

Schlagzähe Werkstoffe im Flugzeugbau

Faserverbundwerkstoffe, wie sie aktuell im Flugzeugbau eingesetzt werden, haben einen grossen Nachteil: Sie sind spröde, was leicht zu Rissen und anderen Schäden führen kann. Die HSR in Rapperswil konnte jetzt aber zeigen, dass der Einsatz von Thermoplasten die Schlagfestigkeit dieser Materialien erhöhen und gleichzeitig ihre positiven Eigenschaften erhalten kann.



Moderne Flugzeuge wie die Bombardier CS300 bestehen bis zu 70% aus Faserverbundmaterialien.

In der Flugzeugindustrie findet aktuell ein revolutionärer Materialwechsel statt. Die neusten Generationen von Grossraumflugzeugen, wie zum Beispiel der Airbus A380, die Boeing 787 oder die C-Series von Bombardier, werden zu einem grossen Teil in Faserverbundbauweise

gefertigt. Dabei kommt für hoch belastete Strukturen ein Verbund aus Carbonfasern und einer Epoxidharzmatrix, so genannte Carbon Composites, zum Einsatz. Carbon Composites weisen hervorragende Festigkeits- und Steifigkeitswerte in Bezug auf die Dichte auf und

sind darum für Leichtbaustrukturen den metallischen Werkstoffen überlegen. Ebenso zeichnen sie sich durch eine geringe Kriechneigung aus, sogar bei erhöhten Temperaturen. Ihr grosser Nachteil ist jedoch ihr sprödes Materialverhalten. Dadurch

haben sie einen geringen Widerstand gegen Rissentstehung und Risswachstum. Bei schlagartiger Beanspruchung, beispielsweise bei Hagelschlag, Vogelschlag oder fallengelassenen Werkzeugen, können Schäden an der Struktur entstehen. Während bei metallischen Werkstoffen



Der Vergleich zwischen nichtmodifizierter Probe (links) und modifizierter Probe (rechts) zeigt deutlich den Unterschied in der Schädigungsfläche.

Schäden in Form von Beulen und Rissen von Auge sichtbar sind, zeigen sich die Schäden an Faserverbundbauteilen oft nicht auf der Oberfläche – obwohl das Bauteil dadurch geschwächt ist. Ein Ziel der Forschung ist es daher, die Robustheit dieser Materialien gegenüber schlagartigen Beanspruchung zu erhöhen, also die Schlagzähigkeit zu verbessern.

Dehnbare Werkstoffe

Seit den 1960er-Jahren wird an diesem Ziel geforscht. Die Wissenschaftler konnten dabei erhebliche Fortschritte bei den Eigenschaften sowie dem Verständnis der Materialien erzielen. Den Forschern gelang es, den Carbon Composites dehnbare Werkstoffe beizumengen. Sie verwendeten dabei elastische Copolymere, zum Beispiel Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM) oder Acrylkautschuk. Der Einsatz von Copolymeren zur Erhöhung der Schlagzähigkeit ist jedoch begrenzt, da entweder die Glasübergangstemperatur oder der Elastizitätsmodul verringert werden, was bei hoher Belastung Probleme bereiten kann. Als Alternative dazu wurden seit den 1980er-Jahren thermoplastische Systeme wie Polyethersulfon (PES), Polysulfon (PSU) und

Polyetherimid (PEI) entwickelt. Diese Systeme besitzen den Vorteil, dass die Schlagzähigkeit gesteigert werden kann, ohne dass gleichzeitig andere mechanische Eigenschaften beeinträchtigt werden.

Ein anderer erfolgreicher Ansatz, um die Robustheit zu verbessern, ist die Zugabe von anorganischen Füllstoffen wie Glaspartikeln, Quarz oder Oxyden. In jüngster Zeit kam auch ein breites Spektrum von Nanopartikeln wie anorganische Silikate und Carbon-Nanotubes zum Einsatz.

Energiesparende Herstellung

Die Herstellung von Carbon Composites für Hochleistungsanwendungen erfolgt hauptsächlich durch die Prepreg-Autoklav-Technik. Dabei wird ein vorgefertigtes Gewebe aus Kohlefasern in einer Matrix aus Harz und einem Härter, dem sogenannten Prepeg-Material, in einem Autoklaven unter Druck und erhöhter Temperatur geformt und ausgehärtet. Da dieser Vorgang viel Energie benötigt, steigt das Interesse an der Entwicklung von alternativen Herstellungsmethoden. Hierfür bieten sich Infusionsprozesse wie zum Beispiel der Resin-Transfer-Moulding-Prozess an. Bei diesen Verfahren wird ein trockener Preform

aus Kohlefasern gefertigt, welcher anschliessend in einem geschlossenen Werkzeug mit Epoxidharz benetzt und gefestigt wird. Die Infusionsprozesse sind für eine effiziente Tränkung der Faserpreforms auf ein Harz mit niedriger Viskosität angewiesen. Wenn dem Harz aber Copolymere, Thermoplaste oder Nanopartikel beigemischt werden, erhöht sich dessen Viskosität. Zudem kann es sein, dass sich so die zugefügten Partikel innerhalb des Bauteils unregelmässig verteilen. Somit eignet sich diese Methode zur Erhöhung der Schlagzähigkeit nur bedingt.

Ein neuer Ansatz ist es, die Schlagzähigkeit erst zu modifizieren, während das Harz aushärtet. Dazu können thermoplastische Garne direkt in die Kohlenfasern eingearbeitet werden. Diese verbinden sich erst während dem Aushärtprozess bei erhöhter Temperatur mit der Epoxidmatrix und verändern so deren Eigenschaften. Mit diesem Ansatz können die Nachteile der Verarbeitbarkeit von Harzsystemen in Infusionsprozessen überwunden werden.

Viel versprechende Versuchsreihen

Das Institut für Werkzeugtechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der Hochschule Rapperswil hat in Zusammenarbeit mit EMS-Chemie AG den Einfluss von verschiedenen Thermoplasten auf die Schlagzähigkeit von Carbonplatten

in verschiedenen Versuchsreihen ermittelt. Dazu wurde der Thermoplast während der Herstellung der Platten in Pulverform zwischen die einzelnen Faserlagen gestreut. Die daraus gewonnenen Proben mussten verschiedene Schlag- und Drucktests durchlaufen. Im Fokus der Versuche standen fünf Thermoplaste mit verschiedenen Schmelzpunkten, die sich während des Aushärtprozesses der Epoxidmatrix unterschiedlich verhalten: Entweder löst sich das Polymer dabei komplett im Epoxidharz auf, es schmilzt und bleibt gleichzeitig als eigene Phase bestehen oder es verbleibt aufgrund seines hohen Schmelzpunktes in seinem ursprünglichen Zustand.

Die Versuche haben gezeigt, dass jeder der untersuchten Thermoplaste eine Steigerung der Schlagzähigkeit mit sich bringt. Die besten Resultate zeigten dabei die Materialien, die während der Vernetzung des Epoxidharzes schmelzen, aber als eigene Phase bestehen bleiben. Dabei konnten zwischen den einzelnen Faserlagen die Schädigungsfläche bis zu 90 % reduziert und die Druckfestigkeit um bis zu 95 % gesteigert werden. 

MSc Marcus Arnold und
Prof. Dr. Markus Henne
Institut für Werkzeugtechnik und
Kunststoffverarbeitung (IWK)
Hochschule Rapperswil

www.hsr.ch

Darf's 1µ weniger sein?

Ja – klar. Besondere Erfahrungen mit dünnwandigen Anwendungen.
www.k-tec.ch

KTEC

Spritzgiesstechnik