

Heizmodul der SVK-Anlage. Das UD-Tape-Gelege wird mit IR-Strahlung durch die Werkzeugwände hindurch über die Schmelztemperatur des Thermoplasts erwärmt

(© Fraunhofer ICT)



Effizient zum maßgeschneiderten Organoblech

Wirtschaftliche CFK-Herstellung im Vakuum mit Infrarotstrahlung

Ein neuartiger Prozess ermöglicht die wirtschaftliche Konsolidierung von thermoplastischen, faserverstärkten Halbzeugen in hoher Qualität. Dabei wird das Material durch Infrarotstrahlung erhitzt und im geschlossenen Werkzeug schnell und effizient unter Vakuum konsolidiert.

Viele Leichtbauprojekte konzentrieren sich aktuell auf endlosfaserverstärkte Thermoplaste. Im Vergleich zu konventionellen duromeren Systemen überzeugen sie bei der Verarbeitung mit kürzeren Zykluszeiten, hoher Funktionsintegration und geringer Fehlstellenempfindlichkeit. Die ersten Bauteile aus gewebeverstärkten Thermoplast-Halbzeugen, sogenannten Organoblechen, sind daher auf dem Weg in die Serienanwendung bzw. bereits in Kraftfahrzeugen integriert: als Sitzschale, Bremspedal oder Haltestrukturen. Auch in der Sportartikelindustrie und der Smartphone-Sparte kommen die Materialien bereits zum Einsatz.

Um die Verschnittkosten zu reduzieren sowie komplexe, lastpfadgerechte Faserorientierungen und profilierte Wanddicken abbilden zu können, arbeiten For-

scher bereits mit Hochdruck an der nächsten Leichtbaustufe – der Verwendung unidirektional faserverstärkter Halbzeuge („UD-Tapes“). Diese können beim Thermoplast-Tapelegen nach Belieben entsprechend den Lastpfaden im Bauteil angeordnet und gestapelt werden. In der Serienfertigung eignen sich dafür schnelle und automatisierte Anlagen, z.B. die Fiberforge-TFP-Anlage (Fiberforge Tailored Fiber Placement, Anbieter: Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagenbau, Espingen).

Thermoplast-Tapelegen mit definiertem Eigenschaftsprofil

Die Prozesskette des Thermoplast-Tapelegens mit der Fiberforge-TFP-Technik besteht aus folgenden Kernprozessen (**Bild 1**):

- Tapeauswahl,
- Tapelegen,
- Konsolidieren,
- Umformen und Hinterspritzen bzw. Hinterpressen.

Das hohe Interesse der Automobilbranche hat dazu geführt, dass sich die Anlagenhersteller intensiv mit der Weiterentwicklung der Tapelegetechnik beschäftigen. So hat Dieffenbacher bereits angekündigt, noch in diesem Jahr eine neue Generation der Fiberforge-TFP-Anlage auf den Markt zu bringen, die mit einer deutlich höheren Produktivität und Effizienz die Ansprüche der Automobilindustrie für die Großserie erfüllen soll.

UD-Tapes sind mit unterschiedlichster Polymermatrix (PP bis PEEK) und verschiedenen Fasertypen (Glas- und Kohlenstofffasern) kommerziell verfügbar.

Das entsprechende Halbzeug lässt sich nach dem angestrebten Eigenschaftsprofil und Budget auswählen. Beim anschließenden Tapelegen wird das Tape in unterschiedlichen Breiten von der Rolle abgewickelt, zugeschnitten, schichtweise abgelegt und lokal verschweißt. Auf diese Weise entstehen in einem vollautomatischen Prozess maßgeschneiderte, lose geheftete Halbzeuge mit optimierter Faserorientierung und minimiertem Verschnitt.

Zweck des anschließenden Konsolidierens ist es, die Einzelschichten aus Faser und thermoplastischem Kunststoff unter Druck und Temperatur fehlerstellenfrei zu verbinden und den Porengehalt zu verringern. Schließlich wird das konsolidierte Gelege umgeformt und zugleich hinterspritzt oder hinterpresst, um das fertige Bauteil zu erhalten.

Konsolidieren als wichtige Qualitätsvorstufe

Der Prozessschritt des Konsolidierens ist die Grundlage für eine schnelle und pro-

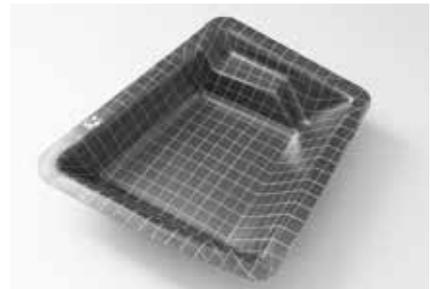
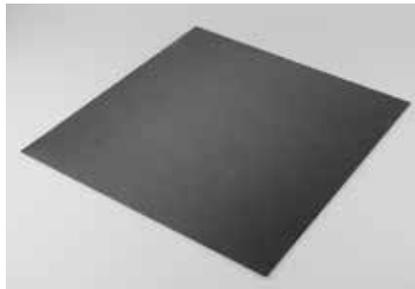


Bild 1. Das Thermoplast-Tapelegen reiht die Prozessschritte Tapeauswahl, Tapelegen, Konsolidieren sowie Umformen und Hinterspritzen bzw. Hinterpressen (v.l.n.r.) aneinander (© Fraunhofer ICT)

zessichere Weiterverarbeitung des Endlosfaserhalbzeugs zum fertigen Bauteil. Um ein reproduzierbares Umformverhalten zu porenfreien Bauteilen sicherzustellen,

muss zunächst die eingeschlossene Luft zwischen den Einzelschichten entfernt werden (**Bild 2**). Neben einer fehlerstellenfreien Verbindung der einzelnen »

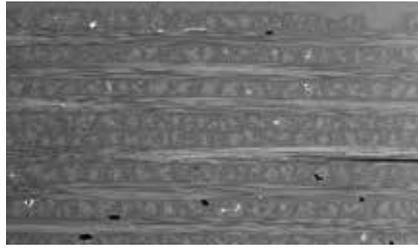


Bild 2. Mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) aufgenommene Schlißbilder von konsolidierten Gelegen (Kreuzlaminat) mit niedrigem (links) und hohem Porengehalt (rechts). Die Poren sind hier als schwarze und weiße Bereiche zu erkennen (© Fraunhofer ICT)

Schichten sollen beim Konsolidieren die Imprägniergüte verbessert sowie die Faserverschiebungen durch Quetschfluss minimiert werden. Damit wird die höchste mechanische Leistungsfähigkeit möglichst ohne Materialschädigung und gleichzeitig mit minimalen Prozesskosten angestrebt.

Aktuell werden hierfür investitions- und prozesskostenintensive Verfahren wie

hydraulische Pressen, Doppelbandpressen (isochor und isobar) oder beheizbare Druckkammern (Autoklaven) eingesetzt. Dabei erfolgt der Wärmeeintrag meist indirekt durch Erwärmung eines massiven Werkzeugs. Bei variothermer Prozessführung müssen große thermische Massen während des Prozesses zyklisch erwärmt und abgekühlt werden, was sehr zeit-, kosten- und energieintensiv ist. Daher

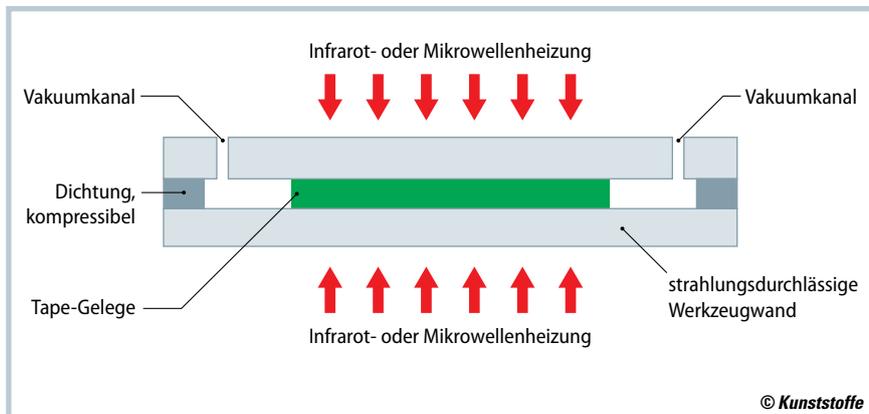
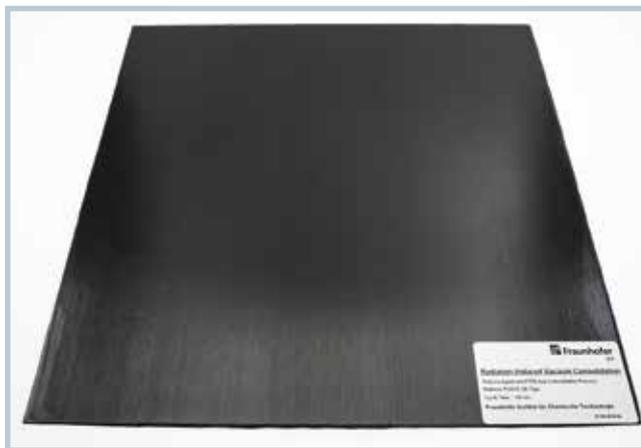


Bild 3. Das strahlungsinduzierte Vakuumkonsolidieren (SVK) schützt das Material vor thermoxidativem Abbau (Quelle: Fraunhofer ICT)

Bild 4. Eine siliziumorganische Beschichtung der Werkzeugoberfläche erlaubt es, ein Tape-Gelege komplett trennmittelfrei zu konsolidieren (© Fraunhofer ICT)



kommen in aktuellen Forschungsvorhaben häufig zweistufige Heiz- und Kühlpressen (im sogenannten Heizen-Transfer-Pressen, HTP-Prozess) oder isochore Doppelbandpressen zum Einsatz. Bei diesen Verfahren werden die Heiz- und Kühlelemente konstant temperiert und das Material wird zwischen den Stationen transferiert.

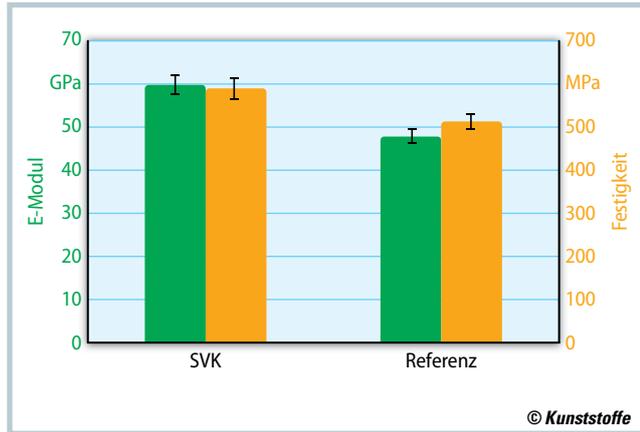
Bei der Konsolidierung ist es wichtig, den Prozessdruck hoch genug zu wählen, um den intimen Kontakt der Einzellagen sicherzustellen, das sogenannte Lofting (Volumenzunahme mit einhergehender Dichtereduktion beim Überschreiten der Schmelztemperatur) zu unterbinden und eine Nachimprägnierung zu ermöglichen. Andererseits darf der Druck nicht zu hoch sein, weil das Fasernetzwerk sonst zu stark verdichtet und die Permeabilität zur Nachimprägnierung damit herabgesetzt wird. Zudem tritt bei hohem Druck ungewollter Quetschfluss auf, der die Fasern umorientiert und so die mechanischen Eigenschaften herabsetzt und die Verzugneigung erhöht.

Zudem empfiehlt es sich, dass die Prozesstemperatur hoch genug gewählt wird, um die Viskosität des Materials zu verringern, und niedrig genug, um den Abbau des Kunststoffs und der Faserschicht zu unterbinden. Grundsätzlich schädigt die Einwirkung von Hitze und Sauerstoff viele Materialien (z. B. Polyamid 6) durch thermooxidative Degradation. Daher ist es essenziell, diese Materialien vor der Verarbeitung zu trocknen und sie in heißem Zustand möglichst in inerter Atmosphäre zu verarbeiten. In herkömmlichen schnellen Verfahren ist dies kaum möglich. Nun hat eine Arbeitsgruppe am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal, einen neuen Prozess entwickelt, der neben den prozess- und materialseitigen Anforderungen auch wirtschaftliche Belange zur Kostensenkung berücksichtigt.

Das Funktionsprinzip im Detail

Das UD-Tape-Gelege wird zwischen zwei strahlungsdurchlässigen Werkzeugwänden platziert, zwischen denen eine kompressible Dichtung verläuft. Mit einer Vakuumpumpe wird der Bereich zwischen den beiden Platten innerhalb der Dichtung evakuiert, sodass ein Druck auf das Gelege wirkt. Das Vakuum bleibt während des gesamten Konsolidierungspro-

Bild 5. Beim Vergleich der durch SVK und in einem Referenzprozess erreichten Biegesteifigkeiten (links) und -festigkeiten (rechts) schneiden die mit der SVK-Anlage konsolidierten Gelege klar besser ab (Quelle: Fraunhofer ICT)



isochoren Doppelbandpressen im Prozessverlauf ändert.

Bisherige vakuumbasierte Verfahren ohne energieintensive Autoklavtechnik sind auf 1 bar Prozessdruck limitiert. Beim neuartigen Verfahren ist die evakuierte Fläche jedoch deutlich größer als die Gelegefläche, auf die die resultierenden Kräfte wirken. Somit lassen sich auf wirtschaftliche Art und Weise Drücke von mehr als 1 bar auf das Gelege erzeugen.

Ein weiterer Vorteil des SVK-Prozesses sind vielversprechende Ergebnisse zu einem möglichen Verzicht auf Trenn- »

zesses angelegt – die Pumpe saugt eingeschlossene Restfeuchtigkeit, Luft, Lösungsmittel oder andere Abgase sofort ab und sorgt so für eine inerte Atmosphäre, die das Material vor thermooxidativem Abbau schützt. Dieses Verfahren wird als „strahlungsinduziertes Vakuumkonsolidieren“ (SVK) oder auch „Radiation-Induced Vacuum Consolidation“ (RVC) bezeichnet (**Bild 3**).

Das Tape-Gelege wird mit Infrarotstrahlung durch die Werkzeugwände hindurch über die Schmelztemperatur des Thermoplasts erwärmt (**Titelbild**). Da das Halbzeug die Wärmestrahlung direkt absorbiert, müssen nur vergleichsweise geringe thermische Massen aufgeheizt und abgekühlt werden, was kurze Zykluszeiten bei geringem Energieverbrauch ermöglicht. Das abschließende Kühlen erfolgt in einem separaten Modul durch erzwungene Konvektion mittels Druckluft- oder Sprühnebelkühlung. Im Prototyp transferiert ein Schienensystem das unter Vakuum stehende Halbzeug zwischen Heiz- und Kühlmodul.

Die Zykluszeit wird außer von der Strahlerleistung und dem Abstand zum Tape-Gelege vor allem durch die Dicke der Werkzeugwand bestimmt. Für dünne Werkzeugwände lassen sich Zykluszeiten von unter einer Minute für den kompletten Konsolidierungsschritt erzielen. Durch das dauerhaft angelegte Vakuum wird ein konstanter Druckzustand erreicht, während der Druck sich bei Verfahren mit hydraulischen Stufenpressen oder

Die Autoren

M. Eng. Sebastian Baumgärtner ist seit 2011 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal, im Bereich der Thermoplastverarbeitung tätig;

Sebastian.Baumgaertner@ict.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Jennifer John ist seit 2015 als hilfswissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer ICT im Bereich der Thermoplastverarbeitung tätig.

Prof. Dr.-Ing. Frank Henning ist Hauptabteilungsleiter der Abteilung Polymer Engineering und stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer ICT.

Dr.-Ing. Timo Huber ist stellvertretender Hauptabteilungsleiter der Abteilung Polymer Engineering am Fraunhofer ICT.

Dipl.-Ing. Benjamin Hangs ist Teamleiter der Gruppe Thermoplastverarbeitung am Fraunhofer ICT.

Dank

Der Dank der Autoren gilt der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung des Projekts (Projektnummer 827908) sowie dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) und dem Team Computertomografie der Hachtel-Gruppe in Aalen für die zuverlässige und konstruktive Zusammenarbeit.

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1671750

English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

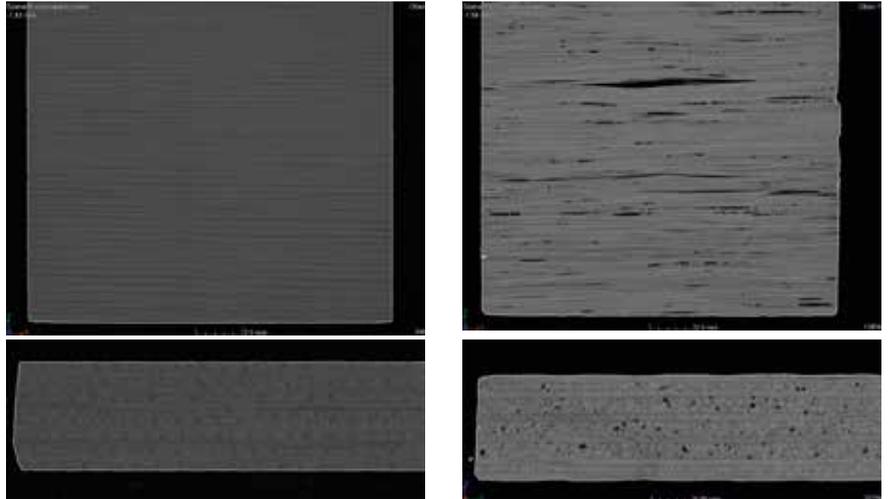


Bild 6. CT-Bilder der im SVK- (links) bzw. Referenzprozess konsolidierten kohlenstofffaserverstärkten Polyamid-6-Gelege. Die oberen Bilder zeigen die Draufsicht auf repräsentative Probekörper, die unteren den Querschnitt derselben Proben. Poren sind dabei als schwarze Stellen erkennbar (© Fraunhofer ICT)

mittel, die das Fraunhofer ICT in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen erarbeitet hat. Klassischerweise werden beim Konsolidieren externe Trennmittel verwendet, um die Halbzeuge aus den Werkzeugen entformen zu können. Sie hinterlassen Rückstände auf der Materialoberfläche, die die Weiterverarbeitung (z.B. Kleben und Lackieren) erschweren können. Um dieses Problem zu beseitigen, applizierten die Forscher auf die glatte Werkzeugoberfläche eine dauerhafte siliziumorganische Schicht (Typ: ReleasePlas), die einen trennmittelfreien Prozess mit hoher Oberflächengüte ermöglicht (**Bild 4**).

Untersuchung der Halbzeugqualität

Die Funktionalität des neuen Prozesses wurde am Beispiel von kohlenstofffaserverstärkten UD-Tapes aus Polyamid 6 (PA6) untersucht. Dabei wurden 4-Punkt-Biegeversuche an 14-lagigen, konsolidierten Gelegen mit (0/90)-Lagenaufbau durchgeführt. Im direkten Vergleich weisen die mit der SVK-Anlage konsolidierten Gelege einen um 25% höheren E-Modul und eine um 15% höhere Biegefestigkeit auf als jene, die mit einer isochoren Doppelbandpresse (DBP) konsolidiert wurden (**Bild 5**).

Computertomografische (CT) Analysen der F.&G. Hachtel GmbH & Co. KG,

Aalen, geben Aufschluss über die Ursachen dieser mechanischen Kennwerte. CT-Bilder von Platten, die mit dem SVK-Prozess und dem Referenzprozess konsolidiert wurden, verdeutlichen, dass mithilfe des SVK-Prozesses eine geringere Porosität (deutlich unter 1%) und eine nahezu perfekte Faserausrichtung erreicht werden, während beim Referenzprozess Faserondulationen und Poren (über 2%) detektiert werden können (**Bild 6**). Durch Faserondulationen wird die Steifigkeit eines faserverstärkten Thermoplasts in Faserrichtung vermindert; Poren reduzieren einige mechanische Kennwerte, z.B. die Biegefestigkeit.

Fazit

Der neuartige Prozess des strahlungsinduzierten Vakuumkonsolidierens eignet sich für die Herstellung von endlosfaserverstärkten Thermoplast-Halbzeugen für hochbelastete Bauteile. Dieser zeichnet sich vor allem durch eine kurze Zykluszeit, hohe Konsolidiergüte und einen geringen Energieverbrauch aus.

Außerdem ist durch das dauerhaft anliegende Vakuum ein geringer Porengehalt ohne Faserumorientierung erreichbar, mit hohen mechanischen Kennwerten als Folge. Somit ermöglicht der SVK-Prozess als qualitätsentscheidender Bestandteil der Tapelegetechnik die wirtschaftliche Fertigung von hochwertigen Faserverbunden in der Großserie. ■