

Kurzfassung

Die Verwendung von Sheet-Molding-Compounds (SMCs) unter dauerhaft wirkenden statischen Lasten und erhöhten Temperaturen lässt die Frage nach der Materialkriechneigung aufkommen. Während der Kriecheffekt bisher viel Aufmerksamkeit im thermoplastischen Polymerbereich erhielt, zeigt diese Arbeit auf, dass auch duroplastische, wirrfaserverstärkte Matrixsysteme von dem Phänomen in kritischen Größenordnungen betroffen sein können. Es wurden Kriechuntersuchungen an einem glas- und einem carbonfaserverstärkten SMC durchgeführt. Die Untersuchungen wurden bei einer Temperatur von 120 °C durchgeführt, welche von einer möglichen Anwendung in einem E-Motor herrührt. Die Charakterisierung des Kriechens in der Faserebene zeigte die Schwierigkeit einer zuverlässigen Kriechversagensvorhersage bei der Beanspruchung in der Faserebene auf. Kriechdehnungsverläufe zeigen deutliche Unterschiede bei Beanspruchung auf Zug und Druck bei den vorgestellten Wirrfasermaterialien. Gängige FE- (Finite Elemente) Anwendungen sind, wie Untersuchungen in dieser Arbeit feststellen, über Standardverfahren nicht in der Lage, zuverlässige Kriechvorhersagen von Faserkunststoffverbundbauteilen bei einer Mischbeanspruchung vorherzusagen. Es wurden mögliche Implementierungsansätze für FE-Programme vorgeschlagen, um eine beschriebene Kriechvorhersage zu bewerkstelligen.

Es wurde jedoch herausgefunden, dass die isotrope Kriechmodellierung, welche in gängigen FE-Programmen bereits implementiert ist, bei uniaxialem Spannungszustand im eigentlich anisotropen SMC-Material verwendbar ist. Ein solcher uniaxialer Spannungszustand mit relevantem Anwendungsszenario ist beispielsweise bei Verschraubungen vorhanden. Die Druckbeanspruchung im Faserkunststoffverbundmaterial durch die Schraubenvorspannkraft führt zu einem Kriechen in Dickenrichtung. Die Charakterisierung des Kriechens in Dickenrichtung ermöglichte die zuverlässige Vorhersage, der über die Zeit schwindenden Vorspannkraft von verschraubten SMC-Testplatten. Vorteilhaft ist hier, für die künftige Auslegung von verschraubten SMC-Verbindungselementen, dass die Kriechuntersuchungen für die verwendete Materialkarte in der Simulation vergleichbar geringen Versuchsaufwand benötigen. Die Messung kann in einer Universalprüfmaschine durchgeführt werden. Die Basis für die Kriechmessdaten bildeten zwei Druckversuche an gestackten Coupons über einen Zeitraum von je

84 h. Die Extrapolation dieser Messdaten ermöglicht eine zuverlässige Schraubenkraftvorhersage für Zeiten von (mindestens) 1000 h. Die Kriechmessdaten wurden mit dem Norton-Bailey-Kriechgesetz approximiert. Das Norton-Bailey-Kriechgesetz ist standardmäßig in allen gängigen FE-Programmen verwendbar, was dem Anwender eine einfache Berechnung ermöglicht.

Abstract

The use of Sheet-Molding-Compounds (SMCs) for continuously acting static loads at elevated temperatures raises the question of the material creep tendency. While the creep effect has received much attention in the field of thermoplastic polymers, this study shows that thermoset, random fiber-reinforced matrix systems can also be affected by the phenomenon in critical orders of magnitude. Creep investigations were carried out on a glass fiber and a carbon fiber SMC. The investigations were carried out at a temperature of 120 °C, which is the result of a possible application in an electric motor. The characterization of creep in the fiber plane revealed the difficulty of a reliable prediction of creep failure under stress in the fiber plane. Creep strain curves under tensile and compressive stress show clear differences in the random fiber materials presented. Common FE (Finite Element) applications are not able to predict reliable creep predictions of composite components under mixed stress using standard methods, as investigations in this paper have shown. Possible implementation approaches for FE programs have been proposed to achieve a described creep prediction.

However, it was found that isotropic creep modeling, which is already implemented in common FE programs, can be used for uniaxial stress conditions in the actually anisotropic SMC material. Such a uniaxial stress state with relevant application scenario is available, for example, for screw connections. The compressive stress in the composite material caused by the bolt prestressing force leads to creep in the thickness direction. The characterization of creep in the thickness direction enabled the reliable prediction of the decreasing prestressing force of bolted SMC test plates over time. The advantage here, for the future design of bolted SMC fasteners, is that the creep tests for the material card used in the simulation require comparatively little effort. The measurement can be carried out in a universal testing machine. The basis for the creep measurement data were two compression tests on stacked coupons over a period of 84 h each. The extrapolation of these measured data enabled a reliable bolt force prediction of (at least) 1000 h. The creep data was approximated with the Norton-Bailey creep law. The Norton-Bailey creep law is a standard in all common FE programs, which enables the user to perform easy computations.