Inklusive Bohrungen und Kantenversiegelung

Neues Pressverfahren für dreidimensionale Prepregs

Die MBB Fertigungstechnik in Beelen hat ein Verfahren zur Vermeidung von Kontaktkorrosion für kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffkomponenten entwickelt, bei dem die nachträgliche mechanische Bearbeitung entfällt. Ein Prototypenwerkzeug wurde bereits in Betrieb genommen und mit ersten Versuchen validiert.

Eine wesentliche Herausforderung beim Einsatz von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff (CFK) in der Großserie ist das edlere Verhalten der Kohlenstofffasern gegenüber Metallen. Bei direktem Kontakt von Fasern und Metallen wird entsprechend den Gesetzen der elektrochemischen Spannungsreihe das Metall abgebaut. Es kommt zur Kontaktkorrosion, und das metallische Bauteil wird über den Werkstoffabtrag zerstört.

Dieser Nachteil berührt einerseits die Verbindungstechnik selbst, andererseits die Montage von CFK. Die Luftfahrtindustrie begegnet dem Problem in der Verbindungstechnik mit hochlegierte Titannieten mit einer möglichst geringen Potenzialdifferenz zu den Kohlenstofffasern. Im Bereich der Montage setzt die Industrie auf die Kantenversiegelung, das sogenannte Edge Sealing.

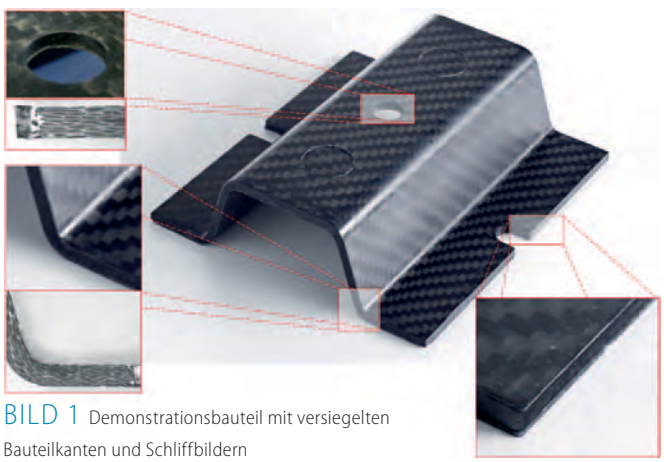


BILD 1 Demonstrationsbauteil mit versiegelten Bauteilkanten und Schliffbildern

»Der Druck gewährleistet, dass die Bauteilkanten ausreichend versiegelt sind und im Anschluss das überschüssige Harz in die Harzkavitäten abgeleitet wird.«

Robert Bühlmeyer ist Leiter CoC Werkzeuge / Composite bei der MBB Fertigungstechnik GmbH in Beelen.

Zur Zeit wird dies fast ausschließlich manuell durchgeführt. Daraus resultieren extrem hohe Prozesszeiten sowie Qualitätsschwankungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Mitarbeiter, da eine industrialisierte Lösung nicht am Markt verfügbar ist. Hochlegierte Nieten sowie manuelle Arbeitsschritte mit langen Prozesszeiten sind deutliche Hindernisse auf dem Weg zum wirtschaftlichen Einsatz von CFK.

Durch die Erfahrungen in verschiedenen Luftfahrt-Forschungsprojekten hat die MBB Fertigungstechnik nun an einer Lösungsmöglichkeit gearbeitet, um der Herausforderung der Kontaktkorrosion zu begegnen. Dazu wurde in zweijähriger Entwicklung ein Verfahren eigeninitiativ konzipiert, patentiert und in einem Demonstrationswerkzeug eingesetzt. Das Verfahren ermöglicht es, die Kohlenstofffasern im Matrixwerkstoff zu isolieren und damit hohe Prozesskosten und Qualitätsschwankungen auszuschließen, Bild 1.

Vorrangig wurde die Verarbeitung von Prepregs (Vorimprägnierte Faserhalbzeuge) untersucht. Diese gewährleisten, dass die erwarteten Bauteilcharakteristika, wie Faservolumengehalt, Lufteinschlüsse und weitere Punkte, exakt eingehalten werden. Die Bauteileigenschaften im Faserverbundbereich hängen sehr stark von diesen Parametern ab, sodass die MBB Fertigungstechnik weiterhin ein sehr hohes Potenzial für Prepregs sieht – gerade in performancegetriebenen Anwendungen.

DER PREPREG-FERTIGUNGSPROZESS

Zur Validierung des Konzeptes wurde ein Hutprofil ausgewählt. Das Demonstrationsbauteil zeichnet sich durch enge Radien, Bohrungen, schräge Wandungen und weiteren Freimachungen aus. Das Verfahren wird anhand des Einsatzes einen duroplastischen Prepregs erläutert. Ein solches Bauteil erfordert hohe technische Aufwendungen im Bereich der Fertigungstechnik, Bild 2.

LAGEN LEGEN

Die Prepreglagen werden in einem vorgeschalteten Prozess auf die gewünschte Kontur konfektioniert. Die Lagen werden zum spezifischen, zweidimensionalen Lagenaufbau abgelegt. Anschließend erfolgt die Bereitstellung für den weiteren Prozessdurchlauf. Der Sondermaschinenbau bei MBB entwickelte zum Ablegen der Lagen die entsprechende Automatisierungstechnik.

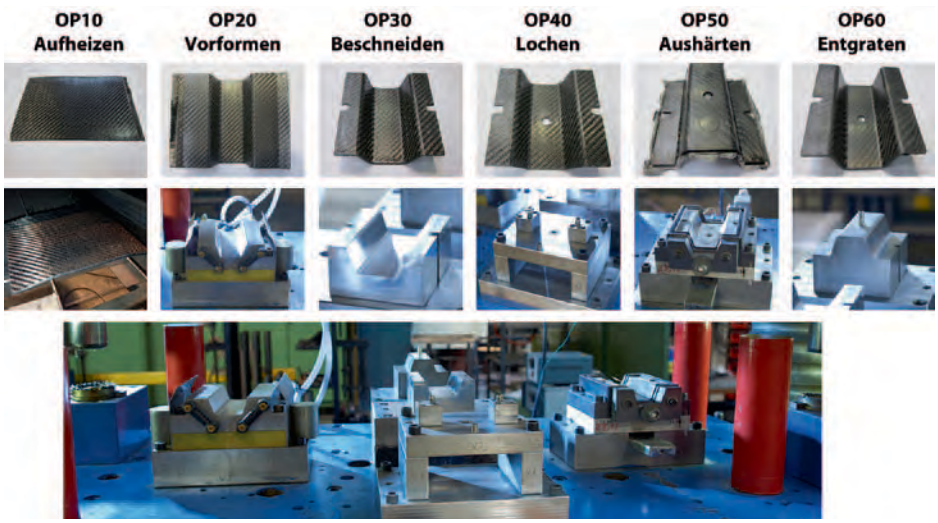


BILD 2 Prozessablauf des Prepregpressens

VORFORMEN

Danach wird dem Lagenpaket für einige Sekunden in einem Infrarot-Strahlerfeld Wärme zugeführt. Dieser Vorgang dient dazu, den Verbund an Prepreglagen besser vorformen zu können. Das Abgleiten der Prepreglagen zueinander im Umformvorgang wird damit ebenfalls begünstigt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass beim Einsatz

»Durch die Schneidoperationen darf es zu keiner Beeinträchtigung der Versiegelung kommen, sodass Faserenden wieder frei liegen könnten.«

Dipl.-Wirt.-Ing. Matthias Sprinke arbeitet im technischen Vertrieb CoC Werkzeuge/Composite bei der MBB Fertigungstechnik GmbH in Beelen.

von Duroplast die Vernetzung unter Wärmeeinwirkung nicht fortschreitet. Sobald das Prepreg die geforderte Temperatur erreicht hat, wird das erwärmte Lagenpaket in die Vorformstufe eingelegt.

Die Vorformstufe ist ein kühlbares Werkzeug, dessen Kavität der dreidimensionalen Komplexität des späteren Bauteils entspricht, Bild 3. Je nach Prepreg-Material wird diese Stufe durch eine entsprechend dimensionierte Kühleinheit temperiert.

In der Vorformstufe wird das eingelegte Lagenpaket durch das zufahrende Werkzeug umgeformt und innerhalb weniger Sekunden abgekühlt. Das Abkühlen lässt einen formstabilen Vorformling entstehen. Es kommt zu einer ersten Kompaktierung des Faser-Matrix-Verbunds. Am Ende dieser Stufe steht ein vorgeformter und vorkompaktierter Vorformling für die nächsten Prozessschritte bereit.

BESCHNITT

Der Vorformling erhält nun seine finale Kontur in der Schneidstufe, ebenso erhält er dort seine Lochungen. An dieser Stelle kommt ein speziell entwickeltes Stanzwerkzeug zum Einsatz.

Der gekühlte Vorformling lässt sich nun durch die Stanzoperation besäumen. Da das Harz weiterhin gekühlt und somit deutlich stabiler ist, kann das Stanzwerkzeug die Operation ohne Anhaftung durchführen. Es ist ebenso gewährleistet, dass kein Harz oder Fasern in den Schneidspalt gezogen werden. Der Zuschnitt erzeugt umlaufend die Endkontur des späteren Bauteils. Allerdings werden hier im 1/10-mm-Bereich die Abmessungen der Endkontur unterschritten, Bild 4.

Es können die verschiedensten Lochungen mit den unterschiedlichsten Geometrien erzeugt werden. Allerdings muss im Vorfeld die jeweils verwendete Matrix/Faser-Kombination getestet werden. In Langzeittests mit verschiedenen Materialien, wie Kohlenstoff-, Glas- und Naturfasern, hat sich gezeigt, dass die Schneidwerkzeuge der Schneidstufe, Bild 5, nur einer minimalen Abnutzung unterliegen.

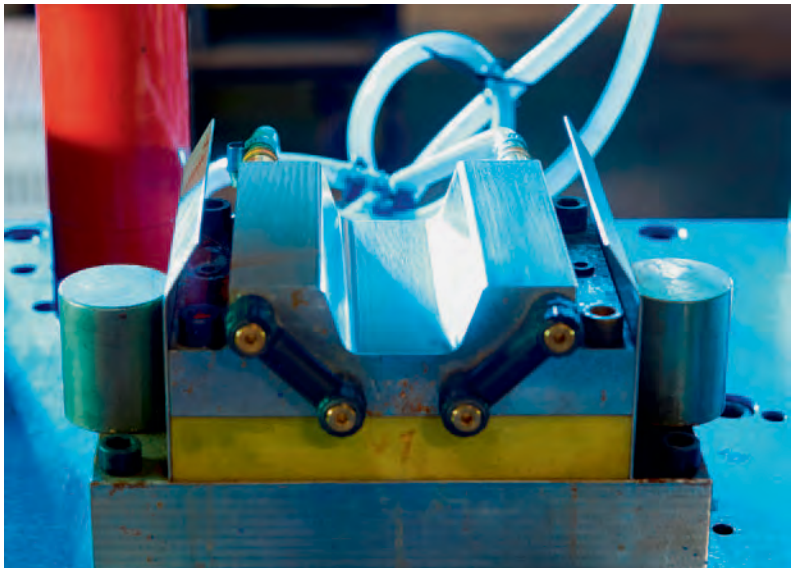


BILD 3 Kühlstufe des Prototypenwerkzeugs

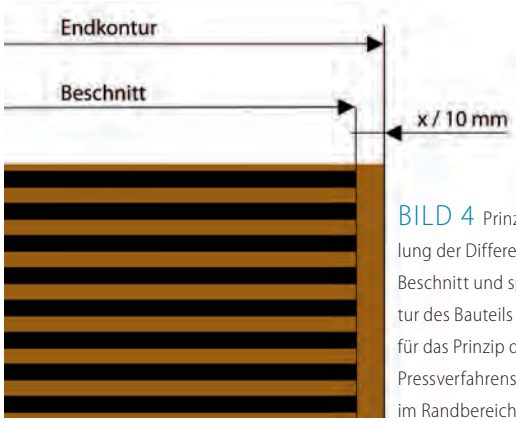
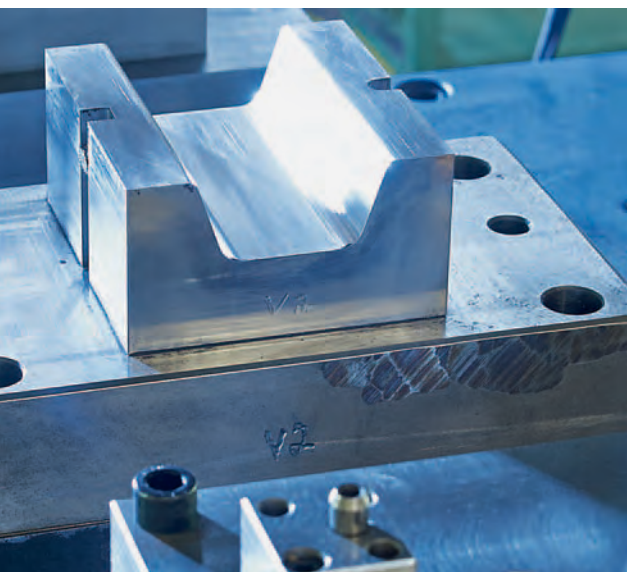


BILD 4 Prinzipielle Darstellung der Differenz zwischen Beschnitt und späterer Endkontur des Bauteils als Grundlage für das Prinzip des neuen Pressverfahrens, Darstellung im Randbereich

BILD 5 Schneidstufe des Prototypenwerkzeugs



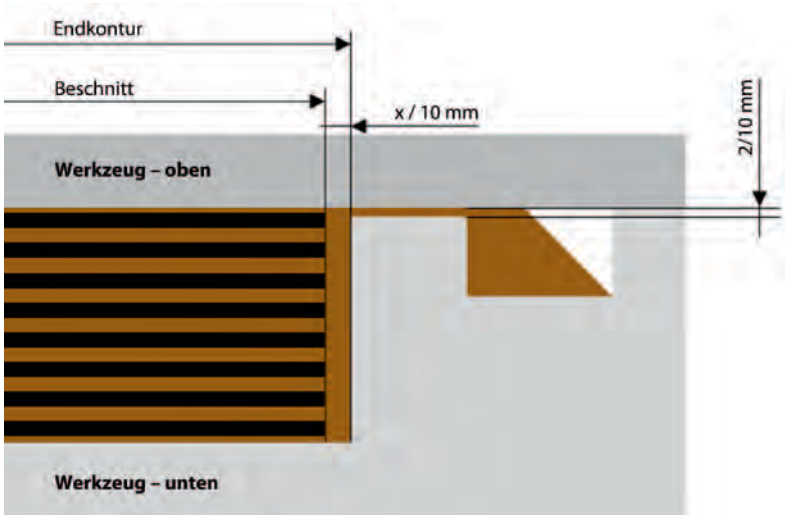


BILD 6 Prinzipdarstellung der Aushärtestufe im Randbereich des Bauteils, Fließspalt und Harzkavität sind ebenfalls abgebildet

AUSHÄRTEN

Nach dem Durchlauf der vorgelagerten Stufen steht ein vorgeformter, formstabiler Preform mit Endkontur zur Verfügung. Zum Aushärten wird ein zweiteiliges Presswerkzeug verwendet. Der Preform (Vorformling) wird in das Presswerkzeug eingelegt. Je nach Matrixmaterial werden zur Aushärtung die entsprechenden Temperaturkurven abgefahren oder in isothermen Prozessen hochreaktive Harzsysteme mit kurzen Taktzeiten verarbeitet.

Durch die Wärmezufuhr verändert die Matrix die Viskosität. Es kommt zum Fließen der Matrix. Durch den parallel aufgebrachten Druck wird die Matrix über die Ränder der beschnittenen Faserenden gedrückt und füllt den Raum zwischen Werkzeugkavität und dem minimal zu klein geschnittenen Vorformling auf, Bild 6.

Dieser Zustand wird während der Vernetzung bis zum Erreichen der Formstabilität gehalten, somit werden die freien Ränder mit der Matrix bedeckt beziehungsweise versiegelt. Überschüssiges Harz, das aus dem Verbund gedrückt wurde, wird über einen schmalen Fließspalt in die Harzkavitäten abgeleitet. Der möglichst dünn ausgeführte Fließspalt ist auch für den Druck im Bauteil verantwortlich, Bild 7. Denn der Druck gewährleistet, dass die Bauteilkanten ausreichend versiegelt sind und im Anschluss das überschüssige Harz in die Harzkavitäten abgeleitet wird.

Nach Abschluss des Zyklus wird das Bauteil entnommen und für den nächsten Prozessschritt bereitgestellt. Bild 8 zeigt das Schliffbild des ausgehärteten Bauteils mit versiegelten Kanten. Aktuell finden parallele Untersuchungen zum Einsatz von Dauertrennschichten statt.

ENTGRATEN

Wenn das Bauteil die Form verlassen hat, verbleibt ein Harzgrat mit der Höhe des Fließspaltes (1/10mm) und der entsprechenden Harzkavität. Um diesen zu entfernen, wird eine weitere Trennoperation durchgeführt. Besondere Beachtung gilt an dieser Stelle den Bauteilkanten. Durch die Schneidoperationen darf es zu keiner Beeinträchtigung der Versiegelung kommen, sodass Faserenden wieder frei liegen könnten.

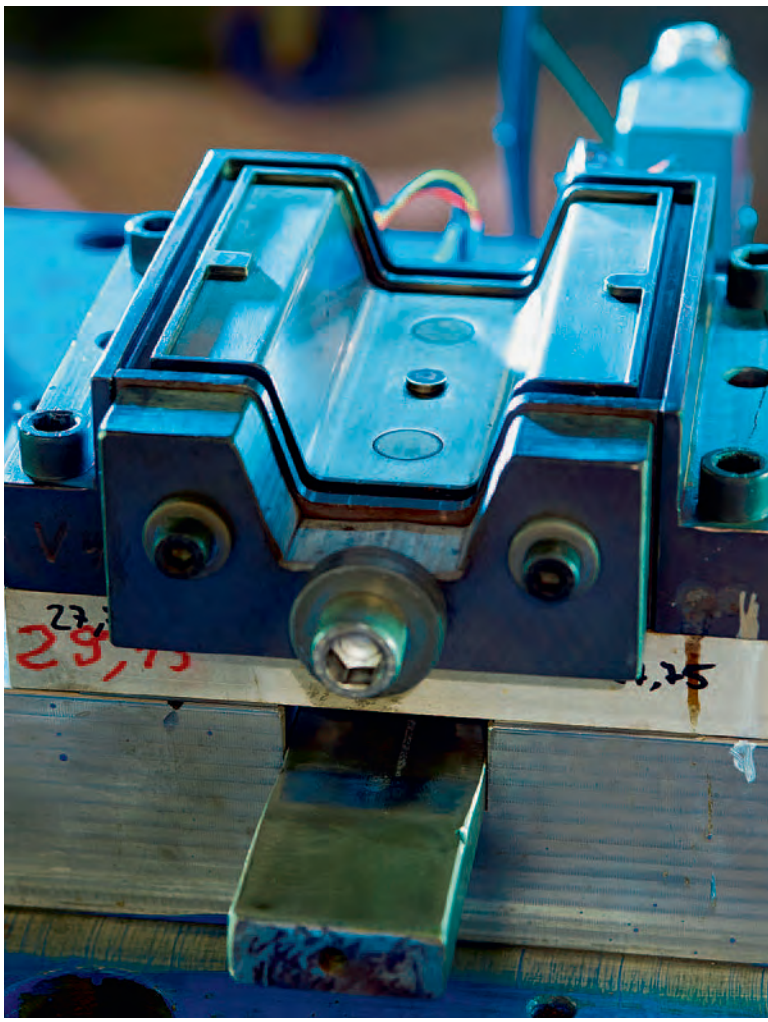


BILD 7 Aushärtestufe des Prototypenwerkzeugs mit umlaufender Harzkavität und ausgehärtetem Bauteil im geöffneten Zustand

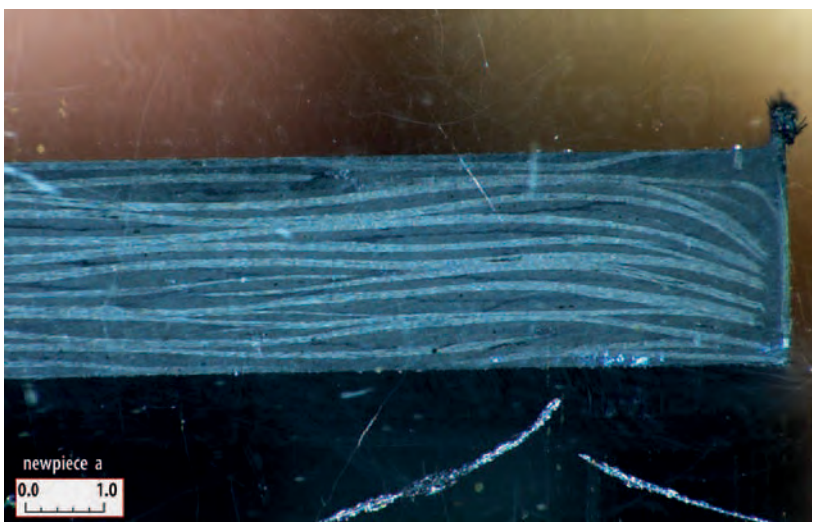


BILD 8 Schliffbild des ausgehärteten Bauteils mit versiegelten Kanten, aktueller Stand Prototypenwerkzeug

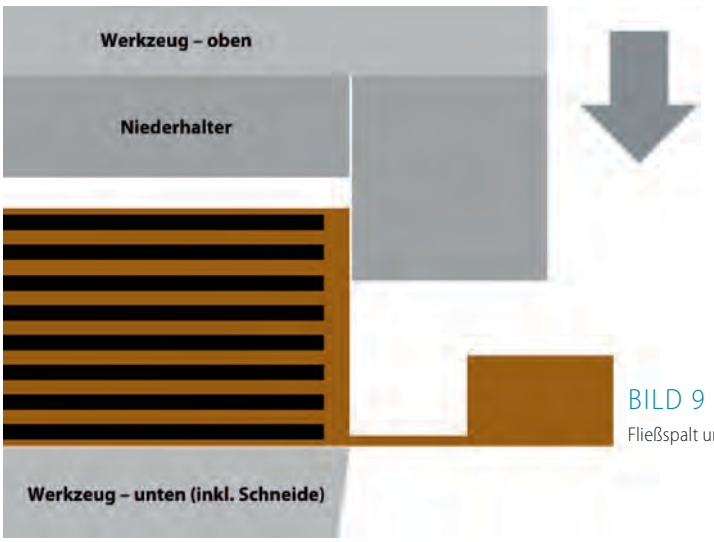


BILD 9 Prinzipdarstellung der Entgratstufe im Randbereich des Bauteils, Matrix aus Fließspalt und Harzkavität können ohne Schädigung der Fasern abgetrennt werden

Die Trennung des Harzgrates geschieht also, ohne die versiegelten Kanten durch Materialausrisse zu beschädigen. Daher ist die Höhe des Fließspaltes in Abhängigkeit von Druck und Bauteilgeometrie möglichst gering zu wählen.

Nach Abschluss der Entgratoperation, Bild 9, liegt ein fertiges Bauteil mit versiegelten Kanten vor, Bild 10. Es kann direkt in die anschließenden Montageprozesse eingehen. Eine finale mechanische Bearbeitung ist nicht mehr notwendig. Die vorgeschaltete Beschnittstufe hat die Endkontur erzeugt. Man kann auch nunmehr konventionelle Verbindungstechnik einsetzen. Ebenso werden so Korrosionserscheinungen zu Metallteilen nach der Montage vermieden.

EINSATZMÖGLICHKEITEN DES VERFAHRENS

In der Luftfahrt sind die Anforderungen an die Bauteile besonders hoch. Daher ergeben sich vor allem in dieser Industrie vielfältige Anwendungs- und Ausbaumöglichkeiten. Aktuell fährt die MBB Fertigungstechnik in Beelen viele Versuche zum Einsatz von Duroplasten und Thermoplasten. So würde sich das Verfahren für die Fertigung

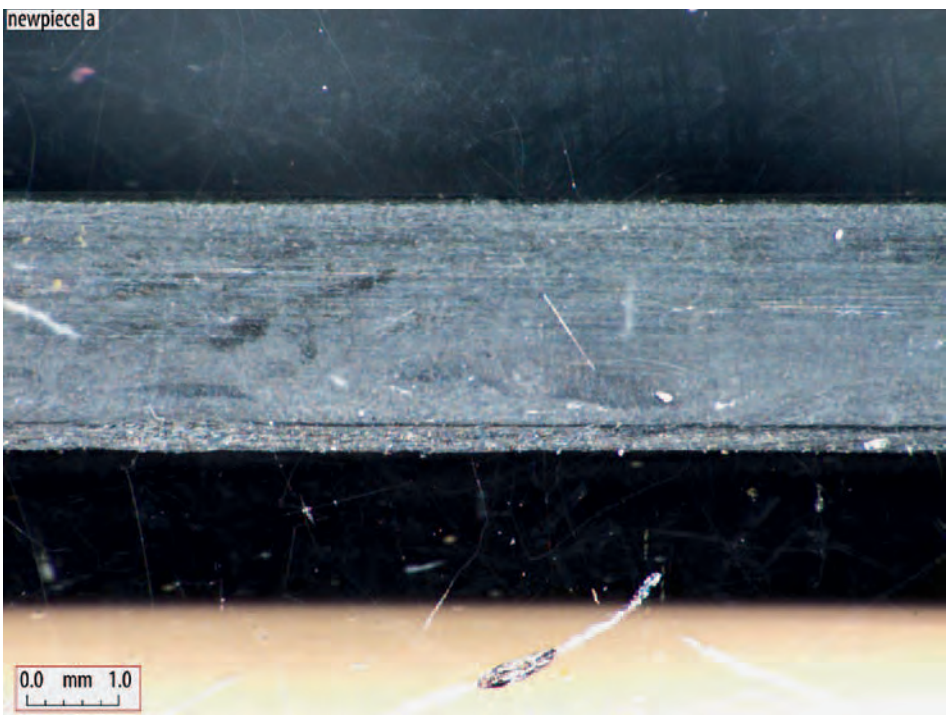


BILD 10 Mikroskopaufnahme der versiegelten Bauteilkante; im unteren Bereich der Kante ist die Bruchstelle des Harzgrates zu erkennen – aktuell noch mit Fasern, die durch eine weitere Verringerung der Höhe des Fließspalts sowie durch die Verringerung der Beschnittstufe zu optimieren ist

von Clips im Rumpfbereich anbieten. Darüber hinaus lässt sich das Verfahren auch zur Herstellung von komplexen Bauteilen im Rumpf sowie im Interiorbereich in der Luftfahrt einsetzen.

AUSBLICK

Insgesamt betrachtet bietet der Einsatz von Prepregs ein hohes wirtschaftliches Potenzial. Daher wird die Realisierung von Lösungen für die wirtschaftlichen Serienfertigungen von Stückzahlen > 10.000 in diesem Bereich angestrebt. Die MBB Fertigungstechnik sieht hier Lösungen in der Kombination der Composite-Erfahrungen des Werkzeugbaus und in den Kompetenzen im Sondermaschinenbau entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Das neue Pressverfahren für Prepregs soll insbesondere in der Luftfahrt für kosteneffizientere Prozesse und eine hohe Qualität von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffkomponenten sorgen. Aber auch der Automobilbereich sowie der Industrie generell können von den Vorteilen des Verfahrens entsprechend der individuellen Anforderungen profitieren.

Über den Bereich der Kohlenstofffasern hinaus eignet sich das Verfahren ebenso für Glas- oder Naturfasern, auch wenn hier nicht die Problematik der Kontaktkorrosion besteht.

Das Verfahren für Komponenten aus Naturfasern erzeugt weitere positive Effekte. Die Kantenversiegelung tritt an dieser Stelle einer möglichen Wasseraufnahme entgegen. Die verstärkenden natürlichen Materialien werden vom Matrixmaterial umschlossen. Bisher wurden verschiedene Naturfaserkombinationen mit Erfolg erprobt.

Ebenso wird weiter an der Werkzeugtechnik entwickelt. Ziel ist es die Komplexität der erzeugten Bauteile noch weiter zu steigern. Um die Effizienz des mehrstufigen Verfahrens weiter zu erhöhen, werden verschiedene Techniken zum Beschnitt mit Schiebern betrachtet. Kostenintensive Anlagentechnik wird aus der Prozesskette eliminiert.

Die Autoren

ROBERT BÜHLMEYER ist Leiter CoC Werkzeuge/Composite bei der MBB Fertigungstechnik GmbH in Beelen.

DIPL.-WIRT.-ING.MATTHIAS SPRINKE arbeitet im technischen Vertrieb CoC Werkzeuge/Composite bei der MBB Fertigungstechnik GmbH in Beelen.