

1 Einleitung und Motivation

Introduction and Motivation

Der Leichtbau mit kohlenstofffaserverstärkten Faserverbundkunststoffen, auch CFK-Werkstoffe genannt, stellt ein probates Mittel zur Senkung des Energieverbrauchs im Transportsektor dar, wodurch den aktuellen Entwicklungen auf politischer und technologischer Ebene zu einer nachhaltigen Wirtschaft Rechnung getragen wird. CFK-Werkstoffe gelten daher als einer der Schlüssel zur effizienteren Treibstoffnutzung sowie zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes. Folglich wird der steigende Anteil an faserverstärkten Kunststoffen insbesondere im Luftfahrtsegment sowie der Automobilbranche als wesentlicher Wachstumstreiber für die nächsten Jahre erachtet [ELMA15, SIEB14, TOOZ18].

Gemäß dem jährlich erscheinenden Marktbericht der Composites United e.V. hat sich der globale Bedarf an CFK-Werkstoffen seit 2010 verdreifacht. Die Prognosen für die kommenden Jahre gehen von einer Fortsetzung dieser signifikanten Steigerung in allen volkswirtschaftlich relevanten Industriesektoren (Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Energiesektor, Medizintechnik, Konsumgüterindustrie) aus [SAUE22].

Derart hohe Wachstumsraten können nur erreicht werden, wenn zeitgleich die Herstellungskosten für CFK-Komponenten deutlich gesenkt werden. Aktuell entfällt nahezu die Hälfte der gesamten Bauteilkosten auf die Fertigung, bestehend aus unterschiedlichen Formgebungsverfahren sowie der Endbearbeitung. Für eine wirtschaftlich sinnvolle und nachhaltige Substitution konventioneller metallischer Werkstoffe durch CFK muss der Kostenanteil von aktuell 50 % auf etwa 30 % reduziert werden. Ein nicht unerheblicher Anteil der Fertigungskosten entfällt hierbei auf die Erzeugung der finalen Bauteilgeometrie durch die Endbearbeitung, welche vorwiegend mit spanabhebenden Fertigungsverfahren, wie Bohren und Fräsen, durchgeführt wird [LAES12].

Für einen qualitativ hochwertigen Schnitvorgang eines Verbundwerkstoffs mit einer textilen Faser, ist grundsätzlich ein scharfes Werkzeug erforderlich. Solange das Werkzeug eine hohe Schneidenschärfe aufweist, ist die bearbeitete Bauteiloberfläche bei richtiger Prozesseinstellung frei von Schädigungen. Beim kontakt- und damit reibungsbehafteten Schnitvorgang der hochfesten Faser kommt es jedoch zu einem schnellen Verschleißfortschritt an der Werkzeugschneide, wodurch sowohl die mechanische als auch thermische Belastung im Prozess zunimmt. Überschreitet die stetig ansteigende Schneidenbelastung die Festigkeit der Kunststoffmatrix, steigt die Gefahr für prozessinduzierte Bauteilschädigungen signifikant an [SCHU14].

Die Endbearbeitung von Faserverbundwerkstoffen stellt den letzten Prozessschritt innerhalb der gesamten Fertigungskette der Komponente dar. Folglich besitzt das Bauteil zum Zeitpunkt der finalen Geometrieerzeugung einen hohen finanziellen Wert, der bei einer irreparablen Schädigung der Komponente zum maximalen Wertverlust für das Unternehmen führt. Die Vermeidung von prozessinduzierten Bauteilschädigungen und damit die Vermeidung von zusätzlichen Nachbearbeitungskosten zur Behebung der Schäden bzw. der Generierung von Ausschussteilen während der Endbearbeitung ist daher das wichtigste Ziel des letzten Prozessschrittes [KLOC17].

Um dieses Ziel zu erreichen, werden die Werkzeuge in der Regel aus Sicherheitsgründen vorsorglich ausgetauscht. Die Werkzeugkosten stellen dadurch den größten Kostenfaktor für die Endbearbeitung dar. Soll die Faserverbundbauweise in stärker preisgetriebene Bereiche der Industrie vorrücken, müssen daher neue Ansätze zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit gefunden werden. Nach aktuellem Stand der Technik existieren hierzu unterschiedliche prozess- und werkzeugseitige Ansätze, wobei der Einsatz von hoch-harten diamantbasierten Schneidstoffen in Kombination mit einer speziellen auf eine Wechselbelastung der Fasern zielende Schneidengeometrie zum bislang größten Fortschritt beigetragen haben. Das Prinzip der Wechselbelastung führt dazu, dass einmal initiierte Mikro-Bauteilschädigungen nicht durch einen gleichgearteten nachfolgenden Schnitt aufgeweitet und verstärkt werden. Stattdessen belastet die nachfolgende Schneide das Laminat auf andere Weise und eliminiert hierdurch die zuvor entstandene Schädigung wieder. Im Vergleich zu standardmäßig aufgeführten Werkzeugen, lässt diese Werkzeugvariante einen größeren Werkzeugverschleiß zu, so dass eine insgesamt größere Standzeit erreicht werden kann. Nachteilig ist in diesem Zusammenhang der deutlich höhere Werkzeugpreis zu nennen, wodurch die Wirtschaftlichkeit weiterhin beschränkt bleibt [KLOC 17].

Von Vorteil wäre in diesem Zusammenhang eine anlagentechnische, in Richtung der Wechselbelastung von Fasern zielende, Lösung, welche nur einmalig beschafft werden muss. Die vibrationsunterstützte Bearbeitung bietet an dieser Stelle großes Potenzial, was bereits in positiver Weise für die Bohrbearbeitung mit einem in Längsrichtung schwingendem Werkzeug nachgewiesen wurde [DAHN16, SAND16]. Um die Vorteile in ähnlicher Weise bei der Fräsbearbeitung nutzbar zu machen, müsste die Schwingung in Schnittrichtung des rotierenden Werkzeuges orientiert sein und damit als deutlich komplexere Torsionsschwingung ausgeführt werden.

Nach aktuellem Stand der Technik existieren aktuell lediglich erste Ansätze zur Umsetzung einer Torsionsschwingung bei rotierenden Werkzeugen. Aus diesem Grund liegt derzeit auch kein fundiertes Wissen zu den, bei einer derartigen schwingungsunterstützten Bearbeitung von stark abrasiven kohlenstofffaserverstärkten Faserverbundwerkstoffen, vorherrschenden Wirkmechanismen. Mit Hilfe von grundlegenden Untersuchungen bei unterschiedlichen prozess- und schwingungstechnischen Randbedingungen soll diese Lücke geschlossen und die Wirkungsweise der zusätzlich aufgebrachten Ultraschallschwingung modellbasiert erläutert sowie anschließend in Form einer Prozessgestaltungsrichtlinie nutzbar gemacht werden.