

Upsetting and Viscoelasticity of Vitreous SiO₂: Experiments, Interpretation and Simulation

vorgelegt von Dipl.-Ing. Frank Richter, Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 14. Juli 2005

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. H.-J. Hoffmann, Prof. Dr.-Ing. M. H. Wagner

Bibliothekssigel: D83

Zylinderförmige Proben aus Kieselglas Suprasil 1 wurden axial mit Dehnungsraten von -10^{-5} bis -10^{-2} pro Sekunde im Temperaturbereich zwischen 1000°C und 1333°C isotherm komprimiert. Es wird gezeigt, dass die Elastizität bei der Auswertung der Versuche im Gegensatz zu früheren Arbeiten nicht vernachlässigt werden darf. Ebenso führt eine Interpretation über den „Spannungsaufbaumodul“ zu fehlerhaften Ergebnissen. Weiterhin wird gezeigt, dass eine Theorie von Nadai, die das Ausbauchen axial gestauchter viskoser Körper beschreibt, zu Widersprüchen führt.

Stattdessen kann die viskoelastische Deformation des untersuchten Kieselglases in Abhängigkeit von der Zeit durch ein einfaches Maxwell-Modell mit ausreichender Genauigkeit beschrieben werden. Dieses Modell wird angewendet, um den Elastizitätsmodul und die Zugviskosität als Funktion der Temperatur und Spannung zu bestimmen. Die Annahme konstanter Koeffizienten bei gegebener Temperatur wäre hinreichend für die Rekonstruktion der jeweiligen gemessenen Kraft(Zeit)-Kurven. Tatsächlich nimmt jedoch der Elastizitätsmodul bei fester nomineller Dehnungsrate mit steigender Temperatur und bei fester Temperatur mit einer Verringerung der nominellen Dehnungsrate ab. Auch die Viskosität ist schwach lastabhängig. Sie kann durch eine VFT-Kurve oder einen Arrhenius-Ansatz angepasst werden, wobei ein Parameter lastabhängig ist. Damit weisen sowohl E-Modul als auch Viskosität Abweichungen vom Hooke- und Newton-Ansatz auf, d. h. sie sind nichtlinear. Die Spannungsrelaxation hängt von Temperatur und erreichter Spannung ab. Alle aufgezeichneten isothermen Relaxationsfunktionen für die longitudinale Spannung können bei Normierung auf die Anfangsspannung mit hinreichender Genauigkeit überlagert werden, wenn die Zeitachse jeweils umnormiert wird. Dies bedeutet somit hinsichtlich der Temperatur- und Spannungsabhängigkeit ein thermorheologisch einfaches Verhalten.

In früheren Untersuchungen wurde bereits ein ausgeprägter nichtlinearer Effekt der Dehnungsrate auf die Viskosität beschrieben. Die darin gegen die 'normierte Dehnungsrate' aufgetragene 'normierte Viskosität' und ihre Unempfindlichkeit auf Temperatur und Zusammensetzung folgen aber ebenso wie die hervorgehobene starke Nichtlinearität daraus, dass das elastische Verhalten der Gläser nicht berücksichtigt wurde.

Es wurden unterschiedliche Simulationen des viskoelastischen Verhaltens mit dem Finite-Elemente-Programm ABAQUS durchgeführt. Von den beiden Simulationen, welche elastisches Verhalten mit einer Kriechfunktion kombinieren, liefert jene mit spannungsabhängigen Werten des Elastizitätsmoduls und der Viskosität meist eine bessere Übereinstimmung zwischen berechneter und gemessener Kraft.

Das Zylinderstauchen ist als Standardverfahren zur Ermittlung verlässlicher viskoelastischer Materialkennwerte geeignet.