

Säge für die 5-Achsbearbeitung von Faserverbundkunststoffen

C6 Composite Tooling hat eine Säge für die 5-Achsbearbeitung von Faserverbundkunststoffen entwickelt. Sie hinterlässt delaminationsfreie Schnitte ohne Faserüberstände bei zugleich hohem Vorschub. Für die Bearbeitung von Flugzeugrümpfen oder Karosseriebauteilen bietet sie eine wirtschaftliche Alternative zum Fräsen.

Autoren



CLAUS STOLL
ist Geschäftsführer
bei der C6 Composite
Tooling GmbH in
Buchen.



PHILIPP WÖRMANN
ist Konstruktionsleiter
bei der C6 Composite
Tooling GmbH in
Buchen.

Nicht nur in der Automobilindustrie sind verkürzte Taktzeiten und minimale manuelle Nacharbeit oberstes Gebot, auch in der Luftfahrtindustrie gewinnt die Optimierung der Prozesse an Bedeutung. Um diesen Anforderungen bei der spanenden Bearbeitung von Faserverbundkunststoffen (FVK) gerecht zu werden, haben die Ingenieure von C6 eine neue Lösung für das Sägen moderner Verbundwerkstoffe entwickelt.

Die Straight & Curve genannte Verbundwerkstoffsäge erweitert den bekannten line-

aren Sägeschnitt um weitere Dimensionen. Es ist nun möglich mit einer 5-Achs-Simultanbearbeitung Freiformbauteile zu sägen, [Bild 1](#) und [Bild 2](#). Diese Fähigkeit ermöglicht es der Säge, in einen wirtschaftlichen Wettbewerb zu einer reinen Fräsoperation zu gehen und dabei gleichzeitig die Vorzüge einer Sägebearbeitung voll auszuspielen.

Die Zahngeometrie dieser Vollhartmetallsäge ermöglicht einen delaminationsfreien Fertigschnitt ohne Faserüberstände. Dadurch ist ein zusätzlicher Schlichtarbeits-

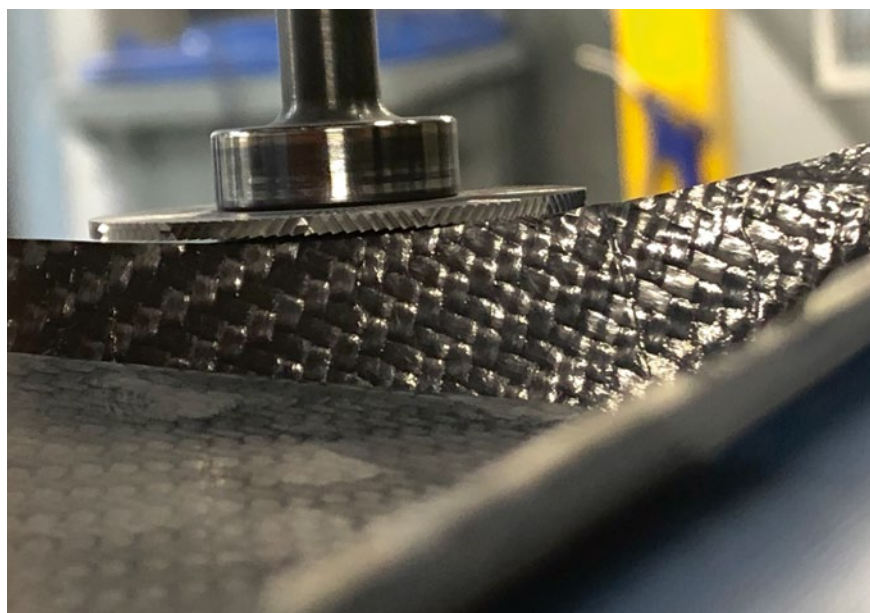


Bild 1 Säge im Einsatz (© C6)



Bild 2 Bearbeitung (links) und Schnittergebnis (rechts) eines Bauteils aus der Automobilindustrie (© C6)

gang mittels eines Fräswerkzeuges nicht mehr erforderlich. Neben dieser Einsparung erhöht sich die Wirtschaftlichkeit durch Vorschübe von bis zu 20 m/min.

Aufbau der Säge

Der Grundkörper der Säge besteht aus Hartmetall. Dort hinein werden Umfangs- und Flankenschneiden eingeschliffen. Die Detaildarstellung des Werkzeugs in Bild 3 zeigt die Flanken- und die Umfangsverzahnung. Je nach Art der Anwendung können die Sägen mit einer Diamantbeschichtung ausgeführt werden.

Gespannt wird der scheibenförmige Körper mit seiner zentrischen Bohrung auf einer Aufnahme. Hierbei kann die Aufnahme mit einem Hohlchaftkegel (HSK), Steilkegel (SK) oder einem herkömmlichen Schaft versehen werden.

Um unterschiedliche Anwendungen gerecht werden zu können, ist die Säge im Durchmesserbereich von 40 bis 125 mm verfügbar. Die Säge wird in unterschiedlichen Schnittbreiten angeboten. Die Varianz in der Schnittbreite bildet die ideale Kombination aus Stabilität und möglichem Spanaufnahmevermögen.

Für die 5-Achsbearbeitung liegen die Schnittbreiten der Säge zwischen 1,5 und 2,5 mm, abhängig von dem Bauteilmaterial und

dem Durchmesser der Säge. Für ausschließlich gerade Schnitte empfiehlt sich eine Schnittbreite von 1,2 bis 2 mm. Hierdurch können die Schnittkräfte und die Staubentwicklung reduziert werden. Eine weitere, wichtige Variable ist die Zähnezahl. Bei einer

Säge mit einem Außendurchmesser von 70 mm können problemlos bis zu 180 Zähne platziert werden. Hierbei können die Spirallrichtungen der Umfangsverzahnung in Gruppen gegenläufig gestaltet sein. Diese Anordnung erzeugt hervorragende Schnittqualität bei hohen Bearbeitungsvorschüben.

Unterschied zur gelöteten Säge

Ein wichtiger Aspekt ist die Entkoppelung der Umfangsverzahnung von der Flankenverzahnung, Bild 3. Dadurch können beide Verzahnungen ideal auf ihre Anforderungen abgestimmt werden. Bei herkömmlichen, gelöteten Sägen, die beispielsweise mit Hartmetall oder Diamant bestückt sind, ist diese Gestaltung nicht möglich. Zwar kommen auch hier Gruppenverzahnungen zum Einsatz, doch ein ähnlicher Effekt lässt sich hier nicht einstellen.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Ausführungen ist die Art der Flankengestaltung. Bei herkömmlichen, gelöteten Sägen befindet sich im Zahnkranz zwischen den Zähnen ein Stück nichtschneidender Grundkörper. Bei der Verbundwerkstoffsa-ge reihen

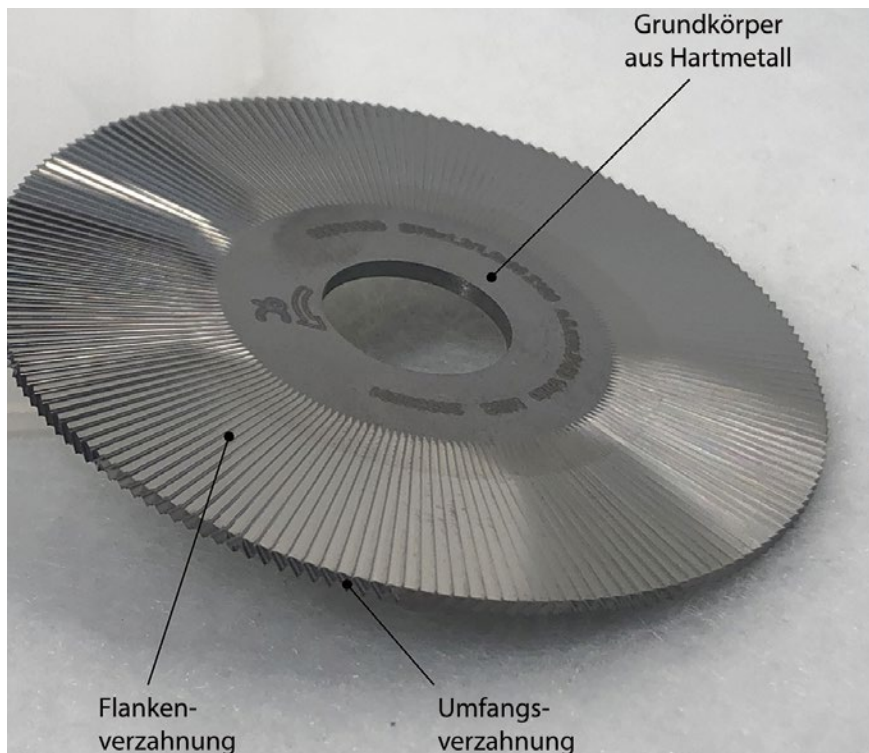


Bild 3 Detailansicht der Säge (© C6)

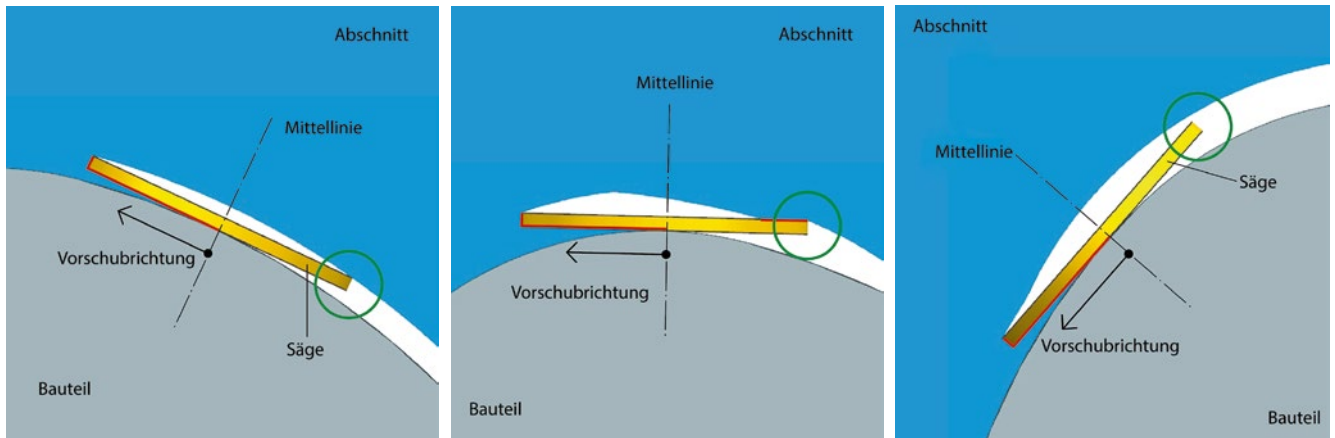


Bild 4 Sägen bei konstanter (links), zunehmender (Mitte) und abnehmender Krümmung (rechts) in Vorschubrichtung (© C6)

sich die Zähne der Flankenverzahnung lückenlos aneinander. Das bedeutet, Spanraum und Freifläche folgen aufeinander, Bild 3. Die Flankenverzahnung bildet einen durchgängigen Ring.

Diese Gestaltung ist die Basis, um gekrümmte Bahnen sägen zu können. Die Flankenverzahnung verhindert, dass ein nicht schneidender Grundkörper mit dem zu zerspanenden Werkstoff in Kontakt kommt und eine ungewollte thermische Belastung resultiert.

Die Säge im Prozess

Für die Bearbeitung von Freiformbauteilen werden in der Regel Schaftfräser verwendet. Neben einigen Bearbeitungen mit der Stirnseite des Fräswerkzeugs entsteht die Schnittkante in der Regel durch die Umfangsschneiden des zylindrischen Werkzeugs. Zudem kann das Fräswerkzeug im Gleich- oder im Gegenlaufbetrieben werden. Je nach Material und Beschnittkontur kann eine der beiden Strategien bessere Ergebnisse erzielen. Da es sich oft um einen Trennschnitt handelt, liegt ein Unterschied darin, ob die Gegenlaufrichtung am Bauteil oder am Abschnitt wirkt. Im Trennschnitt beträgt der Eingriffswinkel des Schaftfräasers 180°. Im Wesentlichen unterscheiden sich Gegenlauf und Gleichlauf beim Schaftfräser in der Spanbildung. Bei der einen Strategie entsteht, aufgrund der zyklidförmigen Bahn der Schneide, ein kommaförmiger Span der im Schnitt an Dicke zunimmt. Bei der anderen Strategie

nimmt die Dicke ab. Der Wechsellpunkt zwischen Gleich- und Gegenlauf befindet sich bei einem Eingriffswinkel von 90°.

Im Vergleich zum Fräsen entstehen beim Sägen weitere Effekte, die näher erläutert werden sollen: Bei einem geraden Schnitt wirkt sich der Lauf – also Gegen- oder Gleichlauf – bei der Säge auf die Schnittfläche des Bauteils und des Abschnitts gleichermaßen aus. Wird die Säge im Gleichlauf betrieben, entstehen beide Schnittflächen durch Gleichlaufsägen. Der wesentliche Unterschied besteht in der Betrachtung der Schnittkanten. Wenn der Sägezahn in der oberen Bauteiloberfläche eintritt, muss er im Trennschnitt zwangsläufig aus der unteren Bauteiloberfläche aus dem

Material austreten. Wird die Laufrichtung umgedreht, kehrt sich der Effekt um.

Bei einigen Anwendungen ist die Laufrichtung unerheblich. Allerdings kann in einigen Fällen, wie zum Beispiel bei empfindlichen Overlay-Folien, dieser Effekt positiv genutzt werden, um die Kantenqualität zu verbessern.

Sägen entlang von Krümmungen

Wird mit der Säge eine konstante Krümmung in Vorschubrichtung bearbeitet, bedeutet dies das Arbeiten an einem definierten Radius. Dieser Fall ist in Bild 4 (links)

Krümmung im Sägeprozess

Die Krümmung ist ein Begriff aus der Mathematik und beschreibt die Abweichung von einer ebenen Fläche. Die Oberflächen der Bauteile bestehen in vielen Fällen aus Freiformflächen, sodass ein Radius nicht bemaßt werden kann. Zudem weisen die Oberflächen Formänderungen in mehrere Richtungen gleichzeitig auf. Aus diesem Grund wird der Begriff der Krümmung genutzt, um die Oberflächen der Bauteile zu werten. Die Krümmung ist wie folgt definiert:

$$K = \frac{1}{R} \quad \text{Gl. (1),}$$

wobei K die Krümmung und R den Radius beschreibt. Im Wesentlichen werden bei der Eignungsprüfung der Bauteile für den 5-Achssägeprozess die drei unterschiedlichen Fälle betrachtet:

- ▶ konstante Krümmung in Vorschubrichtung
- ▶ Krümmung nimmt in Vorschubrichtung zu
- ▶ Krümmung nimmt in Vorschubrichtung ab.

dargestellt. Nach einem kurzen Übergangsbereich zu Beginn trennt die Säge das Material ausschließlich im vorderen Bereich, im Bild rot markiert. Je nach Materialdicke, Außendurchmesser und Eintauchtiefe zerspannt das Werkzeug das Material nur auf der Innenseite der Krümmung bis zur Mittelachse. Im Bereich der Mittelachse wird die Konturtreue erzeugt. In diesem Fall ist für die Schnittqualität allein die Flankenverzahnung verantwortlich. Da auf der Außenseite der Krümmung die Zähne der Flankenverzahnung an dem Schnittprozess nicht teilnehmen, grüner Kreis im Bild, wird der Abschnitt nicht oder nicht stark in Schwingungen versetzt.

Zunehmende Krümmung in Vorschubrichtung liegt beispielsweise bei einer archi-

Bereich findet die Zerspanung statt. Dieser Effekt wird auch als Nachschnitt des Werkzeugs beschrieben. Je nach Stärke der Änderung der Krümmung kann durch unterschiedliches Anstellen der Säge auf diesen Effekt positiv Einfluss genommen werden. Nun kann der Gedanke von Gleich- und Gegenlauf wiederaufgenommen werden, da an dieser Stelle dessen Auswirkungen nicht unerheblich sind. Durch die im vorliegenden Fall ideal eingesetzte Laufrichtung kann trotz des Nachschnitteffekts die Qualität positiv beeinflusst werden.

Im Fall einer abnehmenden Krümmung in Vorschubrichtung besteht ein Abstand zwischen dem hinteren Teil der Säge und dem Material. Die Säge schneidet das Material, wie im Fall der konstanten Krümmung,

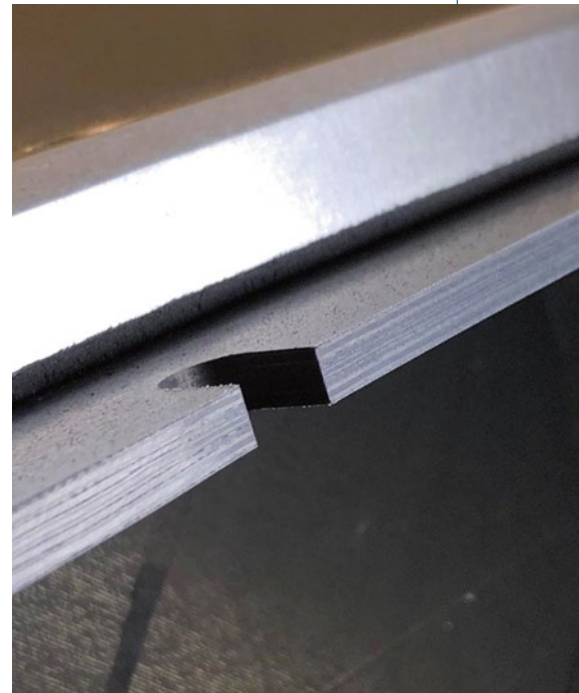


Bild 6 Beispiel für ein Bearbeitungsergebnis aus der Luftfahrt (© C6)

Ein Nebeneffekt ist die um 85 % reduzierte Staubemission.

medischen Spirale vor, wenn in Richtung Zentrum gesägt wird. In diesem Fall zerspannt die Flankenverzahnung auf der Außenseite mit, wie in Bild 4 (Mitte) im grünen Kreis rot dargestellt. Mit dem hinteren

ausschließlich mit dem vorderen Teil. Im grünen Kreis in Bild 4 (rechts) besteht kein Kontakt zwischen Werkzeug und Abschnitt.

Durch die Bauteilgeometrie beziehungsweise durch die Bauweise der Vorrichtung kann es kollisionsbedingt zu Einschränkungen für den Einsatz der Säge kommen. In diesem Fall kann durch die Verwendung eines C6-Winkelkopfs, Bild 5, der geometrische Konflikt aufgehoben und somit der kollisionsfreie Einsatz der Säge ermöglicht werden. Ein Beispiel für das Bearbeitungsergebnis eines Bauteils zeigt Bild 6.

Bearbeitung anderer Materialien

Hinsichtlich der zu bearbeitenden Materialien hat die FVK-Säge im Vergleich zu einem herkömmlichen Fräser einen weit größeren Einsatzbereich. Neben der Zerspannung von reinen FVK-Bauteilen, hergestellt durch Verfahren wie Resin-Transfer-Molding (RTM) oder Nasspressen mit Kettfäden, sind auch Materialverbunde mit Folienoverlay, Kupfer- oder Aluminiummesh geeignet, um mit der entwickelten Säge

bearbeitet zu werden. Eine Bearbeitung weiterer Materialien beziehungsweise Materialkombinationen ist möglich, bedarf jedoch einer Prüfung.

Fazit

Die prägnantesten Vorteile der entwickelten FKV-Säge sind die möglichen hohen Vorschübe bei der Bearbeitung und die hohe Qualität der erzeugten Schmalkante. Dieser Umstand ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Taktzeit und eine Minimierung einer manuellen Nacharbeit. Die verringerte Taktzeit kann wiederum eine zusätzliche Schicht oder sogar eine Investition in eine weitere Maschine überflüssig machen. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist die gegenüber der Bearbeitung mit einem herkömmlichen Schaftfräser um bis zu 85 % reduzierte Staubemission.

Die prädestinierten Einsatzfälle für die Säge sind Bauteile mit langen Bearbeitungsbahnen und relativ große Radien. Beispielsweise die Bearbeitung von Stringer an Flugzeugrümpfen oder Karosseriebauteile wie Dächer oder Frontklappen aus der Automobilindustrie. ◀



Bild 5 Die Säge im Winkelaggregat (© C6)