

Leistungssteigerung bei der Zerspanung durch gezielte Nutzung der Fugendämpfung geklebter Werkzeuge

IGF-Nr.: 19559 N

Forschungseinrichtungen

1. **Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)**, Leibniz Universität Hannover

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena
Tel.: 0511 762 – 19333
denkena@ifw.uni-hannover.de
An der Universität 2
30823 Garbsen



Institut für Fertigungstechnik
und Werkzeugmaschinen

M. Sc. Sebastian Worpenberg
Tel.: 0511 762 – 2537
worpenberg@ifw.uni-hannover.de
An der Universität 2
30823 Garbsen

2. **Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung (IFAM)**, Fraunhofer Gesellschaft, Bremen

Ansprechpartner:

Dr. Martin Rütters
Tel.: 0421 2246 – 414
martin.ruetters@ifam.fraunhofer.de
Wiener Straße 12
28359 Bremen



Danksagung:

Das IGF-Vorhaben 19559 N (Leistungssteigerung bei der Zerspanung durch gezielte Nutzung der Fugendämpfung geklebter Werkzeuge) der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe 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. Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Förderung des Forschungsprojektes. Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Einleitung

Die Produktivität von Fertigungsprozessen wird maßgeblich durch die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Werkzeuge bestimmt. Bei vielen Hochleistungswerkzeugen wird der Schneidstoff auf ein Trägerwerkzeug, zumeist Hartmetall, gelötet. Je nach Anwendungsfall sind Schneidkantensegmente aus polykristallinem Diamant (PKD, z. B. für abrasive Materialien) oder kubischem Bornitrid (pCBN, z. B. für die Hartbearbeitung). Sind Schneidstoff und Schneidkantengestalt des Hochleistungswerkzeugs optimal abgestimmt, wird die Leistungsfähigkeit (Produktivität, Werkstückqualität, Werkzeugverschleiß) des Werkzeugs maßgeblich durch eigen- oder fremderregte Schwingungen im Prozess begrenzt. Aus diesem Grund ist das Dämpfungsverhalten für diese Art der Werkzeuge von besonderem Interesse. Das Potential des Klebens konnte bereits beim Trennschleifen aufgezeigt werden [WIR11]. Das bessere Einsatzverhalten ist durch das Dämpfungsverhalten der Klebefuge begründet, was im Folgenden Fugendämpfung genannt wird. Die Fugendämpfung besitzt gegenüber anderen Dämpfungssystemen den Vorteil, dass die Dämpfung nahe der Quelle der Schwingungserregung besonders effektiv wirkt. Wird statt der bisher eingesetzten Löttechnologie das Kleben zum Fügen der Schneidkantensegmente eingesetzt, können prozessbedingte Nachteile des Lötens, beispielsweise ein hoher Wärmeeintrag, verringert werden. Daneben zeichnet sich das Kleben durch eine gute Automatisierbarkeit aus. Für komplexe Zerspanwerkzeuge, wie beispielsweise Fräser, ist eine Anwendung der Klebtechnologie aufgrund des unzureichenden Prozesswissens zum Kleben und der auf das Löten angepassten Prozesskette der Werkzeugherstellung nur vereinzelt anzutreffen.

Ziel des Projekts

Ziel des Projekts ist die Nutzung der Fugendämpfung geklebter Werkzeuge. Dazu wurden zunächst geeignete Zielprozesse definiert, die den Einsatz geklebter Werkzeuge aufgrund des thermomechanischen Belastungsprofils ermöglichen. Ein wichtiger Aspekt für die Einführung der Klebtechnik im Bereich der Werkzeugfertigung ist die Analyse der bestehenden Prozesskette gelöteter Werkzeuge. Es hat sich gezeigt, dass die Klebtechnik mehrheitlich mit einfachen Mitteln in die bestehenden Prozesse integriert werden kann. Mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode wurde die Dämpfung durch die Klebefuge bei komplexen Werkzeugen berechnet. Anschließend erfolgten Einsatzuntersuchungen mit verschiedenen Typen von geklebten Werkzeugen. Im Folgenden wird ein Überblick, über die im Projekt erzielten Ergebnisse anhand verschiedener Werkzeuge geliefert.

Bestimmung von Anforderungen an die Werkzeugklebung für ausgewählte Fertigungsverfahren

Mit der Kenntnis der thermomechanischen Belastung im Bereich der Füge­stelle zwischen Schneidstoff und Trägerwerkzeug wurden die Mindestanforderungen an die Klebstoffe festgelegt. Maßgeblich für die Haltbarkeit der Klebung war dabei die thermische Belastung an der Füge­stelle. Da diese Messgröße bei rotierenden Werkzeugen (Zielprozesse) nur schwer zu erfassen ist, wurden die Referenzuntersuchungen in Analogieprozessen mit nicht rotierendem Werkzeug und rotierendem Werkstück durchgeführt. Die Zielprozesse und die entsprechenden Analogieprozesse sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Durchführung der Untersuchungen erfolgt jeweils unter Variation der Schnittgeschwindigkeit und des Vorschubs, um die Belastung bei unterschiedlichen Prozessstellgrößen zu ermitteln. Abweichend zu dem Zielprozess „Fräsen“, bei dem das Werkzeug rotiert, rotiert im Zielprozess „Hartdrehen“ das Werkstück. Der Analogieprozess betrachtet hier den stark unterbrochenen Schnitt, um erschwerte Bedingungen beim Hartdrehen abzubilden, da hier die Dämpfungseigenschaften des Klebstoffes durch die dynamische Belastung des unterbrochenen Schnittes einen positiven Effekt erwarten lassen.

Tabelle 1: Analogieprozesse zur Ermittlung der Mindestanforderungen an Klebstoffe

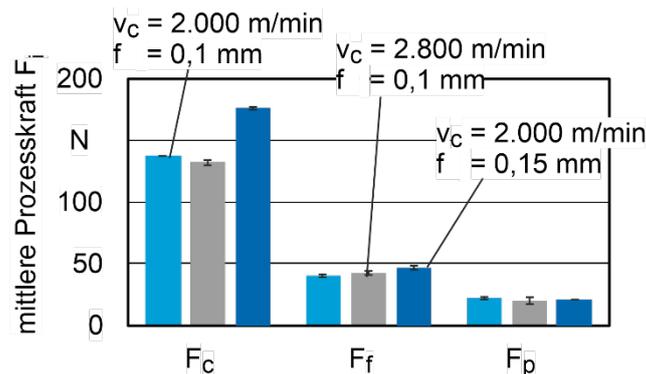
Zielprozess	Analogieprozess
(1) HPC Fräsen von Al7075 mit PKD	Außenlängsdrehen im unterbrochenen Schnitt mit PKD
(2) Hartdrehen von 100Cr6 mit PcBN	Wie realer Prozess im unterbrochenen Schnitt

Während der Zerspanversuche wurden die Prozesskräfte mit einem 3-Komponenten Dynamometer vom Typ 9121 der Firma Kistler gemessen. Mit Hilfe der gemessenen Prozesskräfte können die Spannungen in der Fügezone der Werkzeuge simuliert werden. Zusammen mit den durch das IFAM durchgeführten statischen Abscherversuchen kann abgeschätzt werden, ob die ausgewählten Klebstoffe der Belastung an dieser Stelle prinzipiell standhalten können.

Im Folgenden sind beispielhaft die Ergebnisse des HPC Fräsens der Aluminiumlegierung Al7075 dargestellt.

In Abbildung 1 sind die Kraftverläufe bei der Bearbeitung von Al7075 im Außenlängsdrehen im unterbrochenen Schnitt dargestellt. Die Versuche wurden jeweils einmal wiederholt. Die Schnittgeschwindigkeiten bei der Bearbeitung von Al7075 wurden entsprechend der Bedingungen beim High Performance Cutting (HPC) ausgewählt. Die gewählten Schnittgeschwindigkeiten liegen zwischen $v_c = 2000 - 2800$ m/min. Ausgewertet wurden die Mittelwerte der Kräfte in der Zeit des Schneideneingriffs. Ein Vergleich mit der statischen Kraftmessung beim

Außenlängsdrehen ohne unterbrochenen Schnitt zeigt eine gute Übereinstimmung. Die ermittelten Kräfte zeigen keinen signifikanten Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Prozesskräfte in diesem Schnittgeschwindigkeitsbereich. Dies steht im Einklang zu den Untersuchungen von Ben Amor [BEN03], wonach im Bereich oberhalb einer Schnittgeschwindigkeit von 1200 m/min ein konstantes Niveau der Prozesskräfte zu verzeichnen ist. Bei Erhöhung des Vorschubes f ist ein Anstieg der Schnittkraft zu beobachten. Wie im Allgemeinen bekannt ist, kommt es bei Steigerung des Vorschubes zu einem degressiven Anstieg der Schnittkraft, aufgrund der steigenden Spannungsdicke h [KLO08].



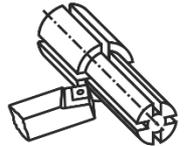
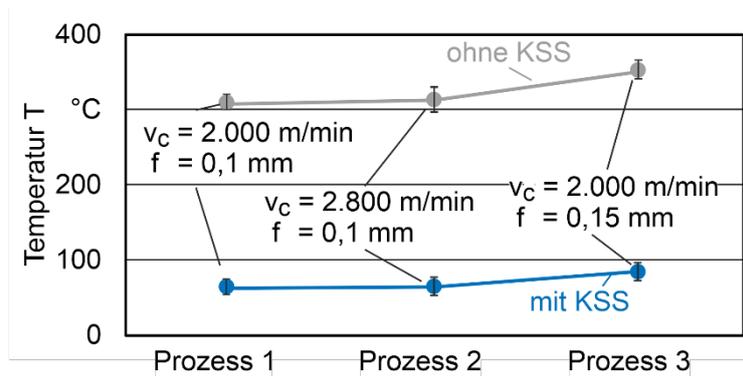
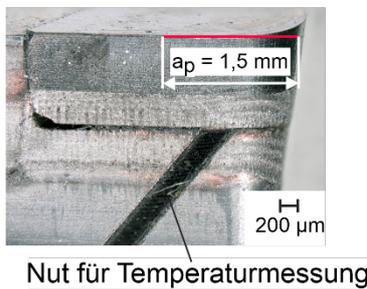
Maschine	Prozess	Prozessstellgrößen	
Gildemeister CTX 520 Linear	Außenlängsdrehen im unterbrochenem Schnitt	$v_c = 2000 - 2800$ m/min $f = 0,1 - 0,13$ mm	
Werkzeuggeometrie: CCGW120408FN-99	ohne KSS Werkstoff: Al7075	$a_p = 1,5$ mm Schneidstoff: PKD5510 (Komet)	
		Wo/93108 © IFW	

Abbildung 1: Kräfteverlauf und Einfluss der Prozessstellgrößen auf die Kräfte bei der Bearbeitung von Al7075

Während der Zerspanuntersuchungen wurden ebenfalls die Temperaturen in der Fügestelle zwischen PKD-Einsatz und Hartmetallgrundkörper gemessen. Dafür wurden zuvor mit Hilfe eines Lasers Nuten in die Wendeschneidplatten eingebracht. Die Temperaturmessungen erfolgten mit in die Nuten eingebrachten Thermoelemente vom Typ K. Dieses besteht aus dem Thermopaar Nickel/Chrom – Nickel/Aluminium und ist in einem Temperaturbereich von 0 °C bis 1100 °C einsetzbar. Zur besseren Wärmeleitung wurden die Zwischenräume in der Nut mit Wärmeleitpaste gefüllt.

Üblicherweise erfolgt das HPC-Fräsen von Aluminium mit großen axialen und radialen Schnitttiefen. Um den Abstand zwischen Messstelle und dem im Eingriff befindlichen Schneidkantenabschnitt zu verringern, wurden die Untersuchungen unter Variation der Schnitttiefe a_p durchgeführt. Bei einer Schnitttiefe von $a_p = 1,5$ mm wurden an der Fügestelle Temperaturen zwischen 300 °C und 350 °C, je nach eingestellten Prozessstellgrößen, gemessen (vgl. Abbildung 2). Aufgrund der begrenzten Einsatztemperaturen von Klebstoffen scheidet daher die Trockenbearbeitung von Aluminium in dem betrachteten Prozessstellgrößenbereich aus. Zur Reduzierung der thermischen Belastung wurden die Versuche unter Verwendung von Kühlschmierstoff (KSS) wiederholt. Auf diese Weise konnte ein Absenken der Temperatur im Bereich der Fügestelle auf Temperaturen unterhalb von 100 °C erreicht werden. Somit wurde die Aluminiumbearbeitung unter Verwendung

von Kühlschmierstoff bezüglich der thermischen Last für die Anwendung der Klebetechnologie qualifiziert.



Maschine	Prozess	Prozessstellgrößen
Gildemeister	Außenlängsdrehen im unterbrochenem Schnitt	$v_c = 2000 - 2800$ m/min
CTX 520 Linear	ohne KSS	$f = 0,1 - 0,13$ mm
Werkzeuggeometrie: CCGW120408FN-99	Werkstoff: Al7075	$a_p = 1,5$ mm
		Schneidstoff: PKD5510 (Komet) Wo/93108 © IFW

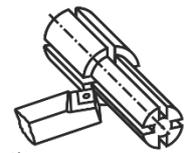


Abbildung 2: Temperaturen in der Fügestelle bei der Aluminiumbearbeitung

Klebstoffauswahl

Auf Basis der Vorerfahrungen am IFAM, der Auswertung von Projektergebnissen von Förderprojekten in dem Bereich Werkzeugkleben, der Empfehlung von Klebstoffherstellern und auf Basis der erzeugten Daten aus Prozesskraft- und Temperaturmessung wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Klebstoffe für eine Prüfung ausgewählt. Dabei wurden bei den Klebstoffen 8 bis 11 bewusst Materialien ausgewählt, die einen relativ niedrigen E-Modul laut Datenblatt aufweisen, um den Einfluss dieser Größe auf die Fugendämpfung in einem großen Bereich experimentell betrachten zu können. Die Klebstoffe 3 und 9 konnten nicht untersucht werden, da bedingt durch Lieferschwierigkeiten diese zum Experimentstart nicht vorlagen.

Tabelle 2: Auflistung der ausgewählten Klebstoffsysteme mit ausgewählten Datenblattwerten

Nr.	Lagerung	MV (wt:wt)	System	Härtung	Shore D	E-Modul	Tg
1	KS		1K-Epoxy	40min 150°C	84	3110 MPa	110 °C
2	TK		1K-Epoxy	20min 150°C		8700 MPa	162 °C
3	RT		1K-Epoxy	ca. 10min 150°C	88- 94	1000 MPa	125 °C
4	RT	3:1	2K-Acrylat	1d RT + 4h 80°C		--	77 °C
5	KS		1K-Bismal.	2h 150°C		2500 MPa	180 °C
6	RT	2:1	2K-Epoxy	1d RT + 4h 80°C	80	2000 MPa	67 °C
7	RT	10:9	2K-Epoxy	14d RT/ 4h 80°C	80	2300 MPa	60 °C
8	RT	10:1,3	2K-Acrylat	1d RT + 4h 80°C	50	350 MPa	60 °C
9	RT	10:1,3	2K-Acrylat	1d RT + 4h 80°C	50	340 MPa	60 °C
10	RT	100:19	2K-PUR	1d RT + 4h 80°C	80	630 MPa	15 °C
11	KS	1:1	2K-PUR	7d RT/ 32min 80°C	50	400 MPa	40 °C

Die ausgewählten Klebstoffe wurden vor und nach 24 stündigen Auslagerung in Kühlschmierstoff Vasco 6000 bei 60 °C untersucht. Dabei wurden sowohl Bulkeigenschaften (u.a. Dynamisch Mechanische Analyse DMA) als auch die Haftung in einem Druckscherversuch bestimmt. Die verwendeten Substrate waren

jeweils Werkzeugstahl und Hartmetall, da auch die Schneidstoffe PKD und PcBN auf Hartmetall aufgebracht waren.

Die Vorgehensweise zur Druckscherprüfung ist in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 3: Druckscherprüfung schematisch und Beispiel eines geprüften Probekörpers

Es konnten bei der Prüftemperatur 80 °C die in Abbildung 4 aufgeführten Verbundfestigkeiten ermittelt werden. Zusätzlich wurden die Bruchbilder der geprüften Proben analysiert und bewertet. Es zeigte sich weitestgehend adhäsives Versagen am Hartmetall. Einzig der Klebstoff 3 (2K Acrylat) zeigte das gewünschte kohäsive Versagen vor Auslagerung. Nach Auslagerung in Kühlschmierstoff wechselte das Bruchbild auch hier zum Adhäsionsbruch. In späteren Arbeiten im Projekt zur Oberflächenvorbehandlung konnten die Druckscherkräfte nochmals auf Werte bis 50 MPa für Klebstoff 1 gesteigert werden.

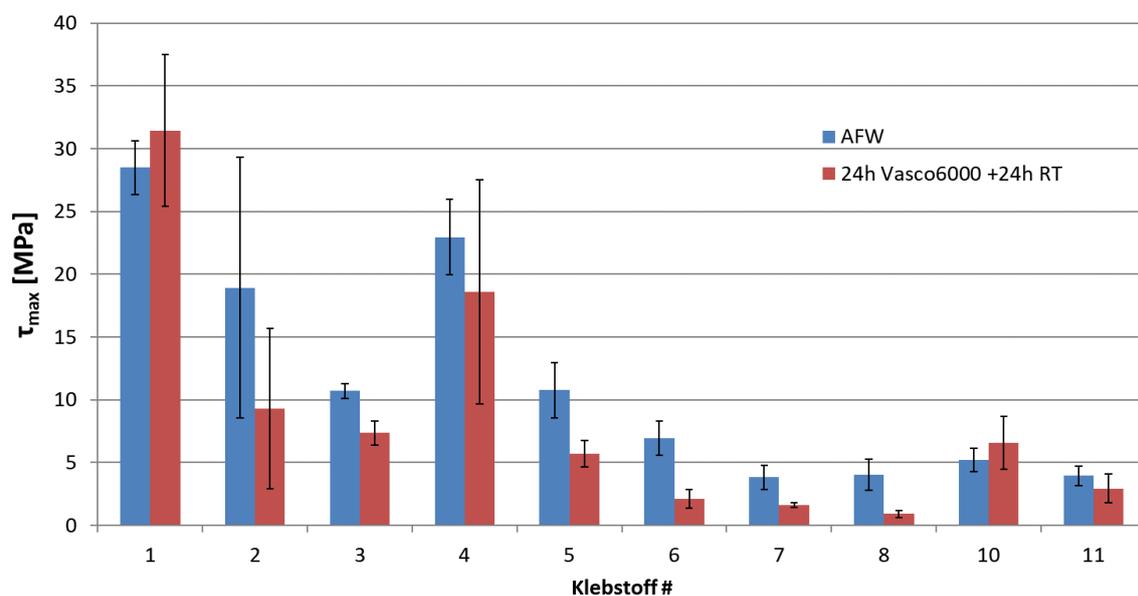


Abbildung 4: Ergebnisse der Druckscherversuche der ausgewählten Klebstoffe bei 80 °C Prüftemperatur, quasistatisch, vor und nach Auslagerung in Kühlschmierstoff Vasco 6000

Für die Auswertung wurden Kriterien erstellt und jeder Klebstoff mit Vor- und Nachteilen aufgelistet. Auf Basis einer daraus abgeleiteten Bewertungsmatrix wurden die zwei hochfesten Klebstoffe 1 (2K-Epoxyd) und 5 (2K-Bismaleindiimid) ausgewählt. Zusätzlich wurde mit dem Klebstoff 10 (2K-PUR) ein niedrigmoduliger Klebstoff für die weiteren Klebversuche mit in die Auswahl aufgenommen. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Haftung, das Bruchbild sowie hohe Streuungen noch durch

Anwendung geeigneter Oberflächenvorbehandlungen im Laufe des Projekts verbessert werden konnten, wie oben beschrieben.

Nutzung der ausgewählten Klebstoffe im Analogieprozess

Zur Untersuchung der Eigenschaften geklebter Werkzeuge im Zerspanprozess wurden Werkzeuge für die Analogieversuche „Drehen im unterbrochenen Schnitt“ klebtechnisch hergestellt.

Die Herstellung der Werkzeuge erfolgt unter Variation des Klebstoffes und der Klebstoffdicke (IFAM). Die Prozesskette der Werkzeugherstellung ist in Abbildung 5 dargestellt. Zunächst erfolgte die Vorbereitung der Halbzeuge. Dazu wurden die Hartmetallgrundkörper durch Schleifen am IFW mit einer Ausklinkung für den PcBN-Rohling versehen. Im Anschluss wurden die Halbzeuge am IFAM klebtechnisch gefügt. Mit Hilfe einer Vorrichtung wurden die beiden Fügepartner zueinander positioniert. Darüber hinaus konnte so ein definierte Klebstoffspalt zwischen PcBN-Rohling und Hartmetallgrundkörper eingestellt werden. Anschließend erfolgte die Aushärtung des Klebstoffes. Im letzten Schritt wurden die Schneiden am IFW durch Schleifen fertig bearbeitet, durch Bürsten präpariert und schließlich in Zerspanuntersuchungen eingesetzt.



Abbildung 5: Prozesskette der Werkzeugherstellung für Analogieversuche mit geklebten Werkzeugen am Beispiel einer CBN-Wendeschneidplatte

Die eingesetzten Klebstoffe sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Werkzeuge wurden mit Klebstoffdicken von 0,1 mm, 0,2 mm und 0,3 mm hergestellt.

Tabelle 3: Eingesetzte Klebstoffe

Klebstoff Nr.	Lagerung	System	Härtung	E-Modul	Tg
1	KS	1K-Epoxy	40 min, 150 °C	3110 MPa	110 °C
5	KS	1K-Bismal.	2 h, 150 °C	250 MPa	180 °C
10	RT	2K-PUR	1 d RT + 4 h 80 °C	630 MPa	15 °C

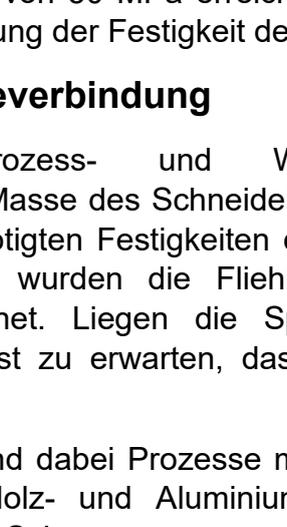
Die Einsatzversuche mit geklebten PcBN-Werkzeugen bei der Hartbearbeitung zeigten, dass die Klebstoffe 5 und 10 keine ausreichende Festigkeit aufweisen, um reproduzierbare Zerspanwerkzeuge herzustellen und einzusetzen zu können. Bei diesen Werkzeugen kam es entweder bereits bei der Schleifbearbeitung oder anschließend bei den Einsatzuntersuchungen zu einem Ablösen des PcBN-Schneideinsatzes und damit zum Versagen des Werkzeuges. Aus diesem Grund wurde bei den weiteren Untersuchungen der Klebstoff 1 fokussiert. Dieser Klebstoff wurde verwendet, um komplexe Werkzeuggeometrien klebtechnisch herzustellen.

Herstellung von Werkzeugen für komplexe Prozesse

Die gewählten Werkzeuge sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Werkzeugauswahl für komplexe Prozesse

Einsatzbereich der Werkzeuge	Werkzeug	Hersteller
Hartdrehen	CBN-Wendeschneidplatte	Komet/Ceratizit
Fräsen von Al7075	Bohrnutenfräser Ø 25 mm	Komet/Ceratizit
Bohren von Al7075	Einlippenbohrer	botek
Holzbearbeitung	SmartJointer	Leuco
Sägen	Kreissägeblatt 425 Z60	Kampmann



Wo/ 93145 © IFW

Bevor die Hersteller der betrachteten Real-Werkzeuge den Löt- durch einen Klebprozess ersetzen können, ist es wichtig, dass vorab geklärt ist, ob die Klebung grundsätzlich in der Lage ist den Belastungen standzuhalten, die allein durch die Werkzeugrotation entsteht. In den Abscherexperimenten in wurden mit dem Klebstoff 1 bei 80 °C Festigkeiten von 50 MPa erreicht. Dieser Wert dient im Folgenden als Grundlage für die Bewertung der Festigkeit der geklebten Schneideinsätze.

Auslegung der Klebeverbindung

Mit Hilfe der Prozess- und Werkzeugdaten (Werkzeugdrehzahl, Werkzeugdurchmesser, Masse des Schneideinsatzes, verfügbare Klebefläche) kann eine Bewertung der benötigten Festigkeiten der Klebeverbindung erfolgen. In einer konservativen Annahme wurden die Fliehkräfte für den äußeren Radius der Schneideinsätze berechnet. Liegen die Spannungen aufgrund der Fliehkräfte deutlich unter 50 MPa, ist zu erwarten, dass kein Versagen der Klebstoffschicht auftritt.

Als besonders kritisch sind dabei Prozesse mit hohen Drehzahlen zu werten. Dazu gehört vor allem die Holz- und Aluminiumbearbeitung. Bei allen betrachteten Werkzeugen liegen die Scherspannungen in der Fügezone weit unterhalb der maximalen Scherfestigkeit von 50 MPa. Die höchsten Scherspannungen als Folge

hoher Drehzahlen und relativ kleiner Klebefläche treten bei dem Werkzeug „Smart-Jointer“ mit 6,4 MPa auf.

Großes Potential für den erfolgreichen Einsatz geklebter Werkzeuge hat eine klebegerechte Gestaltung der Verbindung zwischen Schneideinsatz und Werkzeuggrundkörper. Dies ist im Folgenden am Beispiel eines Sägeblattes aufgezeigt. Wird die aktuell gelötete Fläche eines Sägezahnens durch eine Klebeverbindung ersetzt, übersteigen die Spannungen in der Klebeverbindung bei der kritischen Betriebslast die Festigkeit der Klebeverbindung. Die Kraft wird dabei exzentrisch am oberen Ende des Schneideinsatzes eingeleitet. Die maximalen Hauptspannungen betragen in diesem Fall 68 MPa (vgl. Abbildung 6).

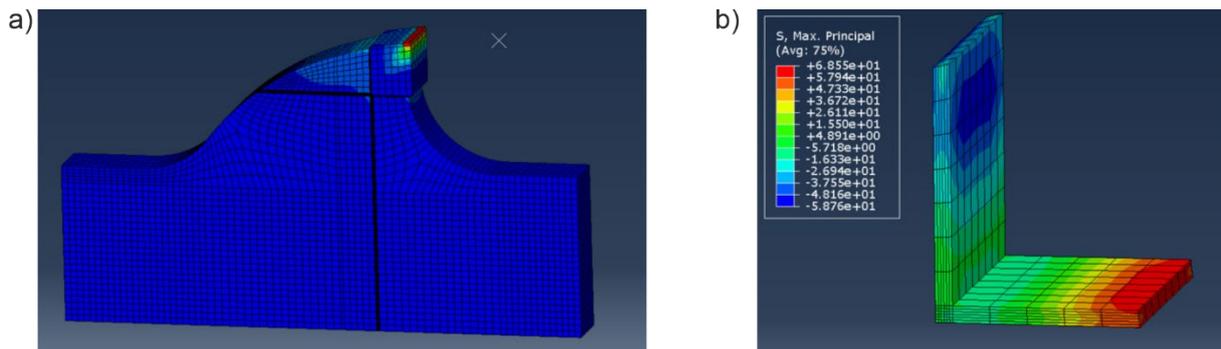


Abbildung 6: Aktuelle Geometrie - Finite-Elemente Berechnung des Sägeblattausschnitts; a) gesamter Ausschnitt; b) Spannungsverteilung in der Klebschicht.

Eine Möglichkeit, die Spannungen in der Klebfuge zu reduzieren, ist die Vergrößerung der Klebfläche und eine Abstützung des Schneideinsatzes, um dem auftretenden Drehmoment entgegen zu wirken. Um die bestmögliche Verbindungsgeometrie zu ermitteln wurden insgesamt 21 Varianten berechnet. In Kooperation mit einem Sägeblathersteller wurde der Sitz des Zahnes überarbeitet, um die Herstellbarkeit des Sägeblattes zu gewährleisten. Das Ergebnis ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Spannungen in der klebgerecht gestalteten, optimierten Variante der Klebfuge liegen mit maximalen Hauptspannungen von 36 MPa etwa halb so hoch, wie bei der ursprünglichen Geometrie.

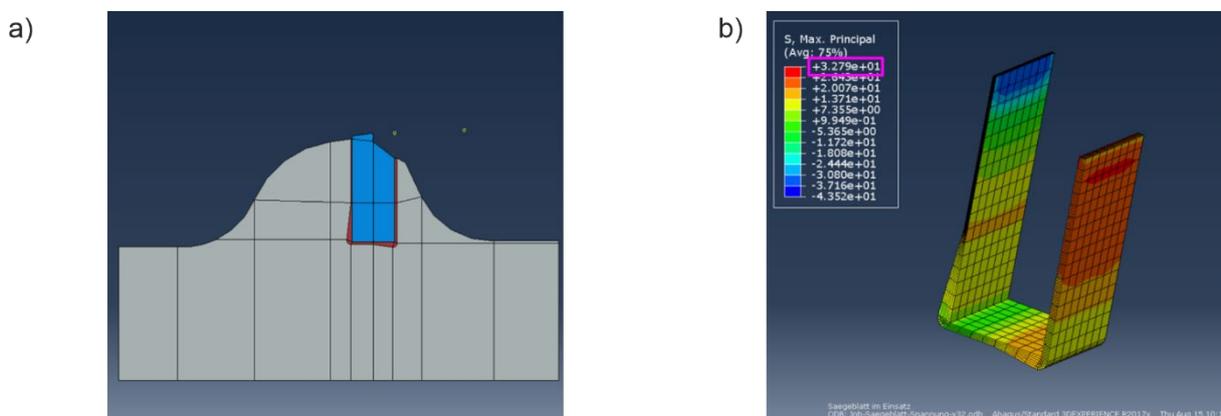


Abbildung 7: Finale Variante - Finite-Elemente Berechnung des Sägeblattausschnitts; a) gesamter Ausschnitt; b) Spannungsverteilung in der Klebschicht

Dämpfungseffekte im Anwendungsversuch

Um Dämpfungseffekte aufzeigen zu können, wurden Sägeblätter mit unterschiedlicher Klebschichtdicke gefertigt:

- Sägeblatt 1 mit einer Klebschichtdicke von 0,2 mm und
- Sägeblatt 2 mit einer Klebschichtdicke von 0,4 mm

Unter einsatzgerechten Bedingungen wurde bei einem Projektpartner Stahl-Vollmaterial (E235) mit einem Durchmesser von $d = 60$ mm mit den klebtechnisch gefertigten Sägeblättern durchtrennt (vgl. Abbildung 8).



- Sägemaschine: RSA CC150-2
- Werkstück: Vollmaterial E235 Ø60 mm
- Parameter: $vc = 100$ m/min, $fz = 0,02$ mm/Z
- Signalaufnahme (Drehmomente Vorschub und Sägeantrieb) aus der Maschinensteuerung (Abtastrate 250Hz)
- GoPro Action-Kamera

Abbildung 8: Anlage und Parameter bei dem Einsatzversuch der geklebten Sägeblätter

Mit jedem Blatt wurden zwei Schnitte ausgeführt und der Sägeprozess jeweils von unterschiedlichen Seiten per Video dokumentiert.

Beide Blätter haben die beiden Schnitte ohne jegliche sichtbare Beschädigung überstanden. Die Schnittbilder lassen keine direkten Rückschlüsse auf die unterschiedliche Fugendämpfung zu, da bei den ersten beiden Schnitten Faktoren wie „Einschneiden“ der Mikrogeometrie der Zähne hauptverursachend für die Qualität der Schnittoberfläche sind.

Zur Bewertung der Dämpfung wurden die Amplituden der Zahneingriffs-Frequenz, die bei 70 Hz liegt, analysiert. Die Amplituden müssten für stärker gedämpfte Blätter niedriger ausfallen. Die Amplitude von Blatt 1 bei 70 Hz beträgt im 1. Schnitt $0,08$ (Nm)² und im 2. Schnitt $0,09$ (Nm)². Die Amplitude von Blatt 2 bei 70 Hz beträgt im 1. Schnitt $0,06$ (Nm)² und im 2. Schnitt $0,07$ (Nm)². Das ist ein signifikanter Unterschied, der sich nach dem bisherigen Stand nur auf die Zahndämpfung zurückführen lässt. Entsprechend dem im Projekt aus Simulation und Experiment abgeleiteten Trend, ergibt sich für eine klebgerecht gestaltete Klebfugengeometrie eine höhere Dämpfung bei höherer Klebstoffdicke.

Zusammenfassung

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Nutzung des Potenzials der Fugendämpfung geklebter Werkzeuge durch geeignete Klebestrategien zur Leistungssteigerung und die Integration des Klebens in die derzeitige industrielle Prozesskette zur Herstellung moderner Zerspanwerkzeuge.

Dazu wurde zunächst als wichtigstes Grenzkriterium für den Einsatz geklebter Werkzeuge die Temperatur an der Fügestelle mit herkömmlich gelöteten Werkzeugen für die drei Prozesse HPC Fräsen von Al7075 mit PKD und Hartdrehen von 100Cr6 mit PcBN messtechnisch in einem Analogieprozess erfasst. Diese Daten wurden für die Auslegung und Klebstoffauswahl für geklebte Werkzeuge im Projekt genutzt.

Mit den erhaltenen Kenntnissen wurde im Anschluss das Einsatzverhalten für ein Werkzeug einer Wendeschneidplatte mit eingeklebten Schneideinsatz zum Hartdrehen von 100Cr6 mit PcBN im oben genannten Analogieprozess bei Variation der Klebschichtdicke und des E-Moduls untersucht. Die Werkzeuge wiesen im Vergleich zu kommerziellen Werkzeugen einen vergrößerten Schneideinsatz und damit eine vergrößerte Klebefläche auf. Auch bei dieser vergrößerten Klebefläche ermöglichten der niedermoduligere und der stark spröde hochmodulige Klebstoff keine ausreichende Verbundfestigkeit für den Prozess. Als Schlussfolgerung lassen die derzeitigen Geometrien im Ergebnis oft keinen Spielraum, um die Klebfugen ausgewogen zu dimensionieren, um entsprechende dämpfende Materialien nutzen zu können. Die Klebverbindungen der Schneideinsätze müssten demnach größer dimensioniert werden, um signifikante Auswirkungen zu messen. Dies konnte für die Realwerkzeuge in gleicher Weise beobachtet werden. Eine erhöhte Dämpfung durch die Klebschicht konnte im Analogieprozess nicht nachgewiesen werden, vermutlich aufgrund der messtechnischen Beschränkung bei nicht vollständig steifem Werkzeug.

Im zweiten Abschnitt des Projekts wurden die Erkenntnisse auf fünf Realwerkzeugtypen zum Hartdrehen, Aluminiumfräsen, Aluminiumbohren, zur Holzbearbeitung und zum Stahlsägen übertragen. Hierzu wurden die Werkzeuge entsprechend rechnerisch ausgelegt und für alle Werkzeuge angepasste Vorrichtungen für die klebtechnische Fixierung entwickelt und für die Herstellung eingesetzt. Alle Werkzeuge konnten so erfolgreich mit der angestrebten Klebschichtdicke und sehr guter Positioniergenauigkeit hergestellt werden.

Für das Sägeblatt konnten in Einsatzversuchen die signifikante Erniedrigung der Schwingungsamplituden des Zahneingriffs bei 70 Hz durch die Erhöhung der Klebschichtdicke von 0,2 mm auf 0,4 mm festgestellt werden. Dies bestätigt die in den Modalanalysen bzw. Schwinghammerversuchen festgestellte Signifikanz dieses Parameters für die Fugendämpfung neben der Erniedrigung des E-Moduls. Die Ergebnisse bestätigen die Signifikanz der Klebstoffdicke für die Fugendämpfung neben der Erniedrigung des E-Moduls. Beim Sägeblatt konnten die erfolgreiche Optimierung von klebgerechter Gestaltung und Fugendämpfung im Experiment aufgezeigt werden.

Im Projekt konnten sehr erfolgreich Untersuchungen zum Potenzial des Klebens von Werkzeugen und der Integration in die vorhandene Prozesskette durchgeführt werden. Zur Nutzung der Fugendämpfung wurden Grundlagen gelegt und entsprechende Ansätze aufgezeigt, diese in weiteren Forschungen für Realwerkzeuge signifikant nutzbar zu machen.

Literaturquellen

- [WIR11] Wirts-Rütters, M. et al.: Kleben von Schleifsegmenten auf Trennscheiben für die Gesteinsbearbeitung. dihw - Diamant Hochleistungswerkzeuge 3, 1/2011, S. 44-53.
- [BEN03] Ben Amor, R.: Thermomechanische Wirkmechanismen und Spanbildung bei der Hochgeschwindigkeitszerspannung, Dr.-Ing. Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2003.
- [KLO08] Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren 1. Drehen, Fräsen, Bohren. 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2008.