

## Dissertationsthema:

### Beitrag zur Verbesserung der spanenden Bohrbearbeitung von CFK auf Basis von Schädigungsmechanismen

#### Tobias Pfeifroth

Der industrielle Einsatz von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) steigt aufgrund von Vorteilen wie der hohen spezifischen Festigkeit und Steifigkeit sowie der möglichen endkonturnahen Fertigung stark an. So kommen zu den Branchen wie der Luft- und Raumfahrtindustrie weitere wie die Automobil- oder Werkzeugmaschinenindustrie hinzu, die diesen Verbundwerkstoff einsetzen. Aufgrund des hohen Kostendrucks, vor allem in der Automobilindustrie, müssen die Kosten für CFK-Bauteile entlang der gesamten Herstellungskette signifikant reduziert werden, wobei in diesem Themenkomplex Defizite in den grundlegenden Kenntnissen vorhanden sind. Daraus leitet sich ein großer wissenschaftlicher Handlungsbedarf auch für die spanende Bearbeitung von CFK ab, die ein wichtiger Bearbeitungsschritt in der Herstellungskette darstellt.

In der vorliegenden Arbeit werden die Herausforderungen in der spanenden CFK-Bearbeitung dargelegt und darauf aufbauend Lösungsansätze entwickelt und untersucht. Werkstückseitig zählen die Bearbeitungsfehler Delamination, Ausfransung und Gratbildung zu den großen Herausforderungen. Bei der Delamination ist die maximal erzielbare Delamination  $F_{d,max}$  zu ermitteln und zu berücksichtigen, die aus der Kombination von Bohrungsdurchmesser und Faserarchitektur des Laminats berechnet werden kann. Der Bearbeitungsfehler Ausfransung wird in der vorliegenden Arbeit wie folgt definiert: Ausfransung ist das Überstehen eines geometrisch nicht exakt an der Bohrungsmantelfläche durchtrennten Faserstrangs in die Bohrung oder allgemein in die Soll-Kontur. Die Ausfransung entsteht durch Biegung des nicht exakt durchtrennten Faserstrangs um den Haltepunkt und kann auf den Verlust der Vorspannung, den Faserschnittwinkel und die Winkelposition der Schneide zurückgeführt werden. Die objektive Bewertung der Ausfransung ist mittels der in dieser Arbeit entwickelten Faktoren Faserfaktor  $F_{fibre}$  und Flächenfaktor  $F_{area}$  möglich. Ein weiteres Fehlerbild ist die Gratbildung, die auf zwei Mechanismen zurückgeführt werden kann. Zum einen auf das Ablagern von aufgeschmolzenem Matrixwerkstoff am Bohrungsrand, zum anderen auf das großflächige Verformen im Laminat mit Einlagern von Spangut. Eine weitere Herausforderung neben den Bearbeitungsfehlern ist der Werkzeugverschleiß, der hauptsächlich durch die Schneidenverrundung, die Verschleißmarkenbreite sowie den Freiflächenversatz bestimmt wird. Der fortschreitende Verschleiß mit zunehmender Anzahl an Bohrungen führt in der Bearbeitung zu steigenden Kräften, während eine Verschlechterung der Bearbeitungsqualität kaum erkennbar ist.

Auf Basis dieser Ergebnisse werden in der vorliegenden Arbeit Lösungswege und -konzepte untersucht, um diese Bearbeitungsfehler zu vermeiden. Zu den Lösungsansätzen zählen die Untersuchung der Bearbeitungsparameter sowie der Schwingungsüberlagerten Bohrbearbeitung. Die Untersuchung der Bearbeitungsparameter zeigt den Anstieg der Vorschubkraft mit steigendem Vorschub und steigender Schnittgeschwindigkeit, während das Bohrmoment mit steigender Schnittgeschwindigkeit sinkt. Der Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Bearbeitungsqualität ist sehr gering. Bei der Schwingungsüberlagerten Bohrbearbeitung ist mit dem Anstieg der Ultraschallamplitude eine Reduktion der Bearbeitungskräfte nachweisbar, während der Einfluss auf die Bearbeitungsqualität nicht eindeutig ist. Die Variation des Spitzenwinkels von Bohrwerkzeugen zielt auf die erste Trennung der Faserstränge im Bereich der Bohrungswand und somit auf die Reduktion der Bearbeitungsfehler ab. Die Untersuchungen zeigen eine deutliche Verbesserung der Bearbeitungsqualität bei der Bearbeitung mit Bohrwerkzeugen mit einem Spitzenwinkel von  $\sigma > 180^\circ$  am Bohrungseintritt. Am Bohrungsausritt hingegen erreichen diese Werkzeuge schlechtere Bearbeitungsqualitäten als die Bohrwerkzeuge mit einem Spitzenwinkel von  $\sigma < 180^\circ$ . Die Ziele der Beschichtung von HSS-Werkzeugen mit

speziellen Schichtsystemen für die CFK-Zerspanung sind die Erhöhung der Werkzeugstandzeit sowie die Verbesserung der Bearbeitungsqualität. Zwar reduzieren die beschichteten Werkzeuge die Bearbeitungskräfte, eine deutliche Steigerung der Bearbeitungsqualität und Werkzeugstandzeit wird jedoch nicht erzielt.

Abschließend werden die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse bezüglich der Bearbeitungsfehler und der Lösungsansätze an ausgewählten Verbundwerkstoffen angewendet. Das Verhalten in der Zerspanung ist bei der Bearbeitung von Hybrid-Verbundwerkstoffen ähnlich dem der CFK-Bearbeitung, während sich die MMC-Bearbeitung erheblich von der CFK-Zerspanung unterscheidet und besonders in der Ausprägung der Bearbeitungsfehler stark der Metallzerspanung ähnelt.