

Titel

Branchenübergreifende Entwicklung und Untersuchung einer wärmearmen Füge­technologie für schnell­drehende scheiben­förmige Werkzeuge zur Holz- und Kunststoffbearbeitung (Kleben von Zähnen)

IGF-Nr.: 19446 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe - IFW, Remscheid

Forschungseinrichtung 2: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung – IPA, Stuttgart

Ansprechpartner:

IFW-Remscheid: Dipl.-Phys. Ralph Keßler
02191 / 5921.127
kessler@fgw.de



IPA-Stuttgart: Dipl.-Ing. Michael Stroka
0711 / 970.1556
michael.stroka@ipa.fraunhofer.de



Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19446 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. -FGW, Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, 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.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Schnelldrehende Werkzeuge sind sowohl in der Industrie als auch im Handwerk bedeutender Teil der Wertschöpfungskette. Das Anwendungsspektrum erstreckt sich dabei über einfaches Ablängen von Profilen auf der Baustelle bis hin zu komplexen Gehrungsschnitten in Endqualität im vollautomatisierten Fertigungsprozess durch Kreissägen. Dabei werden vor Allem minimale Schnittfugen, hohe Schnittqualitäten und Laufruhe, geringe Schallemissionen und maximale Standzeiten angestrebt. Zusätzlich wird eine Steigerung der Produktivität gefordert. Durch die stetige Neu- und Weiterentwicklung in Bezug auf die Schneidstoffe stoßen das herkömmliche Hartlöten oder Schweißen zunehmend an ihre Grenzen. Daher müssen Anstrengungen zur Analyse neuer Verbindungstechniken unternommen werden. Dies bewirkt unter Umständen eine Umstellung der Prozesskette. So können beispielsweise bereits geschliffene und beschichtete Zähne bei entsprechend genauer Positionierung verklebt werden, was den Schleif- und Beschichtungsprozess parallel zur weiteren Werkzeugherstellung laufen lassen kann, sowie einfachere Durchlaufmaschinen dafür ermöglicht. Der Nachteil der geringeren thermischen Beständigkeit von Klebstoffen im Vergleich zu Loten kann bezüglich Wiederbestückung gezielt ausgenutzt werden. Die Zähne können einfacher entfernt und die Stammblätter weiter genutzt werden. Durch eine Wiederbestückung der gebrauchten Stammblätter mit neuen Schneidsegmenten kommt es zu einer Rationalisierung des Fertigungsprozesses. Da dieselben Grundkörper mehrmals eingesetzt werden, erhöht sich die Produktivität der Hersteller, da sie diese nur aufbereiten und neu bestücken müssen.

Durch die Klebetechnik erweitert sich das Spektrum einsetzbarer Schneidstoffe um beschichtetes Hartmetall für den Einsatz an Kreissägewerkzeugen für die Holz- und Kunststoffbearbeitung. Innovative Schneidstoffe wie Schneidkeramik lassen sich nicht mit konventionellen Fügeverfahren verbinden. Hier eröffnet das Kleben eine Alternative, um die vorhandenen Potenziale alternativer Schneidstoffe, wie beschichtetes Hartmetall, Cermet und sogar nichtlötbare Materialien wie Schneidkeramik ohne Glaslot abzuschöpfen.

Durch die flächige Verbindung und die Elastizität des Klebstoffs, die mehr Energiedissipation ermöglicht, ist die Schwingungsdämpfung einer Klebefuge günstiger im Vergleich zu geschweißten, geschraubten oder genieteten Fügstellen.

Forschungsziel

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war die Untersuchung der Klebetechnologie an schnelldrehenden Werkzeugen und diese unter realen Betriebsbedingungen zu qualifizieren. Es sollten Kenntnislücken in Bezug auf die Auslegung der Klebeverbindung zwischen Zahnsegment und Stammblatt geschlossen werden und gezeigt werden, dass ein Transfer der Klebetechnologie auf schnelldrehende

Kreissägewerkzeuge unter realen Betriebsszenarien (Zerspan- und Fertigungsprozess) prozesssicher möglich ist.

Als langfristiges Ziel des Forschungsvorhabens lässt sich daraus die Substitution des bisher als Stand der Technik eingesetzten Hartlötens durch die Klebtechnologie ableiten. Innerhalb des Forschungsvorhabens sollte die Machbarkeit des Ansatzes gezeigt werden. Das Forschungsziel wurde durch folgende konkrete Teilaspekte erreicht:

- Ableitung eines Lastenheftes mit realen Randbedingungen/Anforderungen
- Identifikation von Klebstoffsystemen und -parametern, welche in der Lage sind, die Prozesssicherheit unter statischen, dynamischen, thermischen und fertigungstechnischen Einflüssen sicherzustellen
- Erarbeitung klebgerechter Zahnsitzgeometrien zur Optimierung der Klebverbindung
- Konzeptentwicklung zur automatisierten Fertigung
- Validierung

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Transfer der Klebtechnologie auf schnelldrehende Kreissägewerkzeuge für die Holz- und Kunststoffbearbeitung unter realen Betriebsszenarien ermöglicht. Inhalte waren dabei die Identifizierung der realen Anforderungen an die Fügeverbindung, die Auswahl möglicher Klebstoffe sowie deren statische und dynamische Validierung, die Optimierung der Zahnsitze, die Konzeptentwicklung zur automatisierten Fertigung sowie die Validierung prototypischer Werkzeuge.

Ermittlung des Anforderungsprofils

Zu Beginn wurden die Anforderungen an die spätere Klebverbindung anhand einer Untersuchung gelöteter Werkzeuge ermittelt. Dazu zählen die Zerspankräfte und die dabei auftretenden Temperaturen und die Referenzfestigkeiten gelöteter Zähne sowie die Betrachtung des Schwingungsverhaltens.

Je nach Werkstoff und Schnittparametern wirken unterschiedliche Beanspruchungen auf die Werkzeuge ein. Die Werkzeuggeometrien sowie die Eingriffsverhältnisse und -parameter in der Sägeanlage haben ebenfalls Auswirkungen auf die resultierenden Beanspruchungen. Die Auslegung der geklebten Werkzeuge kann aufgrund der geringeren Festigkeiten daher meist nur angepasst auf bestimmte Einsatzfälle erfolgen und bei anderen zu trennenden Werkstoffen durch höhere Kräfte und unterschiedliche Belastungen der Fügestelle eventuell zu vorzeitigem Versagen führen.

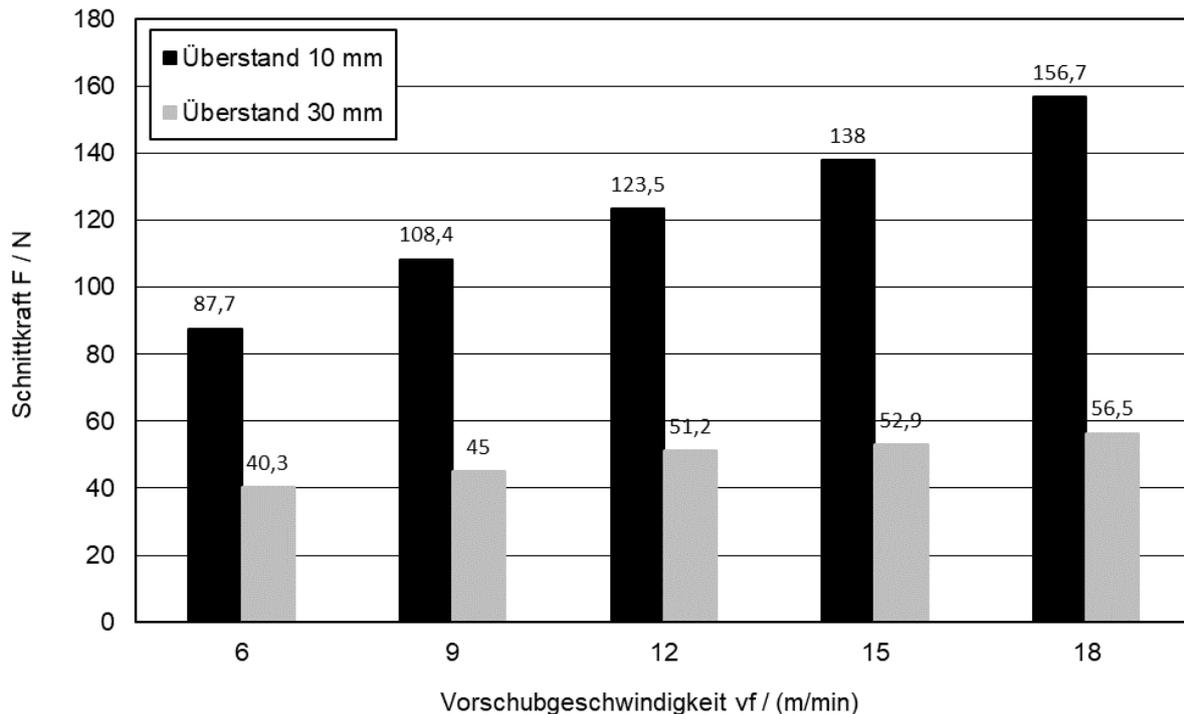


Abb. 1: Schnittkraftvergleich beim Sägen von EN AW-6082

In der Abb. 1 sind exemplarisch die Schnittkräfte beim Werkstoff Aluminium in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeit und des Überstandes gezeigt. Mit steigendem Überstand nimmt die Schnittkraft ab. Dies liegt an den Eingriffsverhältnissen des Zahns während des Schnittes und der Aufteilung in die Vorschub- und Vorschubnormalenrichtung. Mit steigendem Überstand steigt der Anteil in Vorschubnormalenrichtung während die Anteile in Vorschubrichtung abnehmen, woraus sich eine veränderte Schnittkraft ergibt. Mit höheren Vorschubgeschwindigkeiten nehmen die Kräfte wegen des höhere Materialabtrages im Werkstoff deutlich zu.

Entwicklung klebgerechter Zahnsitze

Die Entwicklung klebgerechter Zahnsitze erfolgte mittels FE-Methoden unter Aufbringung der zuvor gemessenen Zerspankräfte und Erarbeitung neuartiger Modelle, welche die optimale Gestalt der Zahnsitze ermitteln sollten. Anschließend wurden diese hinsichtlich fertigungstechnischer Aspekte bewertet, gegebenenfalls angepasst und ausgewählt. Im ersten Schritt wurden dazu entsprechende Geometrievorschlüsse als Modelle aufgebaut. Um die spätere Vergleichbarkeit der Modelle sicherzustellen, wurden die Kräfte nach Möglichkeit immer im gleichen Verhältnis zur Fügestelle eingeleitet. Eine Vereinfachung der Modelle sowie die eingestellte Netzfeinheit wurden im ersten Schritt zur Reduzierung der Rechenzeit vorgenommen. In der Abb.2 sind exemplarisch untersuchte Geometrievarianten gezeigt.

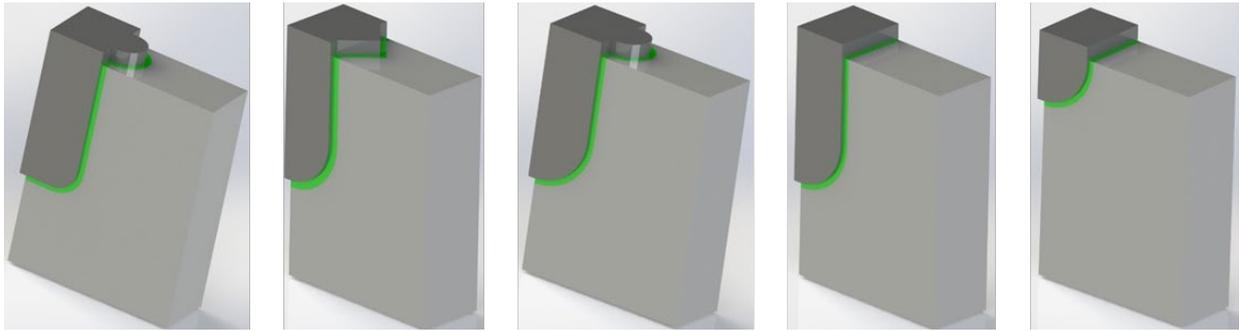


Abb. 2: Veränderungen im Zwei- und Dreidimensionalen an den Zahnsitzen

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass auf Basis der Zerspanbelastung durch die Anpassung der Zahnsitzgeometrie die resultierende Beanspruchung verändert werden kann. Neben einer angestrebten Reduzierung kann es jedoch auch zu einer Steigerung führen. Die richtige Auswahl der Zahnsitzgeometrie für den jeweiligen Anwendungsfall unterstützt die Fügestelle bei einem erfolgreichen Einsatz beim Sägen. Einhergehend mit einer homogenen und möglichst geringen Belastung der Fügestelle ist die Auswahl eines geeigneten Klebstoffs sowie Oberflächenbehandlung, um haltbare Verbindungen unter Prozessbedingungen zu gewährleisten. Daher ist eine Auswahl und Validierung erforderlich, da Kennwerte aus den technischen Datenblättern der Hersteller aufgrund abweichender Werkstoffpaarungen nicht direkt übernommen werden können.

Klebstoffauswahl und statische Validierung

Für die Validierung der Klebtechnik wurden in Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss entsprechende Proben bestehend aus Stammblättern, Rohzähnen unterschiedlicher Schneidstoffe und Klebstoffe ausgewählt. Anhand zerstörender Prüfung wurden die Klebungen bewertet und miteinander verglichen.

Die Betrachtung der zerstörenden Prüfung der Klebverbindungen zeigt, dass die Auswahl der Fügepartner (Stammblatt und Zähne), die Vorbehandlung dieser und die Klebstoffauswahl einen erheblichen Einfluss auf die spätere Festigkeit besitzen. Die manuelle Verklebung und das Vorhandensein sehr geringer Fügeflächen zeigt dabei auch die Herausforderungen einer reproduzierbaren Verklebung auf. Da die Festigkeit nur zerstörend geprüft werden kann, muss die maximale Festigkeit verlässlich in der Fertigung erreicht werden, um ein vorzeitiges Versagen und damit auch eine Gefährdung von Mensch und Maschine zu minimieren.

Zur Oberflächenbehandlung wurden das Korundstrahlen mit F24 Edelkorundkorn (Korngröße 600-850 µm), das Laserstrukturieren mit einem Faserlaser, das Flammsilikatisieren sowie das reine Entfetten in Aceton angewandt (vgl. Abb. 3)

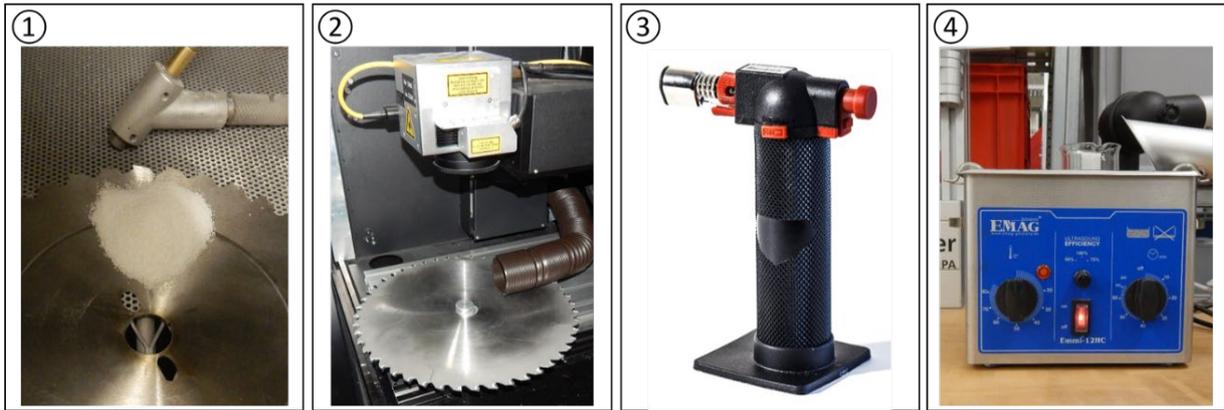


Abb. 3: Übersicht der Obeflächenbehandlungen Korundstrahlen (1), Laserstrukturieren (2), Flamm-silikatisieren (3) und Entfetten im Aceton-Ultraschallbad (4)

Je nach späterem Einsatzfall, welcher dann den eingesetzten Schneidstoff definiert, muss der am besten geeignete Klebstoff in Kombination mit der Oberflächenbehandlung beider Fügepartner gefunden werden. Die stetige Weiterentwicklung der Klebstoffe erfordert zudem ein kontinuierliches Überprüfen der möglichen Festigkeiten und, wie beim UV-fixierbaren Klebstoff gesehen, können die Prozesse aufgrund veränderter Aushärtprozeduren optimiert werden.

Dynamische Validierung realer Werkzeugprototypen

Neben den Untersuchungen zur statischen Festigkeit wurden reale Werkzeugprototypen hergestellt, welche dynamisch untersucht wurden. Dies beinhaltet eine drehzahlabhängige Schwingungsanalyse im Leerlauf (vgl. Abb. 4), eine Schleuderprüfung im Leerlauf, um vorzeitigen Zahnverlust zu erkennen, sowie das Schleifen der Werkzeuge und anschließende Sägeversuche.

Das Schleifen der Werkzeuge entspricht zwar nicht den realen Belastungen im späteren Schnitt, es zählt jedoch zu den größten Belastungsproben der Zähne im Herstellprozess. Zudem ist die Belastung auf die Span- und Freiflächen durch die Schleifscheiben derart gestaltet, dass es zu einer Momentenbelastung in der Fügefläche kommt (analog der Abscherversuche der statischen Validierung). Da diese Momente zu einer unerwünschten Schälbelastung in der Klebfuge führen, kann bei einem erfolgreichen Schleifprozess auch von einem erfolgreichen Sägeprozess in Holz oder Kunststoff ausgegangen werden.

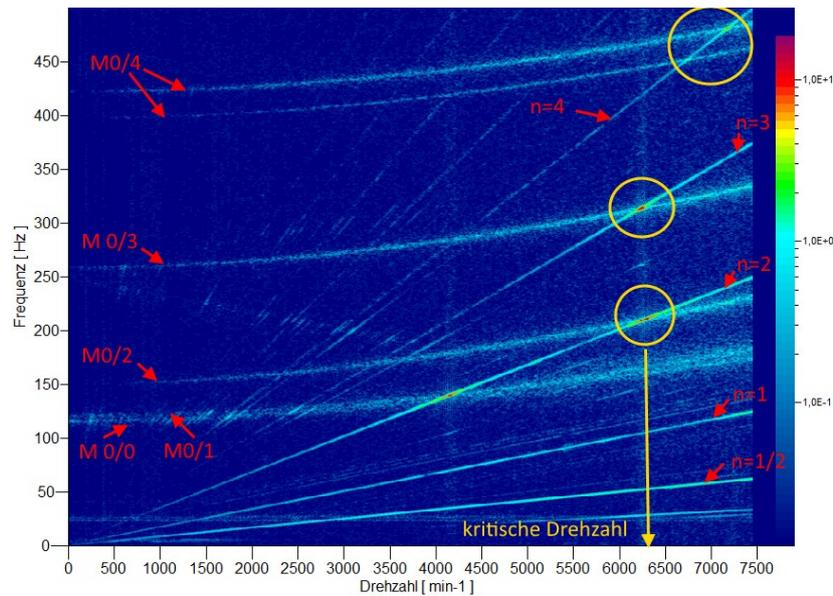


Abb. 4: Campbell-Diagramm mit kritischen Drehzahlbereichen für die Versuchssäge S21 (300 x 3,2/2,2 Z96)..

Es konnte gezeigt werden, dass geklebte Zähne einem Schleifprozess mit verringerten Parametern standhalten. Durch eine UV-Fixierung innerhalb weniger Sekunden und der thermischen Aushärtung im Anschluss sowie dem Leistungspotenzial des Epoxidharzklebstoffs ist ein einsatzfähiges geklebtes Verbundkreissägeblatt hergestellt worden, siehe Abb. 5.



Abmessungen
300x3,2/2,2x30 Z96 TFZ

Abb. 5: Ausschnitt des geklebten und geschliffenen Kreissägeblatts (links) und Gesamtübersicht (rechts)

Es folgten Sägeversuche in eine Spanplatte. Vorherige Schleuderversuche bei Drehzahlen bis 6000 min^{-1} zeigten keinen vorzeitigen Zahnverlust aufgrund einer Schädigung aus dem Schleifprozess.

Automatisierungskonzepte

Zur Herstellung industrietauglicher Werkzeuge zu wirtschaftlichen attraktiven Konditionen, sowohl für die Hersteller als auch für die späteren Kunden, ist eine Automatisierungslösung, wie sie für die Lötautomaten seit Jahrzehnten bereits verfügbar ist, unverzichtbar. Es konnte gezeigt werden, dass die Klebetechnik für den klassischen Zahnsitz an Lötautomaten adaptiert werden kann, bei abweichender Geometrie bedarf es hier allerdings einer zusätzlichen Weiterentwicklung. Entsprechende Konzepte wurden aufgezeigt.

Wiederverwendung stumpfer Werkzeuge

Sowohl mit einem Laser- als auch mit einem Korundstrahler ist es möglich, die metallische Fügefläche des Grundkörpers von Klebstoffresten zu befreien und so den Grundkörper erneut zu bestücken. Je nach Parameter ist entweder eine schonende jedoch längere Aufbereitung oder eine kürzere aber dafür die Oberfläche höher belastende Behandlung möglich. Grundsätzlich verringert sich die Festigkeit der erneuerten Klebefugen jedoch bei beiden Methoden. Hier könnte in der späteren Fertigung allerdings eine meist vorhandene Plattensitzschleifmaschine die Fügefläche am Grundkörper relativ problemlos wieder in den Ausgangszustand versetzen und eine gleichfeste Klebung ermöglichen.

Kostenabschätzung

Durch angepasste, organisatorische Lösungen ist es möglich, Sägeblätter wettbewerbsfähig durch Kleben zu bestücken, wenn der Prozess automatisiert wird und das finale Aushärten des Klebers offline im Ofen erfolgt. Es konnte gezeigt werden, dass beim Verbrauchsmaterial (Lot+Flussmittel versus Kleber+Reinigungsmittel) erhebliche Einsparungen möglich sind.

Zusammenfassung

Mit dem durchgeführten Forschungsvorhaben wurde der Stand der Technik und Forschung zur Herstellung und Validierung geklebter Verbundkreissägeblätter erweitert. Bereits früher durchgeführte Vorhaben verfolgten oftmals den Ansatz, dass eine Lötverbindung direkt durch eine Klebung ersetzt werden kann. Die ungenügende Festigkeit wurde dabei zumeist auf den Klebstoff zurückgeführt. Über die Jahre haben sich die Klebstoffe jedoch weiterentwickelt und dringen in höhere Festigkeiten und Temperaturbeständigkeiten vor. Dennoch sind sie nicht mit dem metallischen Lot vergleichbar und bilden nur deutlich geringere Festigkeiten aus, gerade unter thermischem Einfluss.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden neben der Untersuchung potenzieller Klebstoffe auch die Oberflächenbehandlung, die klebgerechte Auslegung der Fügestelle auf Basis einer Anforderungsanalyse sowie die Automatisierung für eine spätere industrielle Fertigung betrachtet. Diese Anwendungsorientierung führte dazu, dass neue Werkzeugkonzepte als Grundlage für die Hersteller erarbeitet werden konnten sowie die Auswahl neuer Klebstoffe erfolgreich geschliffene und im Sägeversuch eingesetzte Verbundkreissägeblätter hervorbringen konnte. Je nach Anwendungsfall, Werkzeugabmessungen und Schnittparametern können mit dem geschaffenen Wissen neuartige Werkzeuge gestaltet werden.

Im Vorhaben konnte gezeigt werden, dass geklebte Zähne eine ausreichende statische Festigkeit erreichen und es konnten vollständig geklebte Demonstratorwerkzeuge hergestellt werden, an denen die Festigkeit der geklebten Fügestelle auch dynamisch validiert werden konnte. Zudem konnte die Einsatzfähigkeit der Werkzeuge in Sägeversuchen bestätigt werden.

Eine automatisierte Fertigung ist neben der Wirtschaftlichkeit das entscheidende Kriterium für eine reproduzierbare Verklebung. Eine einfache Adaption bekannter Lötautomaten ist jedoch nur beim klassischen Zahnsitz möglich. Abweichende Geometrien bedürfen der Neuentwicklung der Zuführung.

Es konnte gezeigt werden, dass eine Wiederverwendung verschlissener Werkzeuge durch Wiederbestückung der Grundkörper grundsätzlich möglich ist.

Nach erfolgreicher Umsetzung kann die Forschung auf weitere Branchen, wie zum Beispiel die Medizintechnik mit geklebten OP-Besteck oder weiteren schnelldrehenden, rotationssymmetrischen, thermisch belasteten Anwendungen wie Rasiermesser in Elektrorasierern, Reibbelägen in Kupplungen oder Schaufeln im Turbinenbau zielgerichtet ausgelegt werden.

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 Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. - FGW, Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn Dipl.-Phys. Ralph Keßler unter 02191 5921.127 oder auch direkt bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de.