



Fraunhofer Institut
Werkstoffmechanik

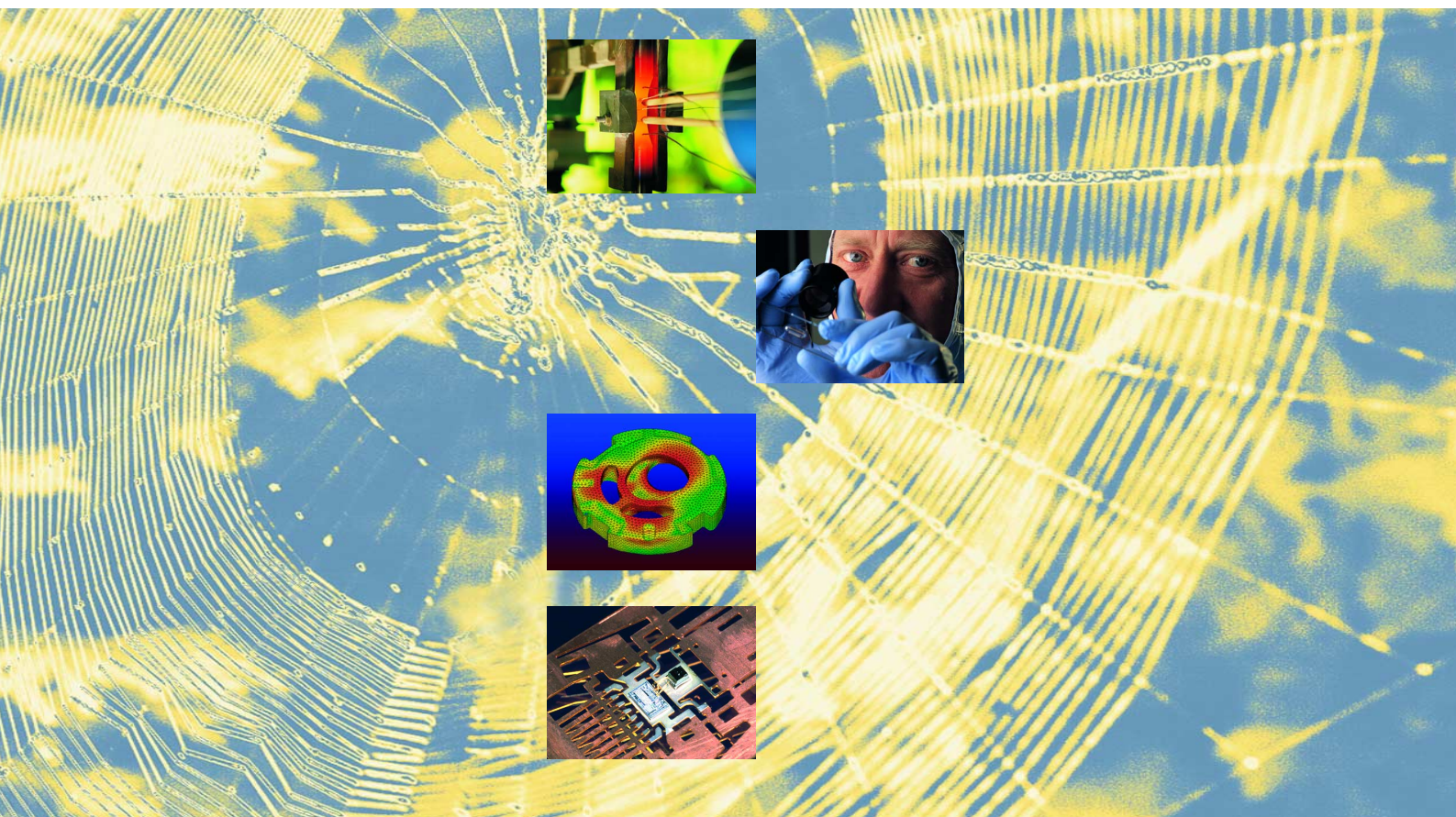
Jahresbericht 2001

Bestimmung von Werkstoffkennwerten zur
Delaminationsbewertung von Faserverbund-
kunststoffen

Leistungsbereich
Faserverbundwerkstoffe

Dr. Ralf Schäuble
Heideallee 19
06120 Halle
Tel. +49 (0) 3 45/55 89-1 51
schaeuble@iwmh.fraunhofer.de

Dr. Bärbel Thielicke
Wöhlerstr. 11
79108 Freiburg
Tel. +49 (0) 7 61/51 42-1 92
th@iwf.fraunhofer.de



Bestimmung von Werkstoffkennwerten zur Delaminationsbewertung von Faserverbundkunststoffen

Michael Busch, Ralf Schäuble,
Andreas Krombholz

For the failure assessment of fibre reinforced polymer parts, fracture mechanical tests were developed and optimised. In particular, the Chevron test has proven to be appropriate for the determination of fracture mechanical parameters, since it is only necessary to measure the maximum force during the test. However, this leads to a low test sensitivity as regards the specimen preparation. For the evaluation of the fracture parameters, as in the case of fracture toughness, measured maximum force has to be correlated with finite element calculations, since the geometry of the Chevron specimen, the elastic properties and the lay-up of the laminate all influence the result. The developed methodology can be used for the assessment of delaminations in arbitrary shaped components under complex loading conditions.

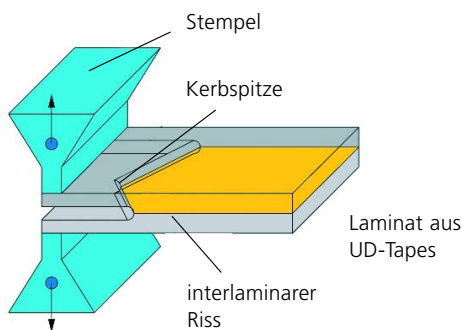
Für die Bewertung des Versagens von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen wurden bruchmechanische Tests entwickelt und optimiert. Mit der Qualifizierung des Chevron-Tests für Faserverbundkunststoffe ist es gelungen, eine größere Unabhängigkeit von der Präparation der Proben zu erreichen, da sich die experimentelle Auswertung auf die Ermittlung einer einzigen Größe F_{\max} reduziert. Diese muss dann mit Finite-Elemente-Simulationen

in Korrelation gebracht werden. Sie liefert für den jeweiligen Belastungsmodus und Laminataufbau die entsprechenden Werkstoffkennwerte (Bruchzähigkeit, Spannungsintensitätsfaktor). Die Methode für die Bewertung von Delaminationen ist in Bauteilen beliebiger Geometrie unter komplexer Belastung einsetzbar.

Faserverstärkte Kunststoffe sind moderne Leichtbaumaterialien mit sehr guten Leistungskennwerten. Für die Auslegung von Bauteilen aus faserverstärkten Laminaten ist die Bewertung des interlaminaren Versagens erforderlich. Dies erfolgt zweckmäßig auf der Basis bruchmechanischer Versagenkriterien und Versagensmaterialkennwerte.

Für die Bewertung beliebiger Bauteilgeometrien unter komplexer Belastung müssen die Bruchzähigkeiten oder äquivalente bruchmechanische Größen für kombinierte in-plane- (Zug und Schub) und out-of-plane-Beanspruchung bekannt sein. Anisotrope Werkstoffe wie die zu bewertenden Lamine aus UD-Tapes zeigen außerdem eine Abhängigkeit der bruchmechanischen Kennwerte von der Orientierung der Rissfront und der Faserorientierung zu beiden Seiten der Delamination.

Abb. 1
Versuchsaufbau und
Probengeometrie des
Chevron Tests



Als eine geeignete Prüfmethode wurde am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik in Halle ein modifizierter Chevron-Test qualifiziert (Abb.1). Der experimentelle Aufwand ist bei dieser Methode gering, da im Versuch lediglich die maximal auftretende Kraft ermittelt werden muss, die Länge des scharfen Anrisses muss jedoch nicht explizit bekannt sein. Der Vorteil der CN (Chevron Notched)-Proben beruht auf der Selbstinitiierung eines scharfen Anrisses bei geringer äußerer Belastung aufgrund der hohen Spannungskonzentration an der Kerbspitze. Bei einer Rissausbreitung beeinflussen dann zwei konkurrierende Mechanismen die Belastungen des Materials vor der Rissfront. Mit steigender Risslänge wird zum einen der Spannungsintensitätsfaktor erhöht. Zum anderen wird die anliegende Last auf eine größere Rissfrontbreite verteilt, wodurch der Spannungsintensitätsfaktor sinkt. Die beiden konkurrierenden Effekte führen zu einer Gesamtfunktion der Beanspruchung, die ein Minimum durchläuft (Abb.2). In diesem Punkt wird die Maximalkraft F_{max} im Versuch gemessen, der Riss breitet sich danach instabil über den weiteren Probenquerschnitt aus. Da dieser Punkt bei maximaler Kraft mit dem Minimum der Funktion des Spannungsintensitätsfaktor übereinstimmt, lässt sich aus

dem Kenntnis des Verlaufes des Spannungsintensitätsfaktors als Funktion der Risslänge a und aus der gemessenen Maximalkraft die Bruchzähigkeit der Probe bestimmen. Dabei ist es nicht notwendig, die Risslänge im Kraftmaximum experimentell zu bestimmen, da deren Länge unabhängig vom konkreten Wert der Bruchzähigkeit ist und nur von der Probengeometrie sowie im Falle anisotroper Materialien auch von den elastischen Parametern abhängt. Für die untersuchten Laminare aus unidirektional verstärkten Einzellagen müssen die entsprechenden Beziehungen durch Finite-Elemente-Simulationen abgeleitet werden (Abb.3). Dies erfolgte durch die Anwendung der virtuellen Riss-schließungsmethode.

Abb. 2
Rissspitzenbeanspruchung im Chevron-Test

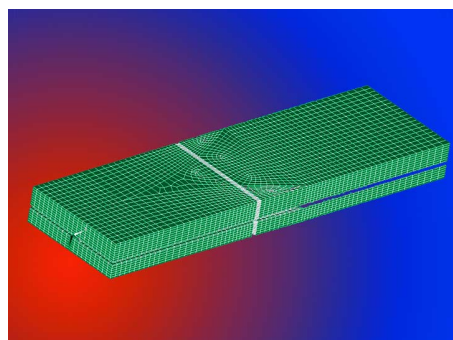
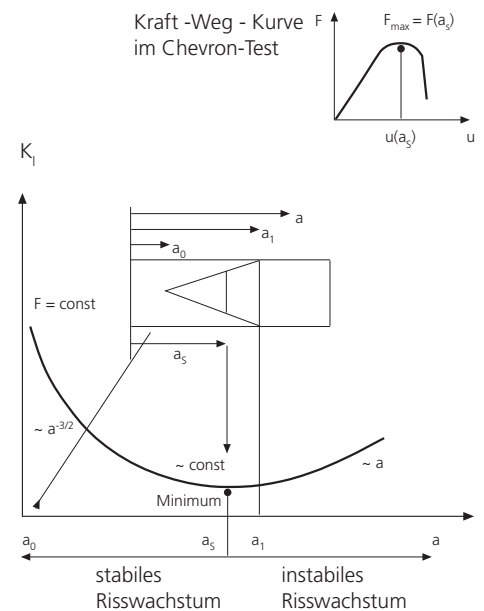


Abb. 3
Parametrisiertes Finite-Elemente Modell für die Chevron-Probe mit V-Notch-Geometrie