



Arbeitsblatt

Leistungssteigerung beim Bohren von schwer zerspanbaren Werkstoffen durch kinematisch erzwungenen Spanbruch

AiF-Nr.:
19473 N/1

Obmann:
Dr.-Ing. Michael Wittmann

beteiligte Unternehmen

Blaser Swissslube, Brötje Automation GmbH, Gesau Werkzeuge, HPM, Ceratizit (ehem. Klenk), Keba (ehem. LTI), Johannes Lübbering GmbH, Machining Innovations Network e.V., Oemeta Chemische Werke GmbH, Präwest Präzisionswerkstätten, Premium Aerotec GmbH, turboMech GmbH & Co.KG

Laufzeit:
01.04.2017-31.03.2020

Erstelldatum:
25.09.2020

Forschungsstelle:

Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT

Projektleiter:
Dr.-Ing. Jens Sölter

Sachbearbeiter:
M.Sc. Tebbe Paulsen

Forschungsvereinigung:
AWT

Projektbegleitender Fachausschuss
Fachausschuss 18 - Werkstofforientierte Fertigung

Zielsetzung und Lösungsweg

Die Vielzahl der möglichen Schnittparameterkombinationen und die daraus resultierenden Span(ungs)formen sowie der Einfluss weiterer Randbedingungen, wie der internen Schmierung, erschweren eine einfache Auswahl der Prozessparameter beim vibrationsunterstützten Bohren erheblich. Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war es daher, bisher nicht untersuchte Parameterbereiche, mit besonderem Fokus auf die spezifische Schwingfrequenz, auf die berechnete und resultierende Span(ungs)geometrie, die Spanabfuhrqualität und das Arbeitsergebnis zu untersuchen. Somit sollten geeignete und im industriellen Einsatz wirtschaftliche Parameterkombinationen für diesen Prozess ermittelt und ein tiefgehendes Verständnis für die Spanentstehung und Spanabfuhrmechanismen entwickelt werden.

Zu diesem Zweck wurde ein bestehendes 3-Achs-Bearbeitungszentrum auf eine magnetgelagerte Spindel umgerüstet, welche die drehzahlunabhängige Änderung der Schwingfrequenz und der Schwingungsamplitude ermöglicht. Darüber hinaus ermöglicht dieses System Abweichungen von der üblicherweise eingesetzten, reinen Sinusform der Schwingung.

Mithilfe dieser magnetgelagerten Spindel wurden umfangreiche Untersuchungen zu variierten spezifi-

schen Schwingfrequenzen und variierten Schwingungsamplituden durchgeführt. Darüber hinaus wurden Schwingungsmodulationen der üblichen Sinusschwingung auf ihre Einflüsse auf den Vorschubkraftverlauf im Prozess untersucht. Die Untersuchung von Randbedingen, wie die Wahl passender Schmierstoffe und der Einfluss des CFK-Anteils auf den Werkzeugverschleiß bei der Bearbeitung von CFK-Metall-Schichtverbunden, tragen ebenso zu einem besseren Verständnis des Prozesses und zu einer erleichterten Anwendung im industriellen Einsatz bei.

Ergebnisse

Gezielte Ermittlung geeigneter Schnittparameter beim Vibrationsbohren

Im ersten Arbeitspaket sollten geeignete Schnittparameter für den vibrationsunterstützten Bohrprozess ermittelt werden. Zu diesem Zweck wurden umfangreiche Untersuchungen mit variierten spezifischen Schwingfrequenzen durchgeführt. Um auf Grundlage mathematischer Berechnungen Spanungsgeometrien ermitteln und mit realen Spangeometrien vergleichen zu können, wurde ein komplexes Matlab-Modell entwickelt. In Bild 1 ist beispielhaft der Vergleich des gemessenen Spangradmaßes mit dem berechneten Spanungsgradmaß zu sehen. Darüber hinaus ist eine Bewertung der mit der spezifischen Frequenz verknüpften Spanabfuhrqualität in Form eines eigens entwickelten Spanabfuhrqualitäts-Indexes (c_r -Index) zu sehen.

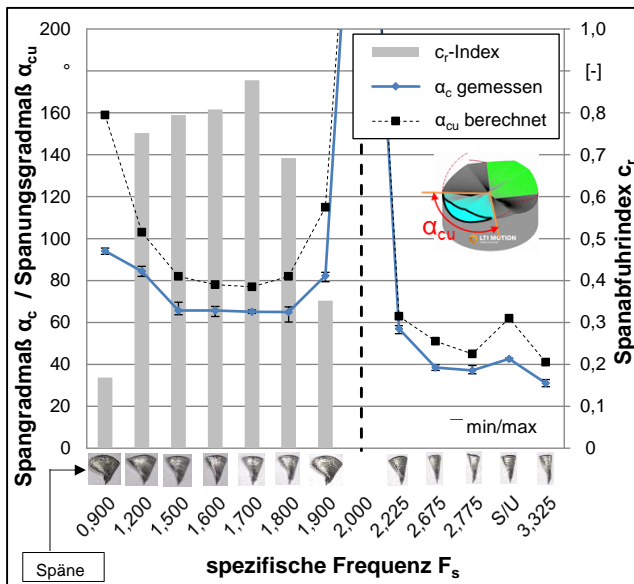


Bild 1: Vergleich berechnetes Spanungsgradmaß mit realem Spangradmaß mit $f = 0,05 \text{ mm}$

Untersuchungen zu geeigneten Schwingungsamplituden beschäftigten sich mit den resultierenden Spangeometrien, der Spanabfuhrqualität und den Verläufen der Axialkraft im Prozess. Bild 2 zeigt den Vorschubkraftverlauf und resultierende Späne von Prozessen mit und ohne unterbrochenen Schnitt bei verschiedenen Schwingungsamplituden A .

Für eine prozesssichere Spanabfuhr ist ein unterbrochener Schnitt unabdingbar.

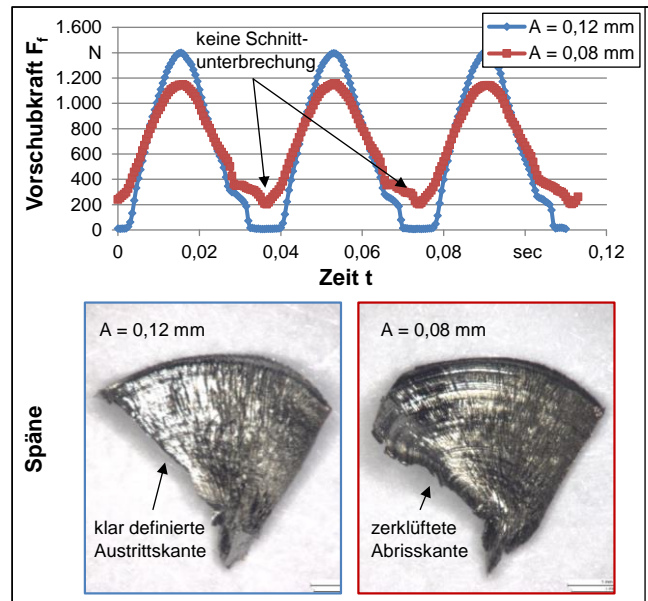


Bild 2: Vorschubkraftverlauf mit und ohne unterbrochenen Schnitt

Es zeigt sich jedoch auch, dass das resultierende Spangradmaß, aufgrund der unterschiedlich starken Spanstauchung, von dem zerspannten Werkstoff abhängig ist und geeignete Schwingungsamplituden daher neben dem Vorschub auch von dem zu zerspannenden Werkstoff abhängen (Bild 3).

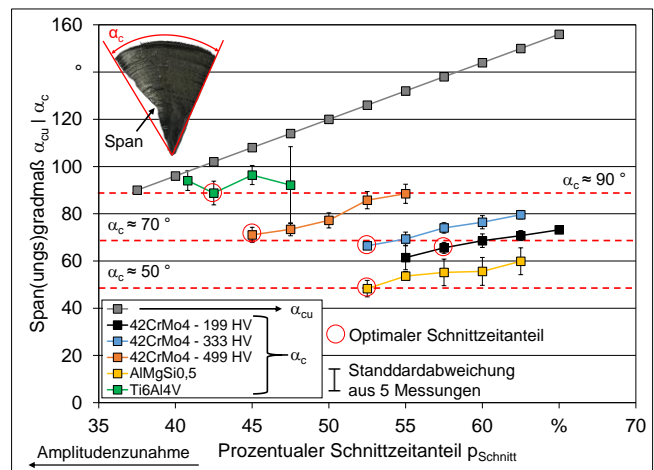


Bild 3: Spanungsgradmaß α_{cu} und Spangradmaß α_c nach der Bearbeitung von 42CrMo4, Ti6Al4V und AlMgSi0,5 bei einem Vorschub von $f = 0,1 \text{ mm}$ und variierenden prozentualen Schnittzeitanteilen p_{Schnitt}

Neben der Spanstauchung spielt auch die Adhäsionsneigung der Werkstoffe eine erhebliche Rolle. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse konnten für unterschiedliche Werkstoffeigenschaften, abhängig vom eingesetzten Vorschub, Empfehlungen für geeignete Schwingungsamplituden ermittelt werden (Bild 4).

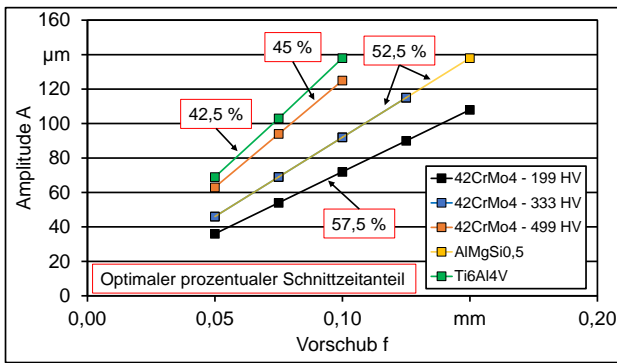


Bild 4: Empfehlungen für geeignete Schwingungsamplituden

Modifikation der Sinusschwingung

Auf Grundlage der Erkenntnisse konnten geeignete Modifikationen / Modulationen der üblicherweise eingesetzten Sinuskurve auf Einflüsse auf den Vorschubkraftverlauf untersucht werden. Dabei konnte eine signifikante Reduzierung der maximalen Vorschubkraft bei zugleich kürzerer Eingriffszeit und somit kleineren Spangradmaßen erreicht werden (Bild 5).

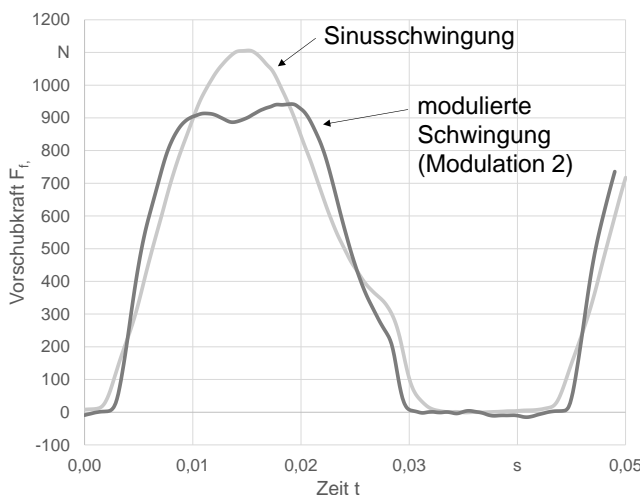


Bild 5: Vorschubkraftverlauf mit und ohne Modulation der Sinusschwingung

Einfluss der Werkzeuggeometrie und der Schmierstoff-Zusammensetzung auf den Bohrprozess

In diesen Arbeitspaketen wurde der Einfluss der Werkzeuggeometrie auf die gewonnenen Erkenntnisse hin untersucht. Insbesondere die Spanabfuhrqualität und die erzeugten Vorschubkräfte können über Geometrievariationen stark negativ bzw. positiv beeinflusst werden. Eine Rolle spielen hier vor allem der Freiwinkel und das Nut-Rücken-Verhältnis der eingesetzten Bohrwerkzeuge.

Bei Verwendung unterschiedlicher Schmierstoffarten hat sich gezeigt, dass für den vibrationsunterstützten Bohrprozess in erster Linie die Schmierwirkung des Schmierstoffs von Bedeutung ist. Wasserbasierte Schmierstoffe zeigten im Rahmen der Untersuchungen nicht ausreichend Schmierleistung, um die Zu-

setzung der Spannuten und somit starke Spanneinwirkung effektiv zu vermeiden.

Einfluss der CFK-Schichtdicke auf die Werkzeugverschleißentwicklung

Aufgrund der abrasiv wirkenden Fasern im CFK, kommt es in der Zerspaltung zu fortschreitender Schneidkantenverrundung, welche sich bei der Zerspaltung von CFK-Metall Schichtverbunden insbesondere negativ auf die Spanabfuhrqualität und die Gratentstehung am Bohrungsaustritt auswirken.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse lässt sich der Werkzeugverschleiß bei der Bearbeitung von Schichtverbunden mit unterschiedlichem CFK-Anteil abschätzen.

Richtlinien und Empfehlungen für das Bohren von schwer zerspanbaren Werkstoffen mit kinematisch erzwungenem Spanbruch

Zum Abschluss wurden die gewonnenen Erkenntnisse in Form von Richtlinien für eine prozesssichere Anwendung des vibrationsunterstützten Bohrprozesses zusammengefasst, welche die industrielle Anwendung erheblich vereinfachen können. Die wichtigsten Erkenntnisse zur Wahl geeigneter Schwingparameter können der folgenden Zusammenfassung entnommen werden.

Zusammenfassung

Die Vielzahl der möglichen Schnittparameterkombinationen und die daraus resultierenden Span(ungs)formen sowie der Einfluss weiterer Randbedingungen, wie der internen Schmierung, erschweren eine einfache Auswahl der Prozessparameter beim vibrationsunterstützten Bohren erheblich.

Die vorliegende Ergebnislage ermöglicht sowohl für Anwender von mechanischen Systemen zur Schwingungserzeugung (feste spezifische Frequenz) als auch von magnetgelagerten Spindeln (variable spezifische Frequenz) eine vergleichsweise einfache und individuelle Wahl von Stellgrößen in Abhängigkeit des zu zerspanenden Werkstoffes. Für die Schnittgeschwindigkeit und den Vorschub können werkstoffabhängig gängige Stellgrößen für das konventionelle Bohren gewählt werden. Bei der Wahl geeigneter spezifischer Frequenzen hat sich gezeigt, dass gängige Werte von 1,5 oder 2,5 Schwingungen pro Werkzeugumdrehung geeignet sind. Optimale Schwingungsamplituden sind in erster Linie von dem verwendeten Vorschub und dem zu zerspanenden Werkstoff abhängig. Je nach Randbedingungen und verwendetem Werkzeug können jedoch Anpassungen notwendig sein. Die ermittelten Werte für die untersuchten Werkstoffe lassen sich Bild 6 entnehmen.

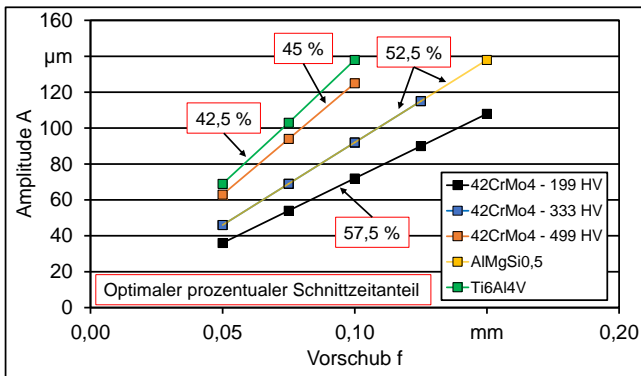


Bild 6: Optimale Schwingungsamplituden für unterschiedliche Werkstoffe und Vorschübe

Die Ergebnislage schafft ein tiefergehendes Verständnis für die Entstehung der aus dem Berechnungsmodell ermittelten Spannungsgeometrien und der aus dem Bohrprozess resultierenden Spangeometrien, Spanabfuhrqualitäten und Arbeitsergebnisse.

Neben dem erlangten tiefergehendem Prozessverständnis erleichtert dies die industrielle Anwendung vibrationsunterstützter Bohrprozesse erheblich, insbesondere für KMU, deren Kapazitäten zur Auslegung dieses innovativen, jedoch auch vergleichsweise komplexen Verfahrens in der Regel stark begrenzt sind.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben Nr. 19473 N/1 der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Es wurde vom Fachausschuss 18 (Werkstofforientierte Fertigung) der AWT betreut.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kontakt:

Dr.-Ing. Jens Sölter
Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT
Hauptabteilung Fertigungstechnik
Badgasteinerstr. 3
28359 Bremen
Tel.: +49-421-218-51187
Fax: +49-421-218-51102
e-mail: soelter@iwt.uni-bremen.de