

Titel

Entwicklung von Beschichtungen für Werkzeug-Aktivelemente zum Scherschneiden von Faserverbundwerkstoffen

IGF-Nr.: 20416 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe,
Remscheid (IFW)

Forschungseinrichtung 2: Institut für Schicht- und Oberflächentechnik,
Braunschweig (IST)

Forschungseinrichtung 3: Institut für Produktionstechnologie,
Aachen (IPT)



Ansprechpartner beim IFW-Remscheid:

M. Sc. Dominik Lenz
02191 / 5921.123
lenz@fgw.de

Ansprechpartner bei IST-Braunschweig :

Dr.-Ing Martin Keunecke
0531 / 2155.652
martin.keunecke@ist.fraunhofer.de

Ansprechpartner bei IPT-Aachen :

M. Sc. Tobias Schmid
0241 / 8904.352
tobias.schmid@ipt.fraunhofer.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 20416 N der Forschungsvereinigung 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 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Die deutsche Bundesregierung hat 2013 die aktuell gültige Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie veröffentlicht, mit welcher der durchschnittliche Ausstoß von CO₂ bei neu zugelassenen PKW ab 2020 auf 95 g/km limitiert wird. In der Verwendung von Leichtbauwerkstoffen besteht eine Möglichkeit, die Emissionen gegenüber dem aktuellen Stand zu reduzieren.

Als klassischer Leichtbauwerkstoff stellen Faserverbundkunststoffe (FVK) ein Kernelement für eine nachhaltige und effiziente Mobilität dar. In der Verkehrsbranche werden Faserverbundkunststoffe zur Minimierung des Strukturgewichts bei vergleichbaren oder verbesserten Festigkeitseigenschaften verglichen mit metallischen Bauteilen eingesetzt. Die Bauteile lassen sich je nach Herstellungsverfahren lastoptimiert aufbauen. Durch eine definierte Faserrichtung ist zusätzliches Leichtbaupotenzial vorhanden, das zur Reduktion von Verbrauch und entstehenden Emissionen genutzt werden kann. In der Luftfahrt ist der innovative Werkstoff seit Jahrzehnten im Einsatz.

Jedoch sind die Herstellung und Weiterverarbeitung dieser Werkstoffe mit wirtschaftlichen und technischen Herausforderungen verbunden. Durch den gegenwärtig geringen Automatisierungsgrad und die hohe Anzahl an manuell auszuführenden Arbeitsschritten sind die Herstellungskosten sehr hoch. Auch

hinsichtlich der Bearbeitungskosten übersteigen Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen die Kosten für Metallbauteile deutlich, wie die folgende Abbildung 1 zeigt.

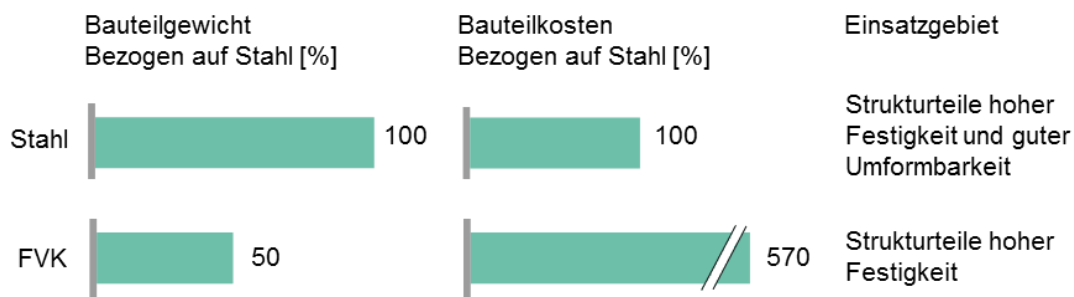


Abbildung 1: Vergleich von Bauteilgewicht und -kosten von Stahl und faserverstärktem Kunststoff [HEU12]

Dieser Umstand ist unter anderem auf starke Verschleißerscheinungen am Werkzeug bedingt durch die hohe Festigkeit der Fasern zurückzuführen. Die Luftfahrtindustrie toleriert die hohen Kosten in der Produktion aufgrund der besonderen Bedeutung des Leichtbaus in dieser Branche. Die Produktionszahlen im Luftfahrtbereich sind verglichen mit der Automobilindustrie zudem recht gering, sodass auch längere Produktionszeiten für einzelne Bauteile in Kauf genommen werden können. Beispielsweise lieferte Airbus im Jahr 2017 in Summe 718 Flugzeuge aus [STA18].

Die Produktion in der Automobilbranche ist hingegen üblicherweise durch Großserienprozesse charakterisiert. In 2017 verkaufte Mercedes-Benz 2,29 Mio. PKW [AUT18]. Auch diese Branche verzeichnet einen zunehmenden Einsatz von FVK. Besonders die sogenannten Organobleche werden immer häufiger verwendet [ISE18]. Bauteile, die beispielsweise aus Organoblechen hergestellt werden, sind Türmodul-Träger, Stoßfänger- und Türaufprallträger, Frontends, Dachrahmen, Airbaggehäuse, Sitzschalen oder Bremspedale [STA06, QUI12, KRA13]. Organobleche bestehen aus einer thermoplastischen Matrix und weisen rechteckige Plattenformate auf, aus denen die Bauteile geschnitten und geformt werden. Organobleche lassen sich durch die thermoplastische Matrix in kurzen Zykluszeiten formen und fügen. Jakob Composites gibt für das Thermoformen von Stoßfängern für den BMW M3 Produktionszeiten von lediglich 60 bis 90 s an [STA06]. Im Vergleich dazu benötigen die trennenden Bearbeitungsverfahren, die nach aktuellem Stand der Technik eingesetzt werden, länger und begrenzen somit die Produktionsmenge von faserverstärkten Bauteilen.

Um die Organobleche für eine mechanische Verbindung in der Montage vorzubereiten, werden trennende Bearbeitungsverfahren eingesetzt, mit denen Löcher in die Bauteile eingebracht werden. Diese dienen als Aufnahme für Inserts oder Nieten für die weitere Verbindung. Den trennenden Fertigungsverfahren kommt in der Bearbeitung von Organoblechen daher eine besondere Bedeutung zu.

Neben dem Verkehrssektor mit der Automobil- und Luftfahrtbranche als Hauptabsatzmarkt für Organobleche greifen weitere Branchen auf dieses Halbzeug zurück. Die Sportindustrie nutzt Organobleche für Helme oder Bremshebel. Auch im militärischen Bereich und der Sicherheitsbranche befindet sich das Material im Einsatz.



Abbildung 2: Technische Herausforderungen bei trennenden Verfahren von Organoblechen

Forschungsziel

Um das Potenzial neuer Leichtbaukonzepte ausschöpfen zu können, müssen FVK-Bauteile wirtschaftlich produziert werden. Zu diesem Ziel wurde im Projektvorhaben das Scherschneidverfahren durch die Entwicklung geeigneter Werkzeugbeschichtungen für die Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen nutzbar gemacht. Dazu wurden die folgenden drei Forschungshypothesen aufgestellt und im Forschungsprojekt validiert:

1. Durch die Entwicklung von Beschichtungen für Werkzeugoberflächen lassen sich der adhäsive sowie abrasive Verschleiß beim Scherschneiden von FVK-Werkstoffen reduzieren.
2. Unter Verwendung geeigneter Beschichtungen und Prozessparameter kann der Scherschneidprozess zu einem wirtschaftlichen Bearbeitungsverfahren für FVK weiterentwickelt werden.
3. Beim Scherschneiden von FVK-Materialien lässt sich die Schnittqualität durch die Anpassung verschiedener Parameter wie dem Werkstoff oder der Oberflächentopographie des Werkzeugs, dem Schnittspalt und der Stößelkinematik steigern.

Die hohe Effizienz des Scherschneidens wurde für die Verarbeitung von Faserverbundmaterialien realisiert. Zentrale Ziele waren die Gewährleistung einer hohen Bauteilqualität und einer langen Standzeit des Werkzeugs für die Hochvolumenproduktion von FVK-Bauteilen. Der Scherschneidprozess, die vorliegenden Wirkmechanismen und das Verschleißverhalten des Werkzeugs unterscheiden sich allerdings gravierend von der Bearbeitung konventioneller Werkstoffe. Die ausgeprägte Adhäsionsneigung einer Polymermatrix führt in Kombination mit dem starken Werkzeugverschleiß durch den Faseranteil zu Anhaftungen auf dem

Werkzeug. Die Leistungsfähigkeit des Schneidprozesses hängt maßgeblich von den realisierbaren Prozessparametern ab, die vor dem durchgeführten Forschungsprojekt durch die verfügbaren Werkzeuge stark eingeschränkt und limitiert waren.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Zu Beginn des Projektes wurden gemeinsam mit den Unternehmen des PA unter anderem die Eigenschaften des Werkzeugs, das verwendete Versuchsmaterial (glasfaserbasiert oder kohlenstofffaserbasiert) sowie die genaue Schnittgeometrie festgelegt. Anschließend erfolgten Scherschneidversuche mit unbeschichteten Werkzeugen zur Ermittlung der dominierenden Verschleiß- und Adhäsionsmechanismen. Die Erkenntnisse über das erhaltene Verschleißbild bildeten die Grundlage für die Schichtenwicklung und die weiterführende iterative Optimierung der Werkzeugbeschichtung und des Scherschneidprozesses. Zur fortwährenden Validierung des Entwicklungsfortschritts erfolgten Versuche im Labormaßstab, sowie Schneidversuche mit optimierten Werkzeugen. Der Verschleißzustand der Werkzeuge konnte ermittelt werden. Durch Werkzeugaufnahmen vor und nach den Versuchen wurden Ausbrüche oder sonstige Veränderungen auf der Oberfläche der Werkzeuge präzise ermittelt. Metallografische Untersuchungen der Werkzeuge konnten die Analysen des auftretenden Verschleißbildes und der Belastungen ergänzen. Die Ergebnisse detaillierter Verschleißanalysen flossen kontinuierlich in den Entwicklungsprozess ein.

Geometrische Gestaltung:

Aus den im Projekt durchgeführten Versuchen ließen sich zwei Ziele zur Werkzeugentwicklung ableiten: Erstens das Vorbrechen der Fasern unmittelbar vor dem eigentlichen Scherschnitt und zweitens die Reduzierung des Faserauszugs und die Erhöhung des Anteils geschnittener Fasern. Abbildung 3 stellt eine Übersicht der entwickelten Geometrien zum Scherschneiden von FVK dar. Die Geometrien und deren Beschreibung ist nachfolgend aufgeführt. Stempel ST-01 bildet den Ausgangszustand für die konventionelle Blechbearbeitung ab.

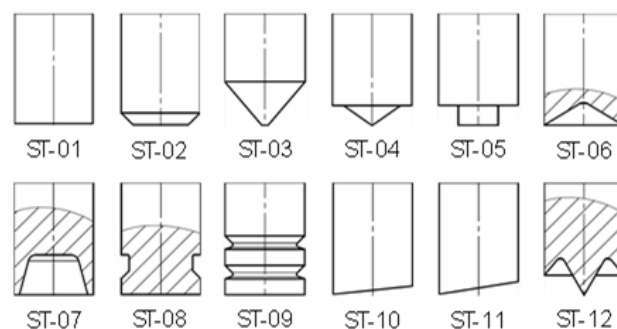


Abbildung 3: Optimierte Stempelgeometrien

Abgeleitet von den Versuchen wird zunächst ein kleiner Schneidspalt (z. B. 1,7 %) empfohlen. Weiterhin ist anwendungsspezifisch eine Bewertung der Stanzgitter- und -butzenqualität sowie der maximalen Scherkraft durchzuführen. Ein entwickeltes Ranking dient als Hilfestellung bei der Auswahl optimaler Aktivteilgeometrien. Hierbei wurden für jeden Stempel eine Bewertung der Stanzgitter- und -butzenqualität sowie der maximalen Scherkraft durchgeführt (0 ... 5, wobei 5 das beste Ergebnis, bzw. minimale Kräfte darstellt). Ausblickend sind für FVK-Scherschneidprozesse jeweils die Anwendungsfälle zu betrachten und in Gut und Abfallteil zu differenzieren (Stanzgitter versus Stanzbutzen). Dahingehend werden folgende Handlungsempfehlungen ausgesprochen:

- Ziehende Schnitte (z. B. Schrägschnitte) sowie umlaufende Schneiden mit geringem Keilwinkel erzielen die besten Ergebnisse beim Scherschneiden von FVK
- Voreilende Schnitte induzieren Zug- und Biegespannungen in den Fasern, wodurch die Durchtrennung exakt erfolgen kann

Schneidkanten- und Oberflächen:

Neben den geometrischen Ausprägungen der Aktivteile ist weiterhin die Schneidkanten- und Oberflächengestaltung relevant. Generell sind hohe Oberflächengüten bei Aktivteilen und eine gute Schneidkantenqualität zu bevorzugen. Aus den Tribologietests ist bekannt, dass eine gewisse Rauheit bzw. Topografie ein günstiges tribologisches Verhalten unterstützen kann. Folgende Eigenschaften können auf Basis der getesteten Aktivteile im Ausgangszustand empfohlen werden:

- Stempel aus 1.2379 mit einer Kantenverrundung von ca. 36-44 μm (Radius) und Rauheiten von $R_a = 0,18 \mu\text{m}$; $R_z = 0,97 \mu\text{m}$; $R_t = 1,15 \mu\text{m}$.
- Schneidmesser mit einer Kantenverrundung von ca. 9-11 μm (Radius) und eine Oberflächenrauheit von $R_a = 0,8 \mu\text{m}$; $R_z = 6,1 \mu\text{m}$ und $R_t = 8,2 \mu\text{m}$.

Höhere Oberflächengüten mit kleineren Schneidkantenverrundungen führen in Abhängigkeit vom verwendeten Werkzeugstahl zu einem schnelleren Verschleiß sowie zu Ausbrüchen infolge einer Überlastung der Schneidkante. Allgemein ist der minimal mögliche Schneidkantenradius durch die Scheraufgabe (Kräfte, Belastung), den Werkzeugstahl, Beschichtung und die Werkzeuggeometrie bestimmt.

Beschichtung:

Entsprechend der Charakterisierung des Schneidprozesses und der tribologischen Tests zeigen die Ergebnisse des durchgeführten Projektes die Anwendbarkeit auf ein industrienahes Werkzeug/Aktivteile. Die Beschichtungen und Behandlungen sind dabei nach Erprobung auf Rund- und Quadratstempeln sowie Schneidmessern appliziert und auch in einem Folgeverbundwerkzeug angewendet worden.

Schneidwerkzeuge haben generell eine höhere Härte als das zu schneidende Material aufzuweisen. Härtere Werkzeugstähle und Oberflächenschichten zeigen eine bessere

Schneidhaltigkeit gegenüber FVK-Materialien. Für eine gute Schneidleistung werden Oberflächenhärten > 1000 HV empfohlen. Dies kann bei Werkzeugstählen z.B. durch eine Diffusionsbehandlung (z.B. Nitrieren) erreicht werden. Hartstoffschichten mit > 2000 HV sind für eine Schneidleistungsverbesserung zielführend. Es ist auf eine gute Beschichtungsqualität im Bereich der Schneidkanten zu achten (gute Schichthaftung und Anbindung an das Werkzeugmaterial, keine Durchhärtung) und zudem muss die gesteigerte Härte der Hartstoffbeschichtung mit einem hohen Abrasivverschleißwiderstand einhergehen, insbesondere beim Schneiden von GFK.

Abbildung 4 zeigt das Verschleißbild eines unbeschichteten Stempels nach je 1000 Stanzungen mit CFK und GFK. Im Vergleich hierzu weisen beschichteten Stempel mit einer WC- bzw. CrN-Schicht wesentlich geringere Verschleißraten auf. Ebenfalls weist das Schneidmesser mit der Kombinationsbeschichtung aus einer Nitrierung und einer CrN-Schicht deutlich weniger Verschleiß auf (Abbildung 5). Entsprechend der gezeigten Verschleißanalysen kann für diese Beschichtungen eine Anwendungsempfehlung ausgesprochen werden.

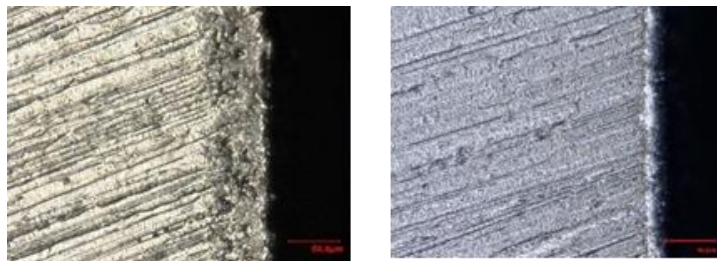


Abbildung 4: Stempel (1.2379) unbeschichtet nach ca. 1000 Schneid-tests von CFK (links) und GFK (rechts) (Lichtmikroskop 500-fach)

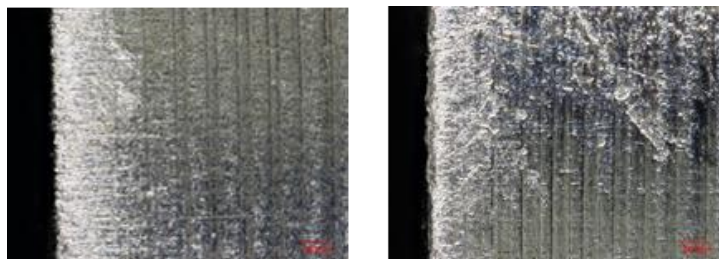


Abbildung 5: Messerkante (1.2379) nach ca. 10.000 Schnitten von GFK-Tape. Links: unbeschichtet; rechts: Nitriert+CrNbeschichtet. (Lichtmikroskop 1000-fach)

Bei Beschichtungen sollte zudem auf eine ausreichende Stützwirkung z.B. durch eine graduelle Härtesteigerung in der Randzone (z.B. Nitrieren) geachtet werden, um ein Abplatzen zu vermeiden. Bei geringen Schnittspalten oder geringen Toleranzen von Aktivteilen ist außerdem das Aufmaß von Oberflächenbehandlungen und -beschichtungen, auch bzgl. der Kantenverrundung, zu beachten. Generell gilt, dass

eine Beschichtung und Behandlung applikations- und werkzeugmaterialangepasst und somit als Bestandteil des Werkzeugsystems erfolgen sollte.

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Hochvolumen-Anwendung wurden die Ergebnisse des Projektes und die dabei entwickelte Technologie zusammengefasst und praxisnah validiert. Hierbei wurde das Potenzial einer Verarbeitung mit im Vergleich zum Fräsen, Wasser- und Laserstrahlschneiden sehr kurzen Zykluszeiten von $< 0,5$ Sekunden/Teil offengelegt und die Funktionsfähigkeit der entwickelten Beschichtungen und der angepassten Aktivteile dargestellt. Am Fraunhofer IPT stand für Validierungs- und Verschleißuntersuchungen ein eigenentwickeltes Werkzeug bereit. Das Streifenlayout umfasste ein Folgeverbundwerkzeug mit drei Stufen (Dreieck durch Quadratstempel, Rundloch und Trennschnitt). Die Aktivteile wurden aus 1.2379 und 1.3343 im gehärteten sowie mit einer Nitrierung und einer Nitrierung plus WC-Schicht getestet, siehe Abbildung 6.



Abbildung 6: Aktivteile für das Folgeverbundwerkzeug

Als Werkstoff für das Demonstratorbauteil kam ein glasfaserverstärktes Polypropylen-Tape zum Einsatz (Celstran® CFR-TP PP GF70; Dicke = 0,25 mm). Betrieben wurde das Werkzeug auf der Servopressenlinie des Fraunhofer IPT (Schuler MSC2000). Die Stößelkurve der Servopresse war dahingehend optimiert, dass eine maximale Schließgeschwindigkeit von 1,3 m/s erreicht wurde. Für den Schnitt wurde ab 10 mm vor UT auf 0,5 m/s abgebremst. Diese Stößelkurve führte zu optimalen Schnittergebnissen, wobei das Werkzeug somit bei max. 124 Hub/min betrieben werden konnte. Jeweils nach Erreichen der 6.000 gestanzten Demonstratorteile erfolgte ein Umbau der Aktivteile auf den nächsten Satz. An den schergeschnittenen Werkstücken ließen sich geringe Unterschiede über die Anzahl der Hübe erkennen. Es war zu erkennen, dass die Schnitte keine Fransenbildung, gesplittertes Schnittgut oder schräg geschnittene Kanten aufweisen. Abschließend ist für die Hochvolumenversuche anzumerken, dass eine Flitter- und Staubbildung im Werkzeug stattfindet. Einerseits ist das auf die Reibung zwischen FVK-Werkstoff und der Tafeführung im Werkzeug zurückzuführen, andererseits entstehen beim

Scherschneiden feine Faserpartikel, welche sich an den Aktivteilen und im Werkzeug absetzen. Zusätzlich haften die FVK-Stanzbutzen in der Matrize wesentlich stärker an der metallischen Oberfläche als metallische Stanzbutzen, wodurch sich diese teilweise in der Matrize verkanten und gegebenenfalls auch wieder aus der Matrize hochkommen und sich im Werkzeug sammeln. Eine Absaugung zum Schutz der umliegenden Werkzeugkomponenten vor den Partikeln ist vorzusehen.

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.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Dominik Lenz unter 02191 5921.123.

Literaturverzeichnis:

AUT18	Automobilwoche: Absatzzahlen 2017 von Mercedes, BMW und Audi: Zwei Sieger im Rennen um die Premium-Krone. URL: https://www.automobilwoche.de/article/20180113/AGENTURMELDUNGEN/301129931/absatzzahlen-von-mercedes-bmw-und-audi-zwei-sieger-im-rennen-um-die-premium-krone vom 13.01.2018 [Abgerufen: 04.04.2018]
HEU12	Heuss, R.; Müller, N.; Van Sintern, W.; Starke, A.; Tschiesner, A.: Lightweight, heavy impact. McKinsey & Company. Advanced Industries 02/2012
ISE18	Isenburg, T; Königsreuther, P.: Nur der richtige Materialmix bringt Erfolg. URL: https://www.maschinenmarkt.vogel.de/nur-der-richtige-materialmix-bringt-erfolg-a-686907/ vom 16.02.2018 [Abgerufen: 19.02.2018]
KRA13	KraussMaffei: FiberForm-Leichtbauteile. Thermoformen und Spritzgießen perfekt kombiniert. IMM 101 BR 09/2013. 1. Auflage. URL: https://www.kraussmaffei.com/media/files/kmdownloadlocal/imm-de/IMM_BR_FiberForm_de.pdf [Abgerufen: 04.04.2018]
QUI12	Quitter, D.: Bremspedal in Organoblech-Hybridtechnik. URL: https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/bremspedal-in-organoblech-hybridtechnik-a-370816/ vom 18.07.2012 [Abgerufen: 04.04.2018]
STA06	Stauß, O.: Organoblech – Alternative zu Stahl und Aluminium. URL: https://industrieanzeiger.industrie.de/allgemein/organoblech-alternative-zu-stahl-und-aluminium/#slider-intro-1 vom 16.10.2006 [Abgerufen: 04.04.2018]