

KURZVERÖFFENTLICHUNG

UV-härtbare Polymere als Matrix für Verbundwerkstoffe

Autoren:	Dr. Reinhold Schneider Sabine Frick Cornelia Mäußnest Stefanie Brenner
Forschungsstelle:	DITF – Institut für Textilchemie und Chemiefasern
Erschienen:	10.12.2021
Bearbeitungszeitraum:	01.09.2019 – 31.08.2021

Zusammenfassung

Faserverbundwerkstoffe haben in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen, da sie bei geringem Gewicht hohen mechanischen Belastungen standhalten und im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen korrosionsbeständig sind. In Europa werden etwa 1.000.000 t und in Deutschland etwa 200.000 t faserverstärkte Kunststoffe produziert. Anwendungen finden sich v.a. im Leichtbau, insbesondere im Automobil- und Flugzeugbau sowie bei der Herstellung von Rotorblättern für Windkraftwerke. Maschinenbau, Bauwesen und Sportgerätebau nutzen ebenfalls verstärkt die Vorteile der Faserverbundwerkstoffe. In der Faserverbundtechnik werden vor allem Glas-, Kohle- und Aramidfasern eingesetzt. Glasfasern haben dabei einen Marktanteil von über 90%. Im Bereich der Matrixsysteme erzielen speziell Epoxidharze gute mechanische und chemische Eigenschaften und finden damit häufig bei hochbelasteten strukturellen Bauteilen Anwendung. Die Aushärtung der Polymere erfolgt meist in einem Autoklaven bei Temperaturen von 140°C und mehr und einer Reaktionszeit von über 1h. Dies verursacht sowohl hohe Beschaffungskosten für die Autoklaven als auch hohe Energiekosten bei der Aushärtung der Matrix.

Ziel des Projektes war die Schaffung von Basiswissen für die Härtung von Faserverbundwerkstoffen mittels der UV-Technologie. Durch Verwendung von UV-härtenden anstelle von thermisch härtenden Systemen kann die Aushärtung von Faserverbundwerkstoffen wesentlich schneller und vor allem besonders energiesparend erfolgen. Zudem lassen sich auch großdimensionierte Faserverbundbauteile mit einer kleinen und flexibel einsetzbaren Fixiereinheit aushärten und große und kostenintensive Autoklaven können vermieden werden. Im Rahmen des Projektes wurde das hierzu

notwendige Basiswissen im Hinblick auf den chemischen Aufbau des Polymersystems sowie der verwendbaren Photoinitiatoren und textilen Verstärkungsmaterialien als auch der Fixierbedingungen entwickelt und so die Möglichkeit der gezielten Anpassung der Matrix an die gewünschten Endeigenschaften wie Faser-Matrix-Haftung, Härte und Elastizität geschaffen.

Es wurden verschiedene Verbundsysteme mittels UV-Härtung hergestellt. Als repräsentative Verbindungen wurden radikalisch härtbare Präpolymere auf Basis von Epoxyacrylat, Polyesteracrylat und Urethanacrylat mit bis zu 2 Acrylatgruppen ausgewählt und mit niedrigviskosen Mono-, bi- und trifunktionellen Acrylatmonomeren verdünnt. Als Photoinitiatoren wurden sowohl ein kurzwellig absorbierendes Gemisch aus α -Hydroxyketon und Benzophenon als auch langwellig absorbierende Verbindungen aus der Gruppe der Acylphosphinoxide eingesetzt. Für die UV-Bestrahlung wurden sowohl UV-Hg-Lampen als auch UV-LED verwendet. Als Verstärkungsgewebe kamen Glasfasergewebe mit Flächengewichten von 160-270 g/m² sowie Carbon- und Aramidgewebe zum Einsatz.

Glasfaserbasierte Verbundwerkstoffe konnten sowohl durch Bestrahlung am UV-Scanner mittels einer Hg-Lampe als auch mithilfe von UV-LEDs unter Verwendung spezifischer Photoinitiatoren und Präpolymer-Monomer-Gemischen hergestellt werden. Kurzwellig absorbierende Photoinitiatoren wie das Gemisch aus α -Hydroxyketon und Benzophenon eignen sich bevorzugt für die Bestrahlung mit Hg-UV-Lampen während langwellig absorbierende Acylphosphinoxide bevorzugt für die Bestrahlung mit UV-LED ausgewählt werden müssen. Die anwendungstypische Anwendungskonzentration der Photoinitiatoren liegt im Bereich von 1-2% und kann im Falle von pigmentierten Systemen bei bis zu 7% liegen.

Bei den Präpolymeren handelt es sich überwiegend um sehr hochviskose und zähfließende Polymerzubereitungen, die durch Zugabe von niedrigviskosen Monomeren verdünnt werden können. Die Verdünnung mit bis zu 30% Monomer genügt in den meisten Fällen, um gute Verarbeitungseigenschaften des Gemisches zu erreichen. Entsprechend der Funktionalität von Monomer und Präpolymer und deren Mischungsverhältnissen können die Eigenschaften der Matrixpolymere von elastisch und weich bis hart und spröde eingestellt werden. Die mechanischen Eigenschaften des Matrixpolymers werden dabei in erster Linie vom verwendeten Präpolymer und der Anzahl an Acrylatgruppen festgelegt, während die Funktionalität des Monomers im Wesentlichen die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmt und zur Vernetzung beiträgt. Härte und Modul erhöhen sich mit zunehmender Funktionalität des Monomers. Im Falle der Kombination von monofunktionellen Präpolymeren und monofunktionellen Monomeren werden daher sehr weiche Matrixpolymere erhalten, deren Härte durch Beimischung von bi- und trifunktionellen Monomeren zunimmt. Bifunktionelle Präpolymere in Kombination mit trifunktionellen Monomeren führen hingegen zu überwiegend spröden und harten Matrixpolymeren. Die Beimischung von monofunktionellen Monomeren wirkt der Sprödigkeit und Härte entgegen.

Die durchgeführten Zugprüfungen zeigen, dass die Zugmoduln der UV-gehärteten und favorisierten Proben vergleichbar oder sogar größer sind als bei den zum Vergleich hergestellten thermisch gehärteten Verbundwerkstoffen. Bei den 3-Punkt-Biegeprüfungen hingegen ergeben sich für die thermisch gehärteten Muster höhere Moduln.

Die Aushärtungsreaktion kann mittels der rheologischen Bestimmung von Speicher- und Verlustmodul charakterisiert und zeitlich verfolgt werden. Die strahleninduzierte Aushärtung ist mit einem sprunghaften Anstieg von Speicher- und Verlustmodul innerhalb von weniger als 5 Sekunden verbunden und der Speichermodul übertrifft im bestrahlten Zustand den Verlustmodul um mehrere Dekaden. Die Moduln erreichen in den meisten Fällen nach weniger als 1 min Bestahlungsdauer einen konstanten Endwert, d.h. die Aushärtung unter UV-Licht ist sehr schnell und verläuft in einem Zeitfenster von wenigen Sekunden bis maximal 1 min.

Die vollständige Aushärtung der Verbundwerkstoffe war bei allen Glasfaserarmierungen bis zu einer Schichtdicke von < 4 mm möglich (Ga-dotierte Hg-Lampe in Kombination mit langwellig absorbierenden Photoinitiator). Dabei konnte kein negativer Einfluss des Glasfasergewebes auf die Aushärtung selbst festgestellt werden. Die höchste Festigkeit wurde generell mit der Armierung mit dem größten Flächengewicht erreicht. Die Verwendung von anderen Armierungsgeweben wie Carbonfaser- oder Aramidgewebe erschweren die Aushärtung bereits bei 1 mm Schichtdicke merklich. In diesen beiden Fällen ist eine beidseitige Bestrahlung des Verbundwerkstoffes erforderlich, um eine Aushärtung zu erreichen.

Abschließend wurden Verbundplatten aus Glasfasergewebe und UV-härtbaren Matrixkomponenten hergestellt. Diese Demonstratoren verbleiben an der Forschungsstelle und stehen als Anschauungsobjekte zur Verfügung.

Danksagung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 20169 N der Forschungsvereinigung
Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 14-16,
10117 Berlin wurde über die AiF im Rahmen des
Programms zur Förderung der industriellen
Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages gefördert.

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens IGF 20169 N ist an den Deutschen
Instituten für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) erhältlich.

Ansprechpartner

Dr. Reinhold Schneider (reinhold.schneider@ditf.de)