

CFK

Kühlschmierstoffe für die spanende Bearbeitung

Derzeit spielt der industrielle Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) in der spanenden Bearbeitung von Faserverbundkunststoffen (FVK) nur eine untergeordnete Rolle. Die Nassbearbeitung weist jedoch deutliche Vorteile gegenüber der konventionellen Trockenzerspanung auf. Dieser Beitrag des Fraunhofer IPA und Blaser Swisslube AG gibt einen Überblick zu den Problemstellungen der Trockenzerspanung und zeigt zudem aktuelle Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der CFK-Nasszerspanung.

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe werden endkonturnah hergestellt. Bei den hierfür angewendeten Herstellverfahren wie RTM oder auch Prepreg, muss nach der Aushärtung ein Randbeschnitt erfolgen, zum Beispiel die Entfernung reiner Harzbereiche an den Bauteilrändern. Weiterhin werden an den Bauteilen Fügstellen sowie Ausschnitte und Durchbrüche angebracht. Dies kann mittels Laser, Wasserstrahl oder auch Zerspanung erfolgen. Bei einem Großteil der verarbeitenden Betriebe erfolgt dieser Beschnitt auf CNC-Bearbeitungszentren, also spanend.

HERAUSFORDERUNGEN IN DER SPANENDEN BEARBEITUNG VON CFK

Die abrasive Wirkung der Kohlenstofffasern führt zu einer hohen Beanspruchung der Fräswerkzeuge, was mit einem hohen Verschleißverhalten verbunden ist. Dieser Verschleiß wiederum wirkt sich negativ auf die Bearbeitungsqualität aus und verursacht hohe Werkzeug- und Nachbearbeitungskosten an den Werkstücken (Faserüberstände werden oft manuell entfernt). Durch den Einsatz von KSS, die eine Schmierwirkung erzeugen, können bei der Bearbeitung die Reibungskräfte reduziert, der Werk-



»Durch Kühlschmierstoffe konnte die Bearbeitungsgeschwindigkeit beim Nassfräsen um das Vierfache der Herstellerempfehlung gesteigert werden.«

Robert Beckenlechner, M.Eng., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Leichtbautechnologien des Fraunhofer IPA in Stuttgart.

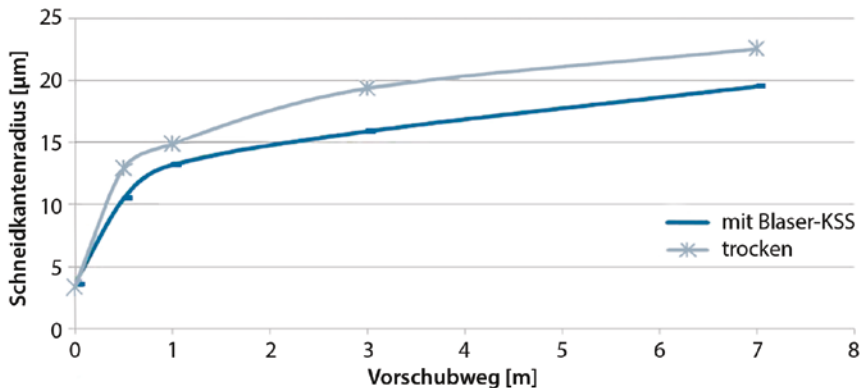


BILD 1 Schneidkantenradien der trocken und nass eingesetzten Werkzeuge

zeugverschleiß verringert und die Bearbeitungsqualität verbessert werden.

Im Vergleich zur Metall-Zerspanung wird bei der CFK-Zerspanung kaum Wärme durch die Späne abgeführt. Bei der Trockenbearbeitung führt dies zu einer Schädigung der Bauteile und einem erhöhtem Werkzeugverschleiß. Dies widerspiegelt sich in Form von zunehmenden Schneidenradien. Abgestumpfte Schneiden erzeugen mehr Reibungswärme in der Bearbeitungszone als scharfe. Durch den Einsatz von KSS kann die thermische Belastung des Werkstücks stark reduziert werden, was vor allem bei der Zerspanung von Thermoplasten höhere Schnitt- und damit Prozessgeschwindigkeiten ermöglicht.

Weiter sind CFK-Stäube eine Gefährdung für die Prozess- und Maschinensicherheit. In Deutschland herrscht daher eine Verunsicherung über mögliche Gesundheitsgefährdungen. Der Vorteil des KSS-Einsatzes ist es, dass der Staub direkt an den Kühlschmierstoff gebunden wird. Eine energieaufwendige Absaugung, welche den Staub nie vollständig erfassen kann, entfällt.

FORSCHUNGSARBEITEN AUF DEM GEBIET DER CFK-NASSZERSPANUNG

Bisher waren noch keine KSS verfügbar, die speziell auf die Anforderungen der CFK-Zerspanung abgestimmt sind (Faser, Matrix-

system und Füllstoffe). Durch den Einsatz von maßgeschneiderten KSS und abgestimmten Zerspanprozessen können die Anwender deutliche Verbesserungen erzielen. Weiter lässt sich bei der Bearbeitung neuartiger Leichtbau- und Composite-Werkstoffe eine bedeutend bessere Marktposition erreichen als mit den üblichen KSS. Die Blaser Swisslube AG mit Firmensitz in der Schweiz forscht derzeit in enger Kooperation mit dem Fraunhofer IPA an innovativen Kühlschmierstoffen für die CFK-Zerspanung. Dabei kann das Unternehmen auf die Zusammenarbeit mit einem Schweizer Formel 1-Rennstall zurückgreifen. Nachfolgend werden Auszüge aus aktuellen Forschungsarbeiten am Fraunhofer IPA dargelegt.

VERSCHLEISSVERLÄUFE UND VERGLEICH DER BEARBEITUNGSQUALITÄT

Das größte Potenzial, um die Produktivität des Fräsvorgangs zu steigern, liegt bei der Verwendung von KSS. Bisher ist es unter gleichbleibender Bearbeitungsqualität (Faserausfransungen und Delamination) gelungen, die vom Hersteller empfohlene Vorschubgeschwindigkeit für die Trockenbearbeitung zu vervierfachen. Konkret wurde dies durch eine Vervierfachung der Schnittgeschwindigkeit bei gleichbleibendem Zahnvorschub realisiert. Nachfolgend sind die Schneidradienverläufe der eingesetzten Fräswerkzeuge dargestellt, Bild 1.

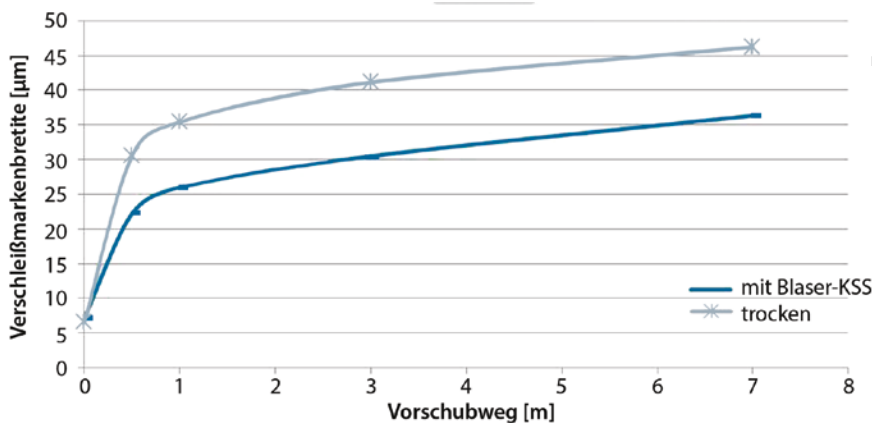


BILD 2 Verschleißmarkenbreiten der trocken und nass eingesetzten Werkzeuge

Das trocken verwendete Werkzeug weist über den gesamten Vorschubweg von 7 m größere Schneidkantenradien auf als dasjenige mit dem KSS. Besonders während der Einlaufphase zeigt sich ein geringerer Verschleiß beim Werkzeug mit KSS, was anhand der flacher ansteigenden Kurve zu erkennen ist. Nach dem Vorschubweg von 7 m bleibt der Schneidkantenradius mit KSS knapp unter $20\ \mu\text{m}$, wohingegen das trockene Werkzeug auf einen Radius von $23\ \mu\text{m}$ ansteigt.

Bild 2 zeigt den Verlauf der Verschleißmarkenbreite als zweites Verschleißkriterium. Diese weist einen ähnlichen Verlauf wie beim Schneidkantenradius auf.

Ähnlich der Schneidkantenradien steigt die Verschleißmarkenbreite beim nass eingesetzten Werkzeug deutlich flacher an. Nach der Einlaufphase von circa 1,0 m verlaufen die beiden Kurven annähernd parallel. Die verschleißmindernde Wirkung des KSS setzt also bereits frühzeitig ein und verschafft dem Werkzeug im verschleißstabilen Bereich $> 1,0\ \text{m}$ so eine deutlich bessere Ausgangslage.

Anhand der oben beschriebenen Verschleißverläufe lässt sich erkennen, dass der Kühl- und Schmiereffekt des verwendeten KSS, trotz einer vervierfachen Vorschubgeschwindigkeit, wirkt. Hinsichtlich der Bearbeitungsqualität zwischen den trocken und nass gefrästen

ten Kanten zeigten sich deutlich weniger Faserüberstände mit dem KSS, Bild 3. Das Delaminationsverhalten blieb bei beiden Werkzeugen gleich und war nicht zu erkennen.

Die Bearbeitungsversuche haben gezeigt, dass trotz einer vervierfachen Vorschubgeschwindigkeit, die Bearbeitungsqualität durch Einsatz von KSS weiterhin saubere Schnittkanten produziert. Für die Trockenbearbeitung empfiehlt sich jedoch eine Vorschubsteigerung nicht, da mit einem erhöhten Werkzeugverschleiß und dadurch stumpferen Schneiden zu rechnen ist. Dies erklärt auch die vermehrten Faserüberstände der gefrästen CFK-Kante, bereits nach 7 m.

PARTIKELMESSUNG TROCKEN-/NASSFRÄSEN

In Deutschland gibt es Arbeitsplatzgrenzwerte für verschiedene Staubgrößen. Diese werden in (A-) alveolengängige oder (E-) einatembare Staubfraktionen unterteilt [1]. Alveolare Partikel sind so klein, dass sie bis in die Lungenbläschen vordringen können. Für Stäube ohne spezielle toxische Wirkung gibt es allgemeine Obergrenzen für die A- und E-Fraktion. Für die A-Fraktion gilt ein Grenzwert von $1,25\ \text{mg}/\text{m}^3$, für den E-Staub liegt der Grenzwert bei $10,00\ \text{mg}/\text{m}^3$.

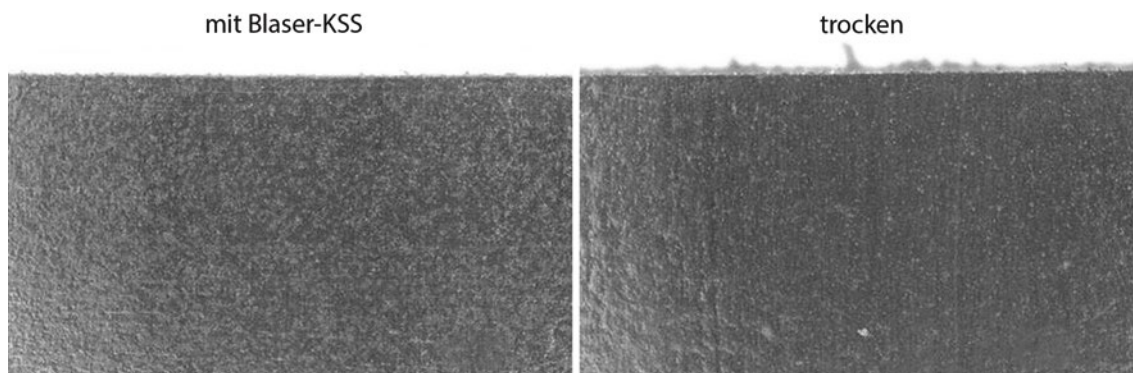
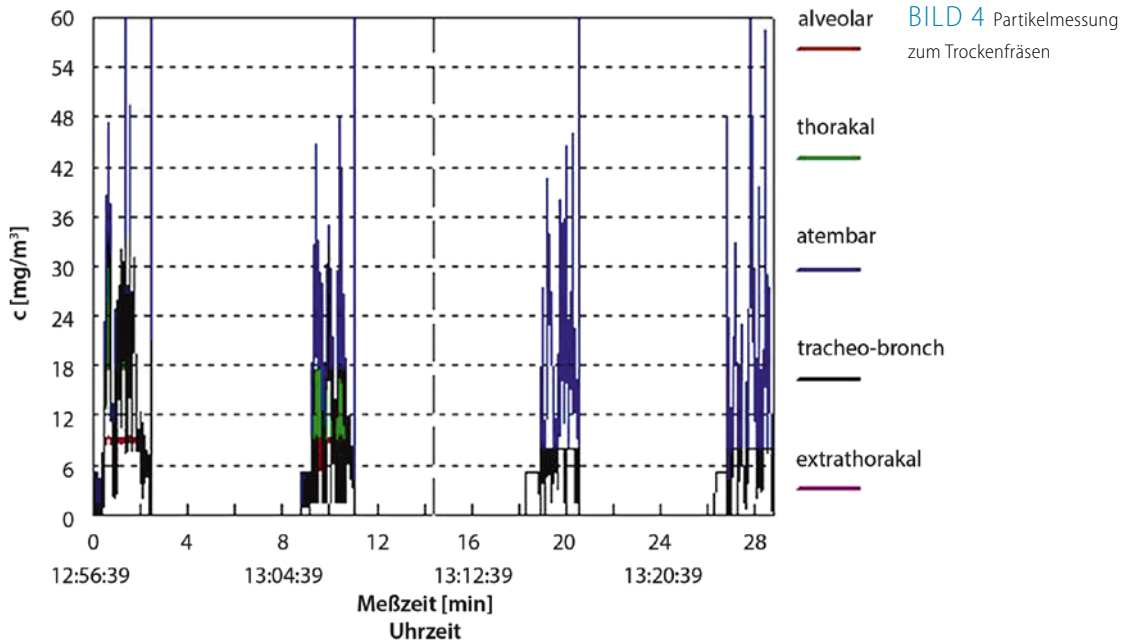


BILD 3 Vergleich der Bearbeitungsqualität zwischen nass und trocken gefrästen CFK-Kanten nach jeweils 7 m Vorschubweg unter Vervierfachung der vom Hersteller empfohlenen Vorschubgeschwindigkeit für die Trockenbearbeitung



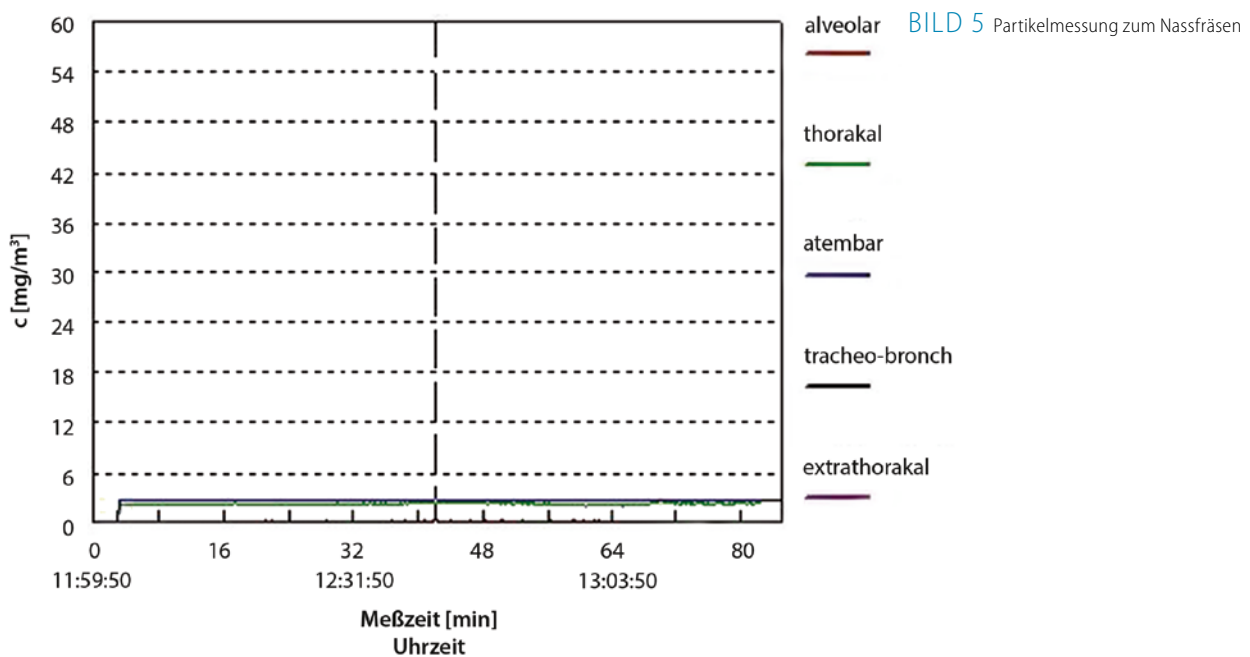
»Die Zerspanung mit Hilfe des flüssigen Werkzeugs vereint die Produktivität und Arbeitsplatzsicherheit ohne gleichwertige Alternative.«

Dipl.-Ing. Björn Herbst ist Produktmanager für wassermischbare Kühlschmierstoffe bei der Blaser Swisslube AG in Hasle-Rüegsau, Schweiz.



Die Partikelmessungen wurden innerhalb des Bearbeitungsraums vorgenommen, um die Konzentrationen der einzelnen Staubfraktionen exakt bestimmen zu können. Die Schnittwerte entsprachen der Herstellerempfehlung für das verwendete Werkzeug beim Fräsen von CFK. Gemessen wurde während vier Fräszyklen mit jeweils 0,5 m Vorschubweg. Aufgezeichnet wurden dabei die einatembaren ($\varnothing 0 - 100 \mu\text{m}$) und alveolaren ($\varnothing 0 - 4 \mu\text{m}$) Partikel, Bild 4.

Der Mittelwert der Messungen lag hier für die E-Fraktion bei $23,47 \text{ mg/m}^3$, für die A-Fraktion bei $6,18 \text{ mg/m}^3$. Dies resultierte bei den alveolaren Partikeln in einen mehr als fünf Mal so hohen Wert, als die in der TRGS 900 für Arbeitsplätze erlaubten Grenzwerte. Daher ist es extrem wichtig, die Bearbeitungsmaschine zu kapseln und alle entstehenden Stäube abzusaugen. Analog zur Partikelmessung beim Trockenfräsen zeigt Bild 5 die entstehenden Staubpartikel während der Nassbearbeitung.



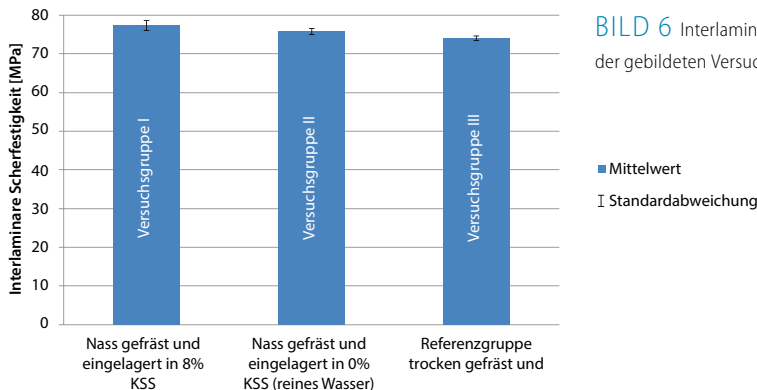


BILD 6 Interlaminare Scherfestigkeit der gebildeten Versuchsgruppen I, II und III

Hier liegt der Mittelwert für die E-Fraktion bei $2,37 \text{ mg/m}^3$, was deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts von $10,00 \text{ mg/m}^3$ liegt. Für die A-Fraktion ergab sich ein Mittelwert von $0,05 \text{ mg/m}^3$, der 1/25-stel der nach TRGS 900 erlaubten Menge entspricht.

Anhand der durchgeführten Testes zur Partikelmessung konnte die staubbindende Wirkung des verwendeten Kühlschmierstoffes nachgewiesen werden.

LANGZEITEINLAGERUNG VON GEFRÄSTEN CFK-PROBEN

Die Unsicherheit beim Einsatz von KSS ist, dass durch die Aufnahme von KSS die physikalischen Eigenschaften des CFK-Werkstoffes wesentlich beeinflusst werden könnten. Aus diesem Grund wurde der Einfluss von KSS auf die mechanischen Eigenschaften anhand eines synthetischen, mineralölfreien KSS untersucht. Hierzu wurden Scherfestigkeitsversuche an eingelagerten CFK-Probenn durchgeführt, um die interlaminare Scherfestigkeit (ILSF) zu bestimmen und mit den trockenen Proben zu vergleichen. Insgesamt wurden die drei folgenden Versuchsgruppen mit jeweils zehn getesteten CFK-Probenn gebildet.

- Versuchsgruppe I: 8 % KSS-Konzentration
- Versuchsgruppe II: 0 % KSS-Konzentration (reines Wasser)
- Versuchsgruppe III: Trocken (Referenzgruppe)

Versuchsgruppe I und II sind vor der Einlagerung mit den oben angegebenen KSS-Konzentrationen, die Versuchsgruppe III trocken gefräst worden. Die Einlagerungszeit der nassbearbeiteten Proben betrug jeweils 96 h. Bild 6 zeigt die ermittelten ILSF-Werte der geprüften Versuchsgruppen.

Die ILSF-Werte der trocken sowie der nass bearbeiteten Proben wiesen keinen signifikanten Unterschied auf (Signifikanzniveau $\alpha = 5 \%$). Ebenso besteht zwischen reinem Wasser und 8 %-iger KSS-Konzentration kein Unterschied der ILSF-Werte. Daraus kann abgeleitet werden, dass unabhängig der KSS-Konzentration keine Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften von Nassbearbeiteten CFK-Teilen zu erwarten ist.

FAZIT

In diesem Beitrag wurden die Herausforderungen in der spannenden Bearbeitung von CFK-Werkstoffen beschrieben. Darüber hinaus wur-

den aktuelle Forschungsarbeiten und -ergebnisse auf dem Gebiet der CFK-Nasszerspannung erläutert.

Zum einen konnte mit Tests nachgewiesen werden, dass die gesundheitsgefährdenden Stäube, die bei der Trockenbearbeitung entstehen, beim Nassbearbeiten durch den verwendeten Kühlschmierstoff nahezu vollständig gebunden werden. Zum anderen ließ sich die Vorschubgeschwindigkeit beim Nassbearbeiten unter gleichbleibender Bearbeitungsqualität um das Vierfache der Herstellerempfehlung steigern. Tests zur Langzeiteinlagerung von nassbearbeiteten CFK-Probenn ergaben, dass keine Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu den trockenbearbeiteten Proben besteht. Als Vergleichsgröße wurde die interlaminare Scherfestigkeit betrachtet, die nach DIN EN 2563 ermittelt wurde.

Abschließend kann gesagt werden, dass der Einsatz von KSS dem Anwender Möglichkeiten aufzeigt, die die Bearbeitungsqualität von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen steigern und gleichzeitig die Kosten der Endbearbeitung senken kann. ●

LITERATURHINWEISE

[1] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte TRGS 900; Ausschuss für Gefahrstoffe; Ausgabe Januar 2006

[2] DIN EN 2563 Luft- und Raumfahrt - Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe - Unidirektionale Laminare; Bestimmung der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit; Deutsche Fassung EN 2563:1997

Die Autoren

ROBERT BECKENLECHNER, M.ENG., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Leichtbautechnologien des Fraunhofer IPA in Stuttgart.

DIPL.-ING. BJÖRN HERBST ist Produktmanager für wasser-mischbare Kühlschmierstoffe bei der Blaser Swisslube AG in Hasle-Rüegsau, Schweiz.