen Eigenschaften und auf die Prozessstabilität. Durch die hohe Auskraglänge des Werkzeughalter-Werkzeug-Systems und das hohe Länge-Durchmesser-Verhältnis wird die Steifigkeit reduziert, wodurch die Prozessinstabilität herabgesetzt wird. Die durch die Prozessinstabilität hervorgerufenen Schwingungen verursachen verstärkten Verschleiß oder Bruch des Werkzeugs bzw. der Aufnahme und führen im Rahmen des Schlichtprozesses zu einer unzureichenden Oberflächengüte. Der Einsatz solcher Aufnahmen ist jedoch erforderlich, wenn schwer zugängliche Stellen, tiefe Taschen oder Bohrungen zu fertigen sind.

Um das Auftreten instabiler Prozesse bei der Zerspanung mit langauskragenden Werkzeughalter zu vermeiden, können Prozessparameter, z.B. Vorschubgeschwindigkeit oder Drehzahl, verringert werden. Dabei werden jedoch das Zeitspanvolumen und die Produktivität reduziert. Das Auftreten unzulässiger Schwingungen kann ebenfalls durch den Einsatz von Dämpfern im Werkzeughalter verhindert werden. Bislang am Markt erhältliche Systeme zur Dämpfung lang auskragender Werkzeuge reduzieren Schwingung meist durch eingebrachte Tilger in Kombination mit dämpfenden Werkstoffen. Diese werden auch als Hilfsmassendämpfer bezeichnet [Hei13]. Bei dieser Art der Dämpfung wird die Schwingungsamplitude der kritischen Eigenfrequenz des Werkzeughalters durch die Wirkung einer Hilfsmasse gedämpft. Hierdurch entstehen allerdings zwei zusätzliche, benachbarte Resonanzen, die eine zusätzliche kritische Anregung des Werkzeugs hervorrufen können. Zudem wirkt der Hilfsmassendämpfer nur bei der Frequenz optimal, auf die er im Vorfeld eingestellt wurde. Dies hat zur Folge, dass dieser jeweils auf unterschiedliche Prozesse abgestimmt werden muss. Dadurch wird ein zusätzlicher Einrichtungsaufwand hervorgerufen. Bei einer Verstimmung des Systems, z. B. durch den Einsatz eines anderen Messerkopfs, verringert sich die Dämpfung [Den34].

Weiterhin existieren Werkzeughalter mit viskosen Dämpfern [Kre04, Bax01], die gegenüber ungedämpften Werkzeughaltern eine um bis zu 90 % geringere dynamische Nachgiebigkeit aufweisen. Viskose Dämpfer dissipieren Energie über die Verformung von dämpfenden Materialien. Die der Schwingung entgegenwirkende Dämpfungskraft ist dabei proportional zur Geschwindigkeit. Bei Konzepten mit viskosen Dämpfern wird die statische Nachgiebigkeit der Werkzeugeinspannung erhöht, um höhere Verformungen der viskosen Dämpfer zu realisieren. Eine erhöhte statische Nachgiebigkeit des Werkzeughalters führt zu einer höheren Werkzeugabdrängung und zu Maß- und Formfehlern.

Ein Ansatz zur Erhöhung der Dämpfung, ohne die genannten Nachteile von Hilfsmasendämpfern und viskosen Dämpfern, wird von Popp [Pop94] beschrieben. Dabei werden Reibleisten verwendet, um Schwingungen bei Turbinenschaufeln zu reduzieren. Tritt eine Verformung der Grundstruktur auf, kommt es zu einer Relativbewegung zwischen den Reibleisten und der Grundstruktur. In Kombination mit der Vorspannung wird durch die Relativverschiebung eine Reibarbeit realisiert, die wiederum eine Schwingungsdämpfung der Grundstruktur bewirkt. Durch den Einsatz von Reibleisten kann eine Dämpfung von $D > 0,1$ realisiert werden. Die Nachgiebigkeit der Struktur muss dabei nicht zusätzlich erhöht werden und die Dämpfung ist nicht nur auf eine Schwingungsmoden begrenzt. Die Anwendung dieses Prinzips auf Werkzeughalter für die Zerspanung ist bisher nicht erforscht und daher Gegenstand dieses Projekts. Daher wird nachfolgend das Potential reibgedämpfter Werkzeughalter am Beispiel eines Versuchsträgers erläutert.

Forschungsziel

Ziel des durchgeführten Forschungsvorhabens war es, eine neuartige Generation von Werkzeugaufnahmen auf Basis von Reibleistendämpfern zu entwickeln.

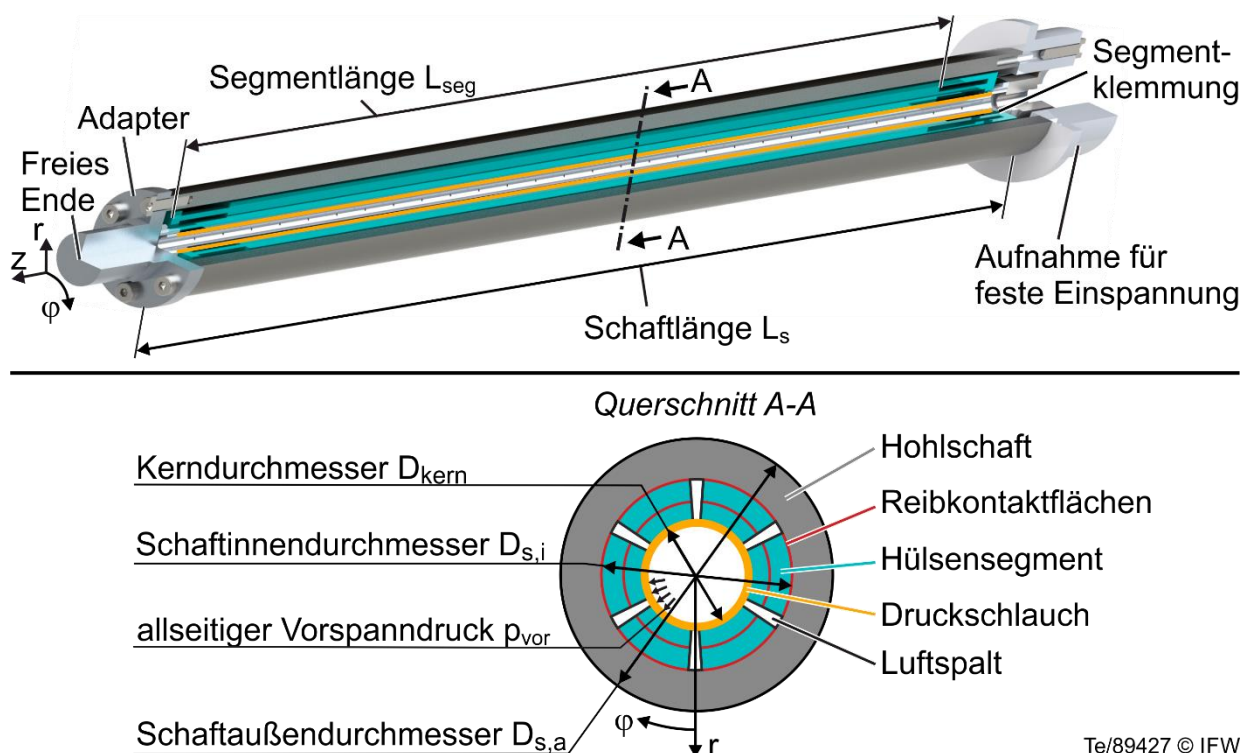
Anhand des übergeordneten Forschungszieles lassen sich zwei Zwischenzielstellungen für dieses Forschungsvorhaben ableiten. Das erste Zwischenziel war das Vorliegen eines Modells zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens reibgedämpfter Werkzeugaufnahmen. Anhand des Modells kann das Einsatzverhalten einer Vielzahl verschiedener Konfigurationen von reibgedämpften Werkzeughaltern abgeschätzt werden. Die unterschiedlichen Konfigurationen unterscheiden sich in der Geometrie des Werkzeughalters (Länge und Durchmesser) sowie der Anzahl und Anordnung von Reibleisten im Werkzeughalter. Mithilfe des Modells können optimale Parameterkonfigurationen der reibgedämpften Werkzeughalter erarbeitet werden. Dies bildet die Grundlage zur Umsetzung des zweiten Zwischenziels, der Entwicklung und Erprobung eines Demonstrators einer reibgedämpften Werkzeugaufnahme. Durch die Erprobung des Demonstrators wird der Nachweis über eine Erhöhung der Prozessstabilität erbracht. Die Ergebnisse wurden abschließend mit der Prozessstabilität von einem klassischen Werkzeug ohne Reibleisten im Werkzeughalter verglichen.

Umsetzung und Ergebnisse

Die Realisierung eines reibgedämpften Werkzeughalters erfolgte in drei Projektphasen. In der ersten Phase wurden zunächst erste Versuchsträger reibgedämpfter Werkzeugaufnahmen entwickelt. Die Versuchsträger wurden anschließend hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften in experimentellen Versuchen analysiert. In der zweiten Projektphase wurde ein analytisches Modell entwickelt, durch welches die Dämpfung von verschiedenen Konfigurationen reibgedämpfter Werkzeughalter bestimmt werden konnte. Das Modell wurde anhand der experimentellen Versuche aus der ersten Phase validiert. Mithilfe des validierten Modells wurde anschließend in der dritten Projektphase

eine reibgedämpfte Werkzeugaufnahme als Demonstrator entwickelt. Diese wurde in Zerspanversuchen analysiert. Durch die Zerspanuntersuchungen konnten Kenntnisse über die erreichbare Grenzschnitttiefe bei der Zerspanung von Aluminium und Stahl gewonnen werden. Die gewonnenen Kenntnisse ermöglichten die Bewertung der Steigerung der Prozessstabilität im Vergleich zu einem ungedämpften Referenzwerkzeughalter.

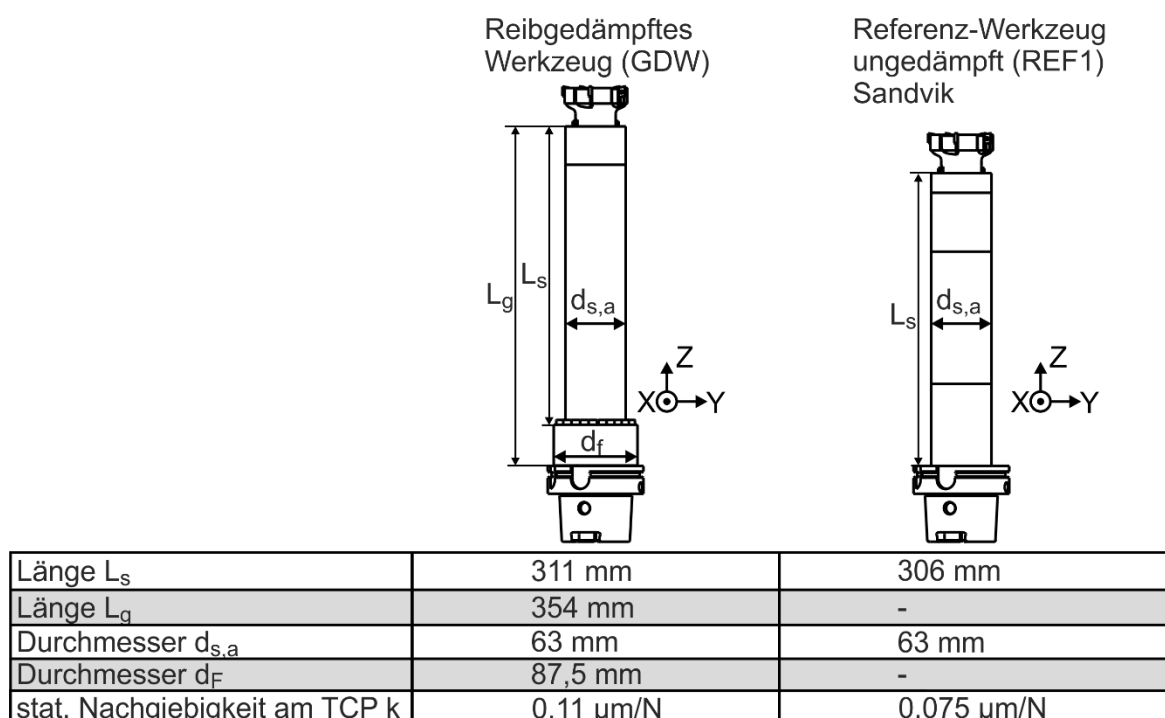
Die erste Projektphase des Forschungsvorhabens diente der Erarbeitung von Kenntnissen über das dynamische Verhalten von reibgedämpften Werkzeugaufnahmen. Hierfür wurde zunächst ein einfach aufgebauter Versuchsträger entwickelt. Der prinzipielle Aufbau dieser Versuchsträger ist in Bild 1 dargestellt. Es wurden acht Konfigurationen dieses Versuchsträgers erarbeitet. Diese unterscheiden sich in der Anzahl der Reibsegmente, der Segmentlänge sowie des Schaftinnendurchmessers. Die acht Versuchsträger wurden gefertigt und experimentellen Untersuchungen unterzogen. Durch die Versuche konnte die dynamischen Nachgiebigkeiten jeder Konfiguration am freien Ende des Versuchsträger in radialer Richtung ermittelt werden. Die ermittelten Daten bildeten die Grundlage für die Validierung des zu erarbeitenden Modells und dienten somit der Erfüllung des ersten Zwischenzieles. Die Ermittlung der dynamischen Steifigkeit am freien Ende der einfach aufgebauten Versuchsträger erfolgte mithilfe experimenteller Modalanalysen. Hierbei wurde am freien Ende der Versuchsträger ein Beschleunigungssensor montiert und der Versuchsträger über einen Modalhammerimpuls in der Nähe des Sensors zu Schwingungen angeregt. Aus der Schwingantwort konnten die Nachgiebigkeitsfrequenzgänge der Versuchsträger ermittelt werden. Auf Basis der Nachgiebigkeitsfrequenzgänge wurde die Dämpfung der acht Versuchsträger als Ergebnis der ersten Projektphase ermittelt. Die detaillierte Beschreibung der Untersuchungsergebnisse kann [Den17] entnommen werden.



Te/89427 © IFW

Bild 1: Aufbau der Versuchsträger reibgedämpfter Werkzeughalter

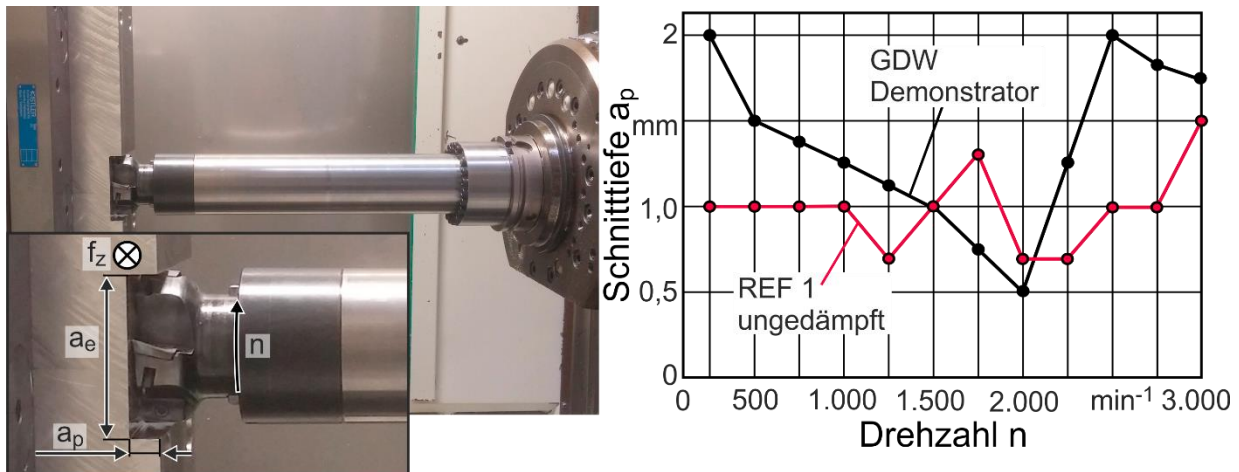
In der zweiten Projektphase wurde ein Modell zur Berechnung der Dämpfung variabler Versuchsträgerkonfigurationen erarbeitet. Das Modell basiert auf dem Ansatz von Popp [Pop94] und wurde um die variable Anordnung der Segmente erweitert. Am Ende der zweiten Phase lag ein Modell als Ergebnis vor, mit dessen Hilfe die Nachgiebigkeitsfrequenzgänge verschiedener reibgedämpfter Versuchsträger berechnet werden können. Die detaillierte Herleitung und Validierung des Modells kann [Den18] entnommen werden. Das erarbeitete Modell wurde angewendet, um die Nachgiebigkeitsfrequenzgänge der acht Versuchsträger zu berechnen. Die berechneten Nachgiebigkeitsfrequenzgänge wurden anschließend mit den in der ersten Projektphase gemessenen Nachgiebigkeitsfrequenzgängen verglichen. Die Ergebnisse in [Den18] zeigen, dass die berechneten und die gemessenen Nachgiebigkeitsfrequenzgänge in guter Näherung übereinstimmen. Der maximale Fehler zwischen berechneter und gemessener dynamischer Nachgiebigkeit bei allen acht Versuchsträgern beträgt 17 %. Die Untersuchungen zeigten somit, dass das entwickelte Modell geeignet ist, die dynamische Nachgiebigkeit von Versuchsträgern in guter Näherung vorherzusagen. Damit ist das erste Zwischenziel erreicht worden. In der abschließenden dritten Projektphase wurde auf Basis des entwickelten Modells ein Demonstrator mit hoher Dämpfung entwickelt und gefertigt. Dieser wurde in Fräsversuchen experimentell untersucht. Dieser Versuchsträger wurde in einer Werkzeugmaschine (Heller H5000) integriert. Es wurden Vollnuten in Aluminium (AlZnMgCu1,5) und Stahl (16MnCr5) mit variabler Schnittgeschwindigkeit und Schnitttiefe gefräst, um die erreichbaren Grenzschnitttiefen zu ermitteln. Die Versuche wurden mit einem Referenzwerkzeug der Fa. Sandvik Tooling Deutschland GmbH wiederholt. Hierbei kam ein Werkzeughalter mit ungedämpftem Schaft (C6-391.01-63 100A) zum Einsatz. Die Parameter der eingesetzten Werkzeuge sind in Bild 2 dargestellt.



Te/89477 © IFW

Bild 2: Parameter der in den Zerspanversuchen eingesetzten Werkzeuge

Die eingesetzten Werkzeuge verfügen über einen Schaft sowie Eckfräser mit dem Durchmesser $D_1 = 63$ mm. Die Auskraglänge des Schafts beträgt beim Werkzeug GDW $L_s = 311$ mm. Die Auskraglänge des Werkzeugs REF1 ist mit $L_s = 306$ mm geringfügig kleiner. Die Wahl der Länge L_s und Durchmesser D_1 ermöglicht eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse, die in Rahmen der Zerspanversuche mit den einzelnen Werkzeugen gewonnen werden.



Parameter

Zahnvorschub	$f_z = 0,15$ mm	Werkzeug	: Eckfräser
Eingrißbreite	$a_e = 63$ mm	Werkstück-Werkstoff	: AlZnMgCu1,5
Schnitttiefe	$a_p = 0,25 - 2,00$ mm	Werkzeughalter	: GDW
Werkzeugdurchmesser	$d_w = 63$ mm		REF 1
Drehzahlbereich	$n = 0 - 3.000$ min ⁻¹		
Zähnezahl	$z = 5$		

Te/89487 © IFW

Bild 3: Stabilitätskarte bei der Zerspanung von Aluminium

Die Ergebnisse der ermittelten Grenzschnitttiefen beim Vollnutenfräsen von Aluminium sind im Bild 3 dargestellt. Anhand der experimentellen Zerspanuntersuchungen zeigte sich, dass im Vergleich zu einem ungedämpften Werkzeughalter mit 50 % höherer Steifigkeit am TCP, eine breitbandige Erhöhung der maximalen Grenzschnitttiefe resultiert. Die maximale Erhöhung der Grenzschnitttiefe beträgt 100 % bei der Drehzahl $n = 2.500$ min⁻¹ im Vergleich zum Werkzeug ohne Dämpfung. Im Drehzahlbereich zwischen $n = 1.500 - 2.000$ min⁻¹ konnte das Referenzwerkzeug eine höhere Grenzschnitttiefe erzielen. In diesem Drehzahlbereich tritt beim Demonstrator ein Minimum der Grenzschnitttiefe auf. Dies lässt sich auf eine verstärkte Modulation der Spannungsdicke zurückführen, die durch die dynamische Nachgiebigkeit des Demonstrators und der verwendeten Prozessparameter hervorgerufen wird. Aufgrund der Spannungsdickenmodulation neigt der Prozess zu Instabilitäten, wodurch die Grenzschnitttiefe herabgesetzt wird [Wec06]. Aufgrund der höheren statischen Steifigkeit und der damit einhergehenden höheren Eigenfrequenz weist der Referenzwerkzeughalter ein abweichendes Verhalten im Verlauf der Grenzschnitttiefe auf. Den Ergebnissen der Versuche kann entnommen werden, dass sich reibgedämpfte Werkzeughalter grundsätzlich für den Einsatz in rotierenden Werkzeughaltern eignen. Darüber hinaus ist aufgrund des einfachen Aufbaus und des breitbandigen Dämpfungsvermögens eine kostengünstige und flexiblere Anwendung eines solchen Werkzeughalters möglich.

Zusammenfassung

Im Projekt wurde ein Modell zur Berechnung der Nachgiebigkeitsfrequenzgänge reibgedämpfter Werkzeughalter entwickelt. Dieses konnte mithilfe von experimentellen Versuchen von reibgedämpften Versuchsträgern validiert werden. Durch das erarbeitete Modell können nun reibgedämpfte Werkzeughalter ohne aufwendige Simulations-Software ausgelegt werden. Das Modell wurde verwendet, um ein Demonstrator-Werkzeughalter zu entwickeln, der über eine hohe Dämpfung und damit über eine geringe dynamische Nachgiebigkeit verfügt. Aufgrund der hohen Dämpfung des Demonstrators, die durch die Reibleisten hervorgerufen wird, konnte die Grenzschnitttiefe im Vergleich zu ungedämpften Referenzwerkzeughaltern trotz geringerer statischer Steifigkeit erhöht werden. Das Hauptziel wurden erreicht.

Der wirtschaftliche Nutzen des Forschungsvorhabens ergibt sich primär für Endanwender und Werkzeughersteller. Endanwendern ermöglicht der Einsatz des reibgedämpften Werkzeughalters den Einsatz von Werkzeugen mit größeren L/D-Verhältnissen, die für ein breites Spektrum an Zerspanoperationen zur Verfügung stehen. Dies führt zu einer Steigerung der Produktivität beim Fertigen komplexer Konturen und tiefer Kavitäten. Werkzeughersteller können die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse über das Dämpfungsverhalten in die Entwicklung neuer und in die Optimierung vorhandener Werkzeuge einfließen lassen. Das anhand des Modells generierte Wissen kann die Entwicklung und Validierung neuer Werkzeugaufnahmen unterstützen und zu deren Auslegung beitragen.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten. Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Christian Teige unter 0511 / 762 18334.

Literatur

- [Bax01] Baxivanelis, K.; Rothenstein, A.: Vorrichtung zur Kupplung zweier Werkzeugteile, Patent, WO002001057410A1, 2001
- [Den17] Denkena, B., Bergmann, B., Teige, C.: Reibgedämpfter Werkzeughalter, VDI-Z, 159, 12, 2017 S. 60-62
- [Den18] Denkena, B., Bergmann, B., Teige, C.: Frictionally damped tool holder for long projecting cutting tools, Production Engineering, Ausgabe 12, 2018, S. 715-722

- [Den34] Den Hartog, J. P.: Mechanical Vibrations, McGraw-Hill Book Company, New York, London, 1934
- [Hei13] Heisel, U.; et al.: Gedämpfte Bohrstangen steigern die Bearbeitungsqualität, Maschinenmarkt, Ausgabe 49, 2013, S. 26 – 28
- [Kre04] Krell, M: Auslegung und Einsatz einer dämpfend wirkenden Werkzeugaufnahme für lang auskragende Werkzeuge, Dr.-Ing. Dissertation, RWTH Aachen, 2004
- [Pop94] Popp, K.: Nichtlineare Schwingungen mechanischer Strukturen mit Füge- oder Kontaktstellen, Journal of Applied Mathematics and Mechanics, Ausgabe 74, 1994, S. 147 – 165
- [Wec06] Weck, M.; Brecher, C.: Werkzeugmaschinen 5, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006