

Höhere Zerspanleistungen durch geklebte Bearbeitungswerkzeuge

Mit Hilfe der Klebtechnik kann die Leistungsfähigkeit von Werkzeugen für die zerspanende Bearbeitung stark erhöht werden, da geklebte Werkzeuge bessere Dämpfungseigenschaften als Verbindungen mit herkömmlichem Lot besitzen. Darüber hinaus ist es möglich, das Einsatzverhalten der Werkzeuge durch Gestalt und Material der Klebung zu optimieren. Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde nun rechnerisch und experimentell nachgewiesen, dass die Verbesserung der Werkstoffeigenschaften vornehmlich von der sogenannten „Klebfugendämpfung“ abhängt.

Bernhard Schneider, Martin Rütters, Jakob Alder

Einleitung

Zur Herstellung von Hochleistungswerkzeugen werden Schneidkantensegmente auf ein Trägerwerkzeug aus Werkzeugstahl oder Hartmetall (WC) gelötet. Dabei kommen für die Schneidkantensegmente häufig Hartmetall und polykristalliner Diamant (PKD) zum Zerspanen von abrasiven Materialien oder kubisches Bornitrid (pCBN) für die Hartbearbeitung zum Einsatz.

Die Leistungsfähigkeit eines Werkzeugs für zerspanende Prozesse wird durch die

maximal mögliche Zerspanrate, die erreichte Werkstückqualität und den Werkzeugverschleiß bestimmt. Im Einsatz wird die Leistungsfähigkeit der Werkzeuge maßgeblich durch eigen- oder fremd-erregte Schwingungen begrenzt. Eine Dämpfung dieser Schwingungen ist daher von besonderem wirtschaftlichem Interesse für die zerspanende Bearbeitung in der Industrie.

Beim Einsatz der Klebtechnik als Fügeverfahren anstelle des üblichen Lötens kann ein besseres Dämpfungsverhalten von Werkzeugen unter anderem durch die spe-

zifischen Materialeigenschaften des Klebstoffes erreicht werden. Hinweise auf eine verbesserte Dämpfung konnten bereits beim Einsatz geklebter Werkzeuge für das Trennschleifen von Granit erhalten werden [1]. Die Dämpfung durch die Klebfuge besitzt gegenüber anderen Dämpfungsmaßnahmen im Bearbeitungssystem den Vorteil, dass sie direkt an der Quelle der Schwingungserregung ansetzt und damit besonders effektiv wirkt. Außerdem ergeben sich durch den Einsatz des Klebens Vorteile im Hinblick auf niedrige Prozess-temperaturen beim Fügen und eine gute Automatisierbarkeit.

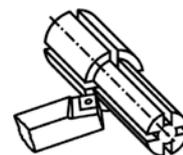
Für die erfolgreiche Einführung der Klebtechnik in die industrielle Fertigung von Hochleistungswerkzeugen muss die Prozesskette zur Herstellung von Zerspanwerkzeugen auf die Klebtechnik angepasst werden. Dazu ist eine deutliche Erweiterung des bislang noch geringen Prozesswissens notwendig [2]. Daher bestand das Ziel dieses Forschungsprojekts darin, die Prozesskette für das Werkzeugkleben näher zu betrachten und deutlich zu verbessern (Infokasten 1). Die Projektergebnisse sind in einem Leitfaden zusammenge-

Infokasten 1

Themen des AiF-Projekts 19559N „Fugendämpfung“

- I. Ermittlung der Anforderungen an die Klebung in Analogieprozessen
- II. Impulshammerversuche – Grundlage für die Optimierung der Fugendämpfung
- III. Klebgerechte Gestaltung von Zerspanwerkzeugen
- IV. Verbesserung der Fugendämpfung der Zerspanwerkzeuge
- V. Prozesskettenanalyse und Entwicklung einer klebtechnischen Fertigung
- VI. Anwendung auf die klebtechnische Herstellung von fünf realen Werkzeugen

Industrieller Trennprozess	Analogieprozess
(1) HPC Fräsen von Al7075 mit PKD	Außenlängsdrehen im unterbrochenen Schnitt mit PKD
(2) Hartdrehen von 100Cr6 mit PcBN	Wie realer Prozess im unterbrochenen Schnitt
(3) Trennsägen von Al7075 mit HM	Orthogonal Einstechdrehen im unterbrochenen Schnitt



Wo/93108 © IFW

© IFW

Tabelle 1 > Industrielle Trenn- und Analogieprozesse zur Ermittlung der Festigkeits- und Temperaturniveaus der Fügeverbindung

fasst, der als Teil des Abschlussberichts zur Verfügung steht [3].

Klebstoffauswahl

Basis für die Klebstoffauswahl sind die Temperatur- und Kraftniveaus, die von der Klebverbindung zu ertragen sein müssen. Nach der Auswahl repräsentativer industrieller Trennprozesse wurden diese Niveaus in Analogieversuchen ermittelt, in denen der industrielle Trennprozess mit rotierendem Werkzeug durch ein Drehen im unterbrochenen Schnitt ersetzt wurde. Da das Werkzeug dabei ruht, kann die messtechnische Instrumentierung leichter vorgenommen werden. Die entsprechenden ausgewählten Prozesse sind in *Tabelle 1* aufgeführt. Auf Basis der hierbei ermittelten Kräfte und Temperaturen wurden 9 Klebstoffe für die Klebstoffqualifizierung ausgewählt. Zur Qualifikation der vorausgewählten Klebstoffe wurden dynamisch-mechanische Analysen, Shorehärte-Prüfungen, thermogravimetrische Untersuchungen sowie Abscherversuche vor und nach Auslagerung in Kühlschmierstoff vorgenommen. Die Auslagerung erfolgte dabei über 24 Stunden bei 60 °C in dem Kühlschmierstoff Vasco 6000 (Verdünnung 1:10). Die Ergebnisse der Druckscherprüfungen an Klebungen von Hartmetallsegmenten auf Werkzeugstahl vor und nach der Auslagerung sind in *Bild 1* aufgeführt. Die Materialpaarung Hartmetall-Werkzeugstahl deckt alle im Projekt eingesetzten Schneidsegmenttypen ab, da auch PKD- und PcBN-Schneiden unterseitig Hartmetall besitzen.

Für die hochfesten Klebstoffe wurden Verbundfestigkeiten von bis zu 30 MPa erzielt, die sich für den Klebstoff 1 in späteren Versuchen durch geeignete Oberflächenbehandlungen noch auf 50 MPa bei zusätzlich erniedrigter Messwertstreuung steigern ließen. Die Klebstoffe 2 und 5 zeigten ein spröderes Bruchverhalten als Klebstoff 1 und niedrigere Festigkeiten. Die Klebstoffe

8 bis 11 waren für eine große Variation des E-Moduls in den Versuchen bewusst niedermodulig ausgewählt worden und wiesen erwartungsgemäß niedrigere Druckscherfestigkeiten auf. Je nach den für den Versuch notwendigen Materialeigenschaften wurden mit den Klebstoffen 1 (Epoxidharz DELO AD 289), 5 (Bismaleimid Polymeric PX300) und 10 (Polyurethan Sikaforce 7720) entsprechende Probekörper bzw. Werkzeuge gefertigt.

Impulshammerversuche – Grundlage für die Optimierung der Fugendämpfung

Ein wesentliches Ziel des Projektes bestand darin, die Dämpfungseigenschaften von geklebten Bearbeitungswerkzeugen auf Grundlage von Finite-Elemente-Berechnungen zu optimieren. Hierfür ist die Kenntnis der modalen Parameter notwendig, die mithilfe von Impulshammerversuchen experimentell bestimmt wurden.

In schwingenden Systemen hat jedes einzelne Element Einfluss auf das Schwingverhalten des Gesamtsystems. Bei klebtechnisch gefügten Bearbeitungswerkzeugen ist demnach auch die Klebschicht ein Element des Systems, mit dem auf die Schwingungseigenschaften des Gesamtsystems – bestehend aus Werkzeugmaschine, Werkzeug und Werkstück – Einfluss genommen werden kann.

Um Aussagen über den Zusammenhang von Klebfugeneigenschaften und Schwingungsverhalten zu erhalten, wurden die modalen Parameter Masse (**M**), Dämpfung (**D**) und Steifigkeit (**K**) (Gleichung 1 im Infokasten 2) von Versuchskörpern über Impulshammerversuche bestimmt (*Bild 2*). Die Versuchskörper bestanden aus einem quaderförmigen Träger, auf den Schneidkantensegmente geklebt wurden. Auf der den Segmenten gegenüberliegenden Seite wurde der eingespannte Halter durch einen Impulshammer angeregt. Das Schwingungsverhalten wurde am Segment mit Hilfe eines

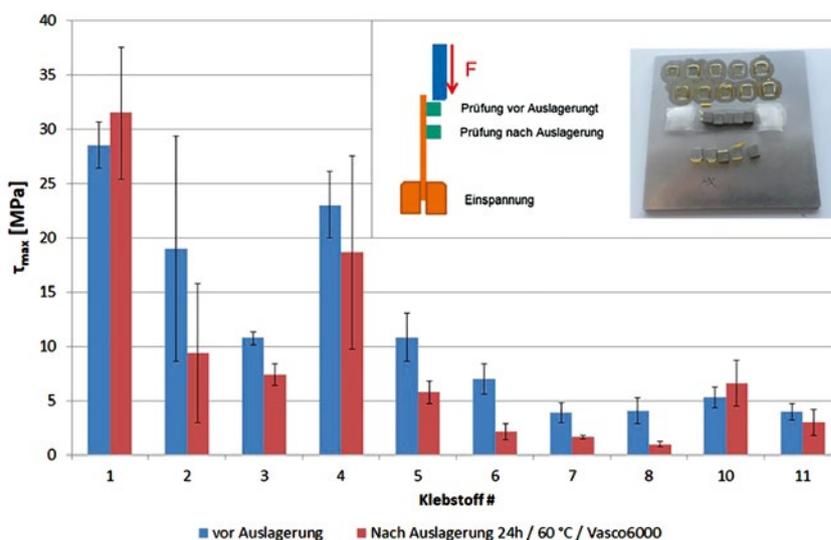


Bild 1 > Ergebnisse der Druckscherprüfungen bei Prüftemperatur 80 °C mit schematischer Darstellung der Druckscherprüfung zwischen Hartmetallsegment und Werkzeugstahl

© IFAM / IFW

Infokasten 2

Bestimmung des Schwingungsverhaltens

Das Schwingungsverhalten eines Bearbeitungswerkzeugs – bestehend aus Träger, Klebstoff und aufgeklebtem Schneidkantensegment – kann durch eine Differentialgleichung zweiter Ordnung mit den Komponenten „Schneide (Index S)“ und „Trägerwerkzeug (Index T)“ beschrieben werden. Unter vereinfachenden Annahmen ergibt sich die Differentialgleichung zu:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} m_T + m_S & 0 \\ 0 & m_T + m_S \end{bmatrix}}_M \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} d_T + d_S & 0 \\ 0 & d_T + d_S \end{bmatrix}}_D \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} k_T + k_S & 0 \\ 0 & k_T + k_S \end{bmatrix}}_K \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^2 F_j(t, \theta) \quad (Gl. 1)$$

Die modalen Parameter **M**, **D** und **K** ergeben sich aufgrund der Systemeigenschaften. In den Impulshammerversuchen waren Geometrie und Material von Einspannung und Versuchskörper gegeben und somit auch die modalen Parameter **M** und **K**. Zu ermittelnde Zielgröße ist der modale Parameter **D** (Dämpfung).

berührungslosen Beschleunigungssensors aufgenommen.

Für die systematische Untersuchung der Klebfugeneigenschaften wurden an den Versuchskörpern folgende Materialparameter variiert, um jeweils den modalen Parameter **D** (Dämpfung) experimentell zu bestimmen und damit Aussagen über das Schwingungsverhalten zu erlangen:

- der E-Modul des Klebstoffs (200 MPa, 2500 MPa),
- die Klebfläche (5 x 10 mm², 5 x 5 mm²),
- die Klebschichtdicke (0,2 mm; 1,5 mm),
- das Material der Schneidkantensegmente (WC, PKD),
- die Nachgiebigkeit des Gesamtsystems (Trägerlänge: 101 mm und 153 mm)

Insgesamt wurden 32 (n = 2⁵) Versuchskörper gefertigt (Bild 3) und getestet.

Die Signifikanzanalyse der experimentell bestimmten modalen Parameter der 32 Versuchskörper ergab, dass sowohl die Klebschichtdicke als auch der E-Modul einen signifikanten Einfluss auf das Schwingverhalten der Versuchskörper hatten.

Rechnerische Optimierung der Fugendämpfung

Für die rechnerische Optimierung der Fugendämpfung geklebter Bearbeitungswerkzeuge ist die Kenntnis der Dämpfungsparameter von Materialmodellen, die in der Finite-Element-Berechnung verwendet werden, notwendig. Für die Ermittlung dieser Dämpfungsparameter und die Optimierung von geklebten Bearbeitungswerkzeugen wurde das Programm ABAQUS eingesetzt. Berücksichtigt wird dabei die Dämpfung unter an-

derem mit der Näherung nach Rayleigh, die davon ausgeht, dass sich die Dämpfung eines Systems gemäß Gleichung 2 als eine Linearkombination von Massematrix **M** und Steifigkeitsmatrix **K** beschreiben lässt:

$$D = \alpha M + \beta K \quad (Gl. 2)$$

Der Dämpfungsparameter α skaliert die Massematrix **M** (Strukturdämpfung) und

der Dämpfungsparameter β die Steifigkeitsmatrix **K** (Materialdämpfung). Für die Finite-Elemente Berechnung müssen diese beiden Parameter für jedes Material im System bestimmt werden.

Durch Vergleich von Experimenten und Simulationen der 32 Impulshammerversuche wurden die Dämpfungsparameter α und β der eingesetzten Materialien ermittelt. Mit diesen Parametern konnte das experimentell bestimmte frequenzabhängige Verhalten der Versuchskörper im Impulshammerversuch qualitativ, d. h. in den relativen Veränderungen, gut beschrieben werden. In Bild 4 ist die „Accelerance“ (Absolutwert der Systembeschleunigung dividiert durch die eingeleitete Kraft und hier normiert auf die Erdbeschleunigung g) als Funktion der Frequenz dargestellt. Eine kleinere „Accelerance“ bedeutet eine höhere Dämpfung. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Intensität der „Accelerance“ beim Wechsel von der dünnen (0,2 mm) auf die dicke Klebschicht (1,5 mm) beim langen PKD-Schneidkantensegment (10 mm) zunimmt, während sie beim kurzen Schneidkantensegment (5 mm) abnimmt. Auf Basis dieser Ergebnisse mit Beschreibung der relativen Änderung können die ermittelten Dämpfungsparameter α und β für die rechnerische Optimierung gekleb-

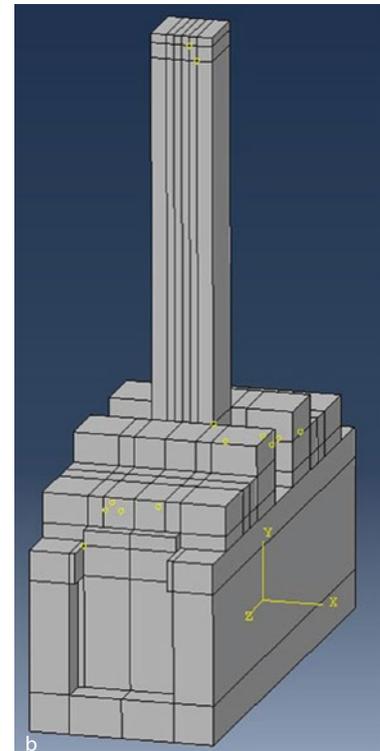


Bild 2 > Impulshammerversuch, eingespannter Versuchskörper (Träger mit aufgeklebten Schneidkantensegment); a) Versuchsaufbau, b) vereinfachtes Finite-Elemente-Modell

© IFAM

ter Bearbeitungswerkzeuge herangezogen werden.

Klebgerechte Gestaltung geklebter Bearbeitungswerkzeuge bezüglich auftretender Lasten

Im Projekt wurden insgesamt fünf geklebte Bearbeitungswerkzeuge betrachtet. Darunter ein Kreissägeblatt mit einem Durchmesser von 425 mm und 60 Zähnen aus Hartmetallsegmenten mit einer Schnittbreite von 2,7 mm zur Trennung von Aluminium. Anhand dieses Beispiels werden im Folgenden die klebgerechte Gestaltung und die Verbesserung der Klebfugendämpfung aufgezeigt.

Nach Herstellerangaben erfährt der Sägezahn beim Eingriff in den Werkstoff über die volle Zahnbreite bis in eine Tiefe von ca. 0,2 mm eine Flächenlast von 300 N (Bild 5 a). Die exzentrische Lasteinleitung am oberen Ende des Schneidsegments führt zu Drehmomenten, die zu einer hohen Belastung der Fugestelle führen. In der Klebfuge entstehen dabei lokal maximale Hauptspannungen von 68 MPa (Bild 5 c). Zur Verringerung der Spannungen in der Klebschicht kann die Klebfläche vergrößert und/oder das Schneidsegment rückseitig abgestützt werden, um dem auftretenden Drehmoment entgegen zu wirken. Gemeinsam mit dem Blatthersteller wurden Blatt- und Zahngeometrie so gestaltet, dass sowohl die Fertigung als auch die mechanische Beanspruchung der Klebfuge Berücksichtigung fanden. Bild 6 zeigt die resultierende Geometrie.

Die maximale Hauptspannung in der neu gestalteten Klebfuge des Sägeblatts erreichte Werte bis 36 MPa und zeigte damit nahezu eine Halbierung der lokalen Spannungen gegenüber der aktuellen Geometrie (Bild 5). Dieser lokale maximale Spannungswert liegt unterhalb der Nennschubspannung von 50 MPa, die nach Oberflächenvorbehandlung im Abscherversuch bestimmt wurde. Da die Werte von Spannungsüberhöhungen in der Klebschicht im Abscherversuch mit Sicherheit über dem Wert der Nennschubspannung liegen, konnte für die geplanten Einsatzversuche davon ausgegangen werden, dass die Prozesskräfte ertragen werden.

Verbesserung der Fugendämpfung der geklebten Werkzeuge

Nach der klebgerechten Gestaltung der Klebfuge wurde mit Hilfe der Finiten-

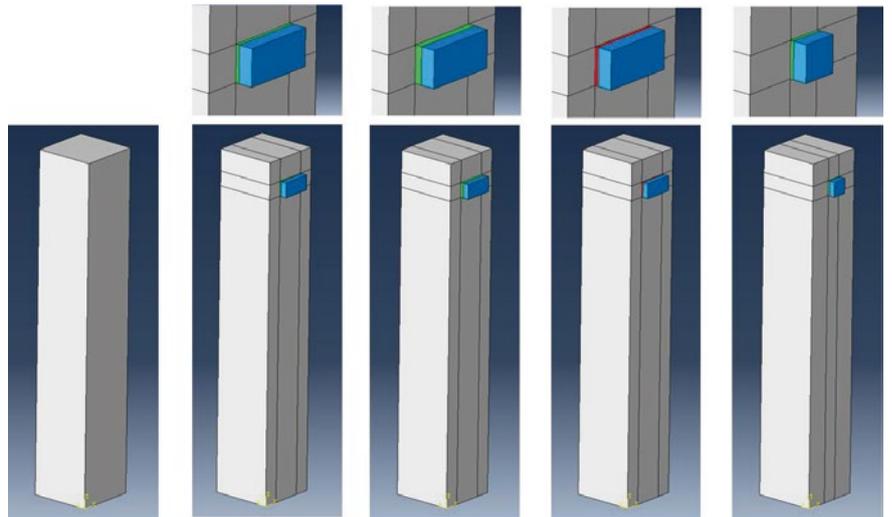


Bild 3 > Beispiele für Variationen an den Versuchskörpern mit einer Trägerlänge von 153 mm

Elemente-Simulation auch die Dämpfung optimiert. Im Modell des Sägeblattausschnitts treten im betrachteten Frequenzbereich zwei signifikante Schwingungsmoden mit einer Knotenebene für Mode 1 und zwei Knotenebenen für Mode 2 auf. In Bild 7 a sind die jeweiligen Ergebnisse der klebgerecht gestalteten Geometrie einer Löt- und Klebschicht mit einer Schichtdicke von 0,2 mm gegenübergestellt. Bild 7 b zeigt den Ver-

gleich für Klebschichtdicken von 0,2 mm und 0,4 mm.

Sowohl der Übergang von Lot zu Klebstoff als auch die Erhöhung der Klebschichtdicke führte in den Simulationen zu einer besseren Dämpfung des Systems. Die geklebte Variante mit einer Klebschichtdicke von 0,4 mm zeigte im Vergleich zur Variante mit 0,2 mm Klebschichtdicke in den hochbelasteten Bereichen eine geringfügige Erhöhung der ma-

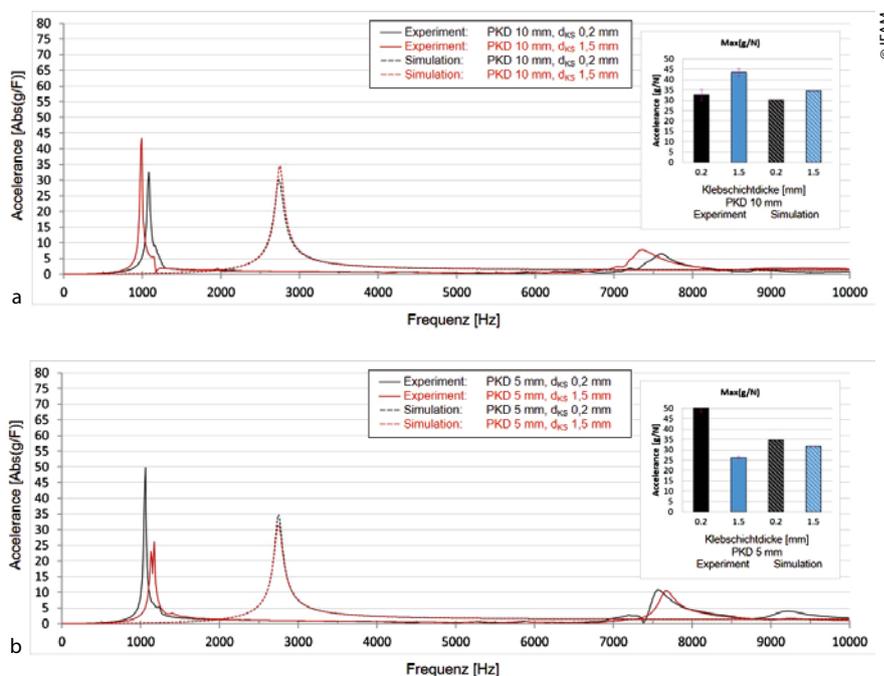


Bild 4 > Vergleich zwischen Experiment und Simulation für Klebschichtdicken von 0,2 mm und 1,5 mm, PKD-Schneidkantensegment (a) 10 mm x 10 mm und (b) 5 mm x 10 mm, Trägerlänge: 101 mm

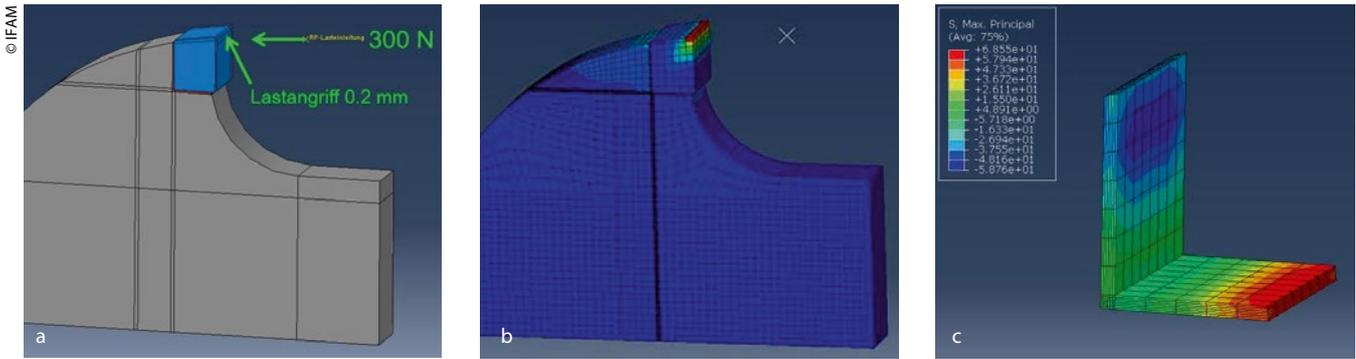


Bild 5 > Sägeblattausschnitt: aktuelle Geometrie a), Spannungen am Sägezahn b) und in der Klebschicht c)

ximale Hauptspannung von 36 MPa auf 40 MPa (Bild 8).

Zusammenfassung der Dämpfungsoptimierung

Am Beispiel des Sägeblatts wurde die allgemeine Vorgehensweise aufgezeigt, um eine optimierte Fugendämpfung durch eine Klebschicht zu erreichen. Im ersten Schritt müssen zunächst die Betriebslasten durch die klebgerechte Gestaltung der Verbindungsgeometrie berücksichtigt werden. Liegt die Klebfugenbeanspruchung deutlich unter den ermittelten Festigkeiten, kann durch gezielte Variation der Klebschicht, insbesondere durch Änderung der Klebschichtdicke und des E-Moduls des Klebstoffes, Einfluss auf die Dämpfung genommen werden.

Prozesskettenanalyse am Sägeblatt: Klebprozess und Schleifen der Zahngeometrie

Die derzeitige Prozesskette des Lötens von Werkzeugen für die spanende Bearbeitung beginnt mit der Formgebung des Grundkörpers (Auslasern, Feinschliff, Sandstrahlen der Fügeflächen) und gegebenenfalls der Vorbereitung der Grundkörperoberflächen. Nach dem Lötens erfolgt im Falle des Sägeblatts das Richten und Spannen, um temperaturbedingte Verzüge auszugleichen. Zur Fertigbearbeitung der Schneide werden die Zähne erodiert, geschliffen oder – bei PKD-Werkzeugen – teilweise mit Laser bearbeitet. Ebenso kommen Kombinationen dieser Abrichtverfahren zum Einsatz. Innerhalb des Projekts wurden für fünf reale Werkzeuge entsprechende Fügeverfahren / Vorrichtungen zur Herstellung der geklebten Werkzeuge im Labormaßstab erstellt und der Einfluss der Nach-

bearbeitungsschritte auf die Klebung untersucht. Am Beispiel des hier dargestellten Sägeblatts wurde zur klebtechni-

schen Fertigung eine Positioniervorrichtung entwickelt, bei der die Positionierung des Segments über geometrische Referen-

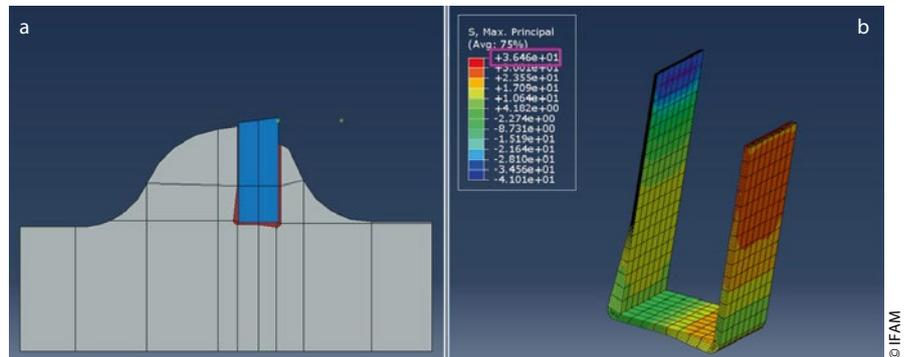


Bild 6 > Finale Geometrie mit Klebschichtdicke 0,2 mm (Finite-Elemente-Berechnung des Sägeblattausschnitts): gesamter Ausschnitt a) und Spannungsverteilung in der Klebschicht b)

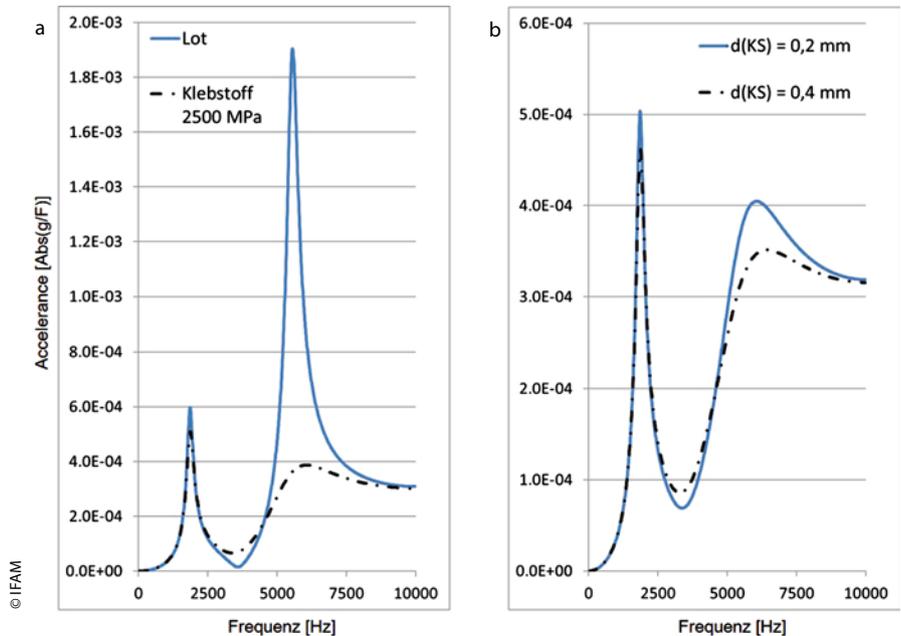


Bild 7 > Darstellung der „Accerance“ des berechneten Sägeblattausschnitts jeweils als Funktion der Frequenz: a) mit Lot (blau) und Klebstoff (schwarz) / b) d(KS) = 0,2 mm (blau) und 0,4 mm (schwarz)

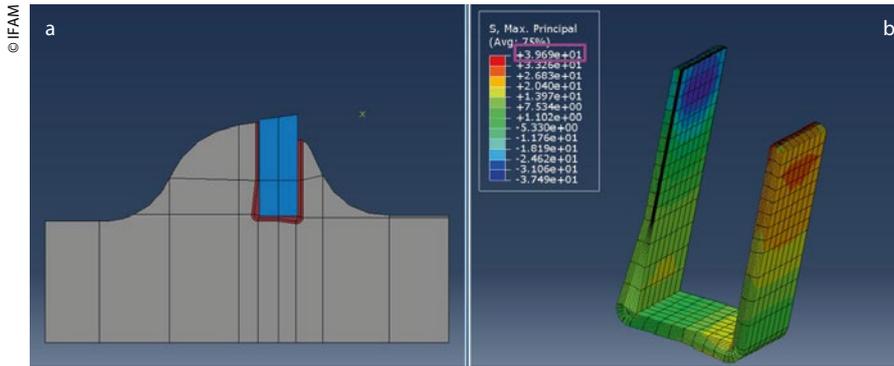


Bild 8 > Finale Variante ohne Fase mit einer Klebschichtdicke von 0,4 mm (Finite-Elemente-Berechnung des Sägeblattausschnitts): gesamter Ausschnitt a) und Spannungsverteilung in der Klebschicht b)

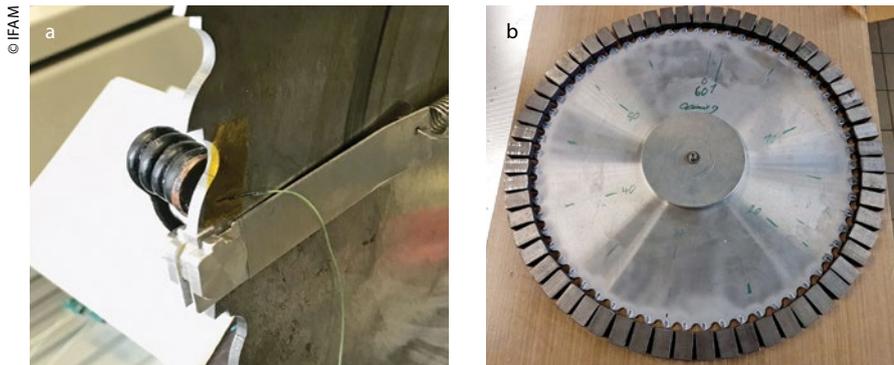


Bild 9 > Fügeprozess am Sägeblatt: serieller Fügeprozess am Sägeblatt herkömmlicher Geometrie mit induktiver Erwärmung a), paralleler Fügeprozess am Sägeblatt neuer klebgerechter Geometrie und Ofenhärtung b)

zierung zum jeweils unterliegenden Sägeblattausschnitt vorgenommen wurde. Die Aushärtung des Klebstoffes wurde über induktive Erwärmung ermöglicht (Bild 9 a). Im Gegensatz zu dieser beim Löten üblichen seriellen Vorgehensweise konnten bei der optimierten klebgerechten Geometrie alle Segmente alle additive Werkzeuge fixiert und gemeinsam in einem Ofendurchlauf ausgehärtet werden (Bild 9 b). Hierdurch wurde der manuelle Fertigungsaufwand erheblich reduziert. Für beide Geometrie konnten die geklebten Werkzeuge durch Schleifen der Flanken und seitlichen Fasen ohne Auffälligkeiten und Ausfälle nachbearbeitet werden. Es waren teilweise Klebstoffüberstände vor dem Schleifen zu entfernen, wenn die entsprechenden Oberflächen zur geometrischen Referenzierung für die Fertigbearbeitung genutzt wurden. Der Nachbearbeitungsschritt des Richtens und Spannens konnte wegen der geringen Füge temperatures entfallen.

Insgesamt zeigt sich, dass der Fügeprozess Kleben einfach und mit weniger Nacharbeit als bei gelöteten Werkzeugen zu realisieren ist. Insbesondere die Möglichkeit zu einer parallelen Aushärtung im Ofen sowie das Entfallen von Spann- und Richtprozessen erweist sich als ökonomisch vorteilhaft.

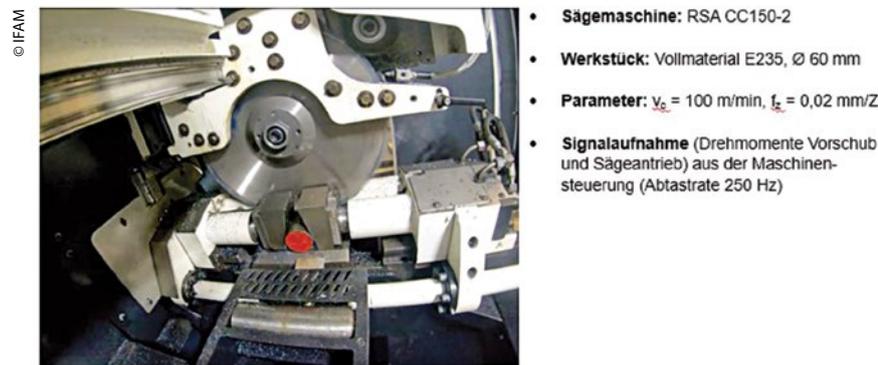


Bild 10 > Anlage und Parameter bei dem Einsatz der geklebten Sägeblätter

Praxisversuche mit geklebten Sägeblättern

Für die Beurteilung der geklebten Werkzeuge wurden diese im praktischen Einsatz zum Schneiden von Stahl E235 verwendet und die Prozessparameter aufgenommen. Um Dämpfungseffekte aufzeigen zu können, sind für diese Praxisversuche Sägeblätter mit unterschiedlicher Klebschichtdicke gefertigt worden:

- Sägeblatt 1 mit einer Klebschichtdicke von 0,2 mm und

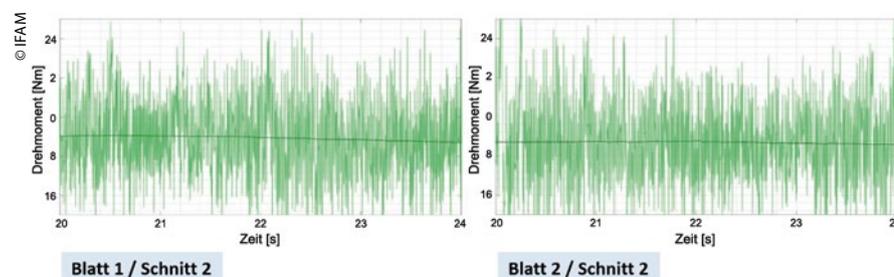


Bild 11 > Antriebsmomente der Schnitte mit beiden Sägeblättern

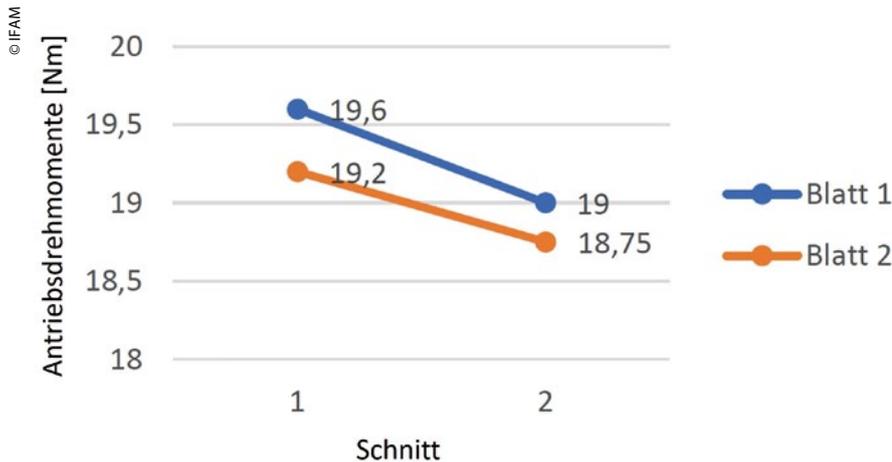


Bild 12 > Mittelwerte der Antriebsmomente bei 20 s für Blatt 1 (Klebschicht 0,2 mm) und Blatt 2 (Klebschicht 0,4 mm) – jeweils für Schnitt 1 und Schnitt 2

- Sägeblatt 2 mit einer Klebschichtdicke von 0,4 mm

Unter typischen Prozessbedingungen wurde bei der Firma Kampmann ein Stahl-Vollmaterial (E235) mit einem Durchmesser von $d = 60$ mm mit den klebtechnisch gefertigten Sägeblättern mit optimierter Geometrie durchtrennt (Bild 10).

Mit jedem Blatt wurden im Praxisversuch zwei Schnitte ausgeführt, da der erste Schnitt nur bedingt Rückschlüsse auf die unterschiedliche Fugendämpfung zulässt. Dies liegt daran, dass Faktoren, wie das „Einschneiden“ der Mikrogeometrie der Zähne, maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Schnittoberfläche haben.

Zur Untersuchung der Dämpfung wurden im Sägeversuch die Antriebsdrehmomente der Säge aufgezeichnet. Die entsprechenden Messkurven des jeweils zweiten Schnitts sind in Bild 11 dargestellt. Beide Blätter haben die Schnitte ohne sichtbare Beschädigung überstanden.

Für die Bewertung der Dämpfung des Werkzeugs wurden unter anderem die Mittelwerte der Antriebsdrehmomente der Säge ausgewertet, da davon auszugehen war, dass der Zahn-Eintritt mehr Drehmoment verlangt als der Zerspanvorgang selber. Die entsprechenden Werte sind in Bild 12 aufgeführt.

Die mittleren Antriebsmomente ergaben für beide Schnitte einen klaren Trend zu geringeren Werten bei höherer Klebschichtdicke. Somit untermauern die Ergebnisse den im Projekt aus Experiment und Simulation abgeleiteten Trend, der für die klebgerechte gestaltete Klebfugegeometrie am Sägeblatt eine höhere Dämpfung bei höherer Klebschichtdicke

und damit ein besseres Einsatzverhalten vorhersagt (Bild 7 b). Für eine weitergehende Betrachtung ist ein Vergleich der hier ermittelten Werte mit einem gelöteten Werkzeug gleicher Geometrie geplant, bei dem eine deutlich geringere Dämpfung und damit höhere Antriebsdrehmomente zu erwarten sind. Leider konnten die hierfür angesetzten Experimente wegen der derzeitigen Corona-Regelungen bisher noch nicht durchgeführt werden.

Fazit

Das Projekt zeigt, dass geklebte Bearbeitungswerkzeuge deutliche Vorteile gegenüber gelöteten Elementen haben. Über die Klebfugegeometrie lassen sich die Dämpfungseigenschaften und damit das Einsatzverhalten der Werkzeuge beeinflussen bzw. gezielt steuern. Zusätzlich benötigt der Fügeprozess Kleben weniger Fertigungsschritte als das Lötens und reduziert den Verzug der Elemente durch den thermischen Prozess. Im Fraunhofer IFAM wurden Kompetenzen aufgebaut, um eine klebgerechte Gestaltung und Fertigung von Zerspannungselementen durchzuführen. Interessierte Betriebe können gemeinsam mit dem IFAM den Wechsel zur klebtechnischen Fügen gestalten und erproben. //

Förderhinweis und Dank

Die Autoren danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) für die Förderung des Projekts 19559N „Leistungs-

steigerung bei der Zerspannung durch gezielte Nutzung der Fugendämpfung geklebter Werkzeuge“ bei der FGW Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e. V. Dank gilt ebenso dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover, insbesondere Herrn Sebastian Worpenberg, für die sehr gute Zusammenarbeit und die Durchführung der Impulshammerversuche. Weiterer Dank gilt den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die zahlreichen Anregungen und Beisteuerung von Materialien und experimentellen Ergebnissen. Die Förderung des Vorhabens erfolgte durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Literaturverzeichnis

[1] M. Wirts-Rütters et al.: Kleben von Schleifsegmenten auf Trennscheiben für die Gesteinsbearbeitung. *Dihw – Diamant Hochleistungswerkzeuge* 3 (2011) [1] 44-53
 [2] B. Denkena et al.: Kleben als Alternative zum Lötens? *Diamond Business* 71 (2019) [4] 28-32
 [3] Abschlussbericht IGF-Vorhaben Nr. 19559 N „Leistungssteigerung bei der Zerspannung durch gezielte Nutzung der Fugendämpfung geklebter Werkzeuge“. Bezug über FGW Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e. V., Veröffentlichungsjahr: 2020

Die Autoren

Dr. Bernhard Schneider

Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich polymere Werkstoffe und Bauweisen

Dr. Martin Rütters

Leiter der Arbeitsgruppe Polymerverguss und -analytik
 – korrespondierender Autor –
 (martin.ruetters@ifam.fraunhofer.de)
 Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen

Jakob Alder

Entwicklungsleiter
 Kampmann GmbH, Hamm