

BAM-Dissertationsreihe, Band 74

Dipl.-Ing. Ricardo Basan

Untersuchung der intralaminaren Schubeigenschaften von Faserverbundwerkstoffen mit Epoxidharzmatrix unter Berücksichtigung nichtlinearer Effekte

2011, ISBN 978-3-9814281-3-1

Faserverbundwerkstoffe besitzen anisotrope Materialeigenschaften. Die Anzahl der elastischen Größen und Festigkeiten zur Beschreibung des mechanischen Verhaltens ist dadurch größer als zum Beispiel bei isotropen Werkstoffen. Die Festigkeiten und die Steifigkeiten in den verschiedenen Laminatrichtungen unterscheiden sich darüber hinaus um bis zu zwei Größenordnungen. Abhängig von der Belastungsart versagen Faserverbundwerkstoffe spröde oder duktil. Der Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Werkstoffeigenschaften in den verschiedenen Richtungen kommt daher eine grundlegende Rolle zu.

Insbesondere die Bestimmung der intralaminaren Schubeigenschaften von Faserverbundwerkstoffen ist aufgrund des ausgeprägten nichtlinearen Last-Verformungs-Verhaltens schwierig und mit den bestehenden Auswerterroutinen genormter Prüfverfahren teilweise fehlerbehaftet. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Analyse der Schubeigenschaften in der Laminebene durch eine neu entwickelte Schubvorrichtung, die eine qualitativ hochwertige Bestimmung der Werkstoffeigenschaften ermöglicht.

Für die Probekörper dieser Schubvorrichtung wird auf der Grundlage von Messergebnissen ein lastabhängiges Modell der Schubspannungsverteilung entwickelt, das die Materialnichtlinearität berücksichtigt und bei der Analyse der Versuchsergebnisse zur Anwendung kommt. In vergleichenden Untersuchungen der Interaktion benachbarter Schichten an glas- und kohlenstofffaserverstärkten Laminaten mit ein- und zweiachsiger Orientierung kann gezeigt werden, dass bei identischem Schubspannungszustand in den Einzelschichten bis zu 60% größere Schubfestigkeiten der zweiachsig verstärkten Verbunde vorliegen. Die orthogonal verstärkten Laminare sind schadenstoleranter, da sich Zwischenfaserbrüche nicht ungehindert ausbreiten können, sondern an den um 90° gedrehten Fasern gestoppt werden. In Laminaten mit unidirektionaler Faserausrichtung führt dagegen der erste Riss unmittelbar zum Trennbruch.

Die Verifizierung dieser Beobachtung erfolgt mittels des Verfahrens der Röntgenrefraktions-topographie. In Schubzugversuchen erfolgt die Korrelation der mechanischen Belastungssituation mit der mikrostrukturellen Analyse der inneren Schädigungsentwicklung des Werkstoffs. An zweiachsig verstärkten Kohlenstofffaserlaminaten unter Zwischenfaserbruchbeanspruchung kann gezeigt werden, dass die Degradation der intralaminaren Schubsteifigkeit mit der Zunahme an inneren Oberflächen als Maß für die Zwischenfaserbruchdichte einhergeht. Einachsig verstärkte Verbunde versagen dagegen relativ spröde bereits durch den ersten Zwischenfaserbruch und damit ohne Zunahme der Mikrorissdichte.

Die Zusammenfassung der Erkenntnisse spiegelt sich in der Verbesserung des Auswerteverfahrens des in DIN EN ISO 14129 genormten Schubzugversuchs wider. Unter Berücksichtigung der Nichtlinearität des Schubmoduls und der Faserrotation infolge der großen Verformungen während des Schubzugversuchs erfolgt in einem Iterationsprozess die stückweise Anwendung der klassischen Laminattheorie zur Bestimmung der Einzelschichtspannungen. Die Bewertung der Ergebnisse des Schubzugversuchs mit diesem Analyseverfahren hinsichtlich der Belastungsgrenzen resultiert in einer guten Übereinstimmung mit dem Festigkeitsmodell nach Puck. Die Berücksichtigung nichtlinearer Effekte führt zu einer höheren Genauigkeit bei der Bestimmung der intralaminaren Schubfestigkeit mittels des in der industriellen Anwendung weit verbreiteten Normversuchs.