

50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau
von Makro bis Nano /
Mechanical Engineering
from Macro to Nano**

Proceedings

Fakultät für Maschinenbau /
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel
Dipl.-Ing. Helge Drumm
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.
Werner-von-Siemens-Str. 16
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

A. Hesse / S. Mrotzek / D. Hülsenberg

Modifizierung der mechanischen Eigenschaften von fotostrukturierbarem Glas

ABSTRACT

Aufgrund der guten mechanischen Eigenschaften können Bauteile aus fotostrukturierbarem Glas (FS 21) als Konstruktionskomponenten eingesetzt werden.

Durch Untersuchungen an dem FS 21 bezüglich der Keimbildung, des Kristallwachstums und Kristallausbildung ist es gelungen, die grundlegenden Prinzipien der Ausbildung der Kristallphase Lithiummetasilikat zu klären und damit eine Basis für die Modifizierung des Glases durch partielle Kristallisation geschaffen.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen konnte die Biegebruchfestigkeit des Glases erhöht werden.

Bauteilherstellung

Die Bauteilherstellung unterteilt sich in 3 Prozessschritte (Abb. 1):

1. Belichten
2. Tempern
3. Ätzen.

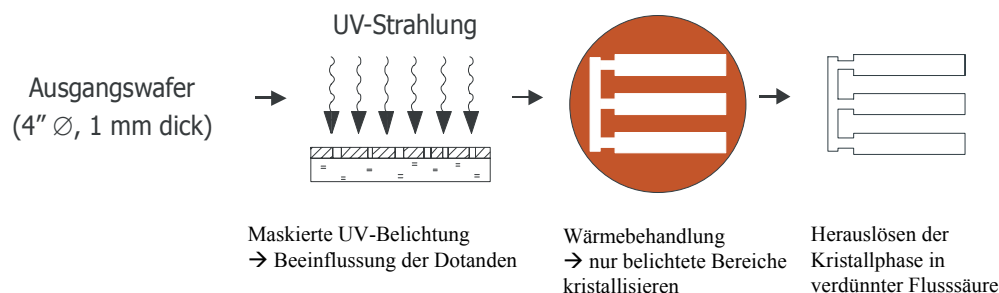
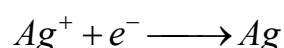


Abb. 1: schematische Darstellung des Fotostrukturierungsprozesses

Während des maskierten Belichtens (z. B. mittels Maskaligner) werden im Wellenlängenbereich von etwa 300 – 320 nm die im Glas enthaltenen Dotanden Silber und Cer in den belichteten Bereichen so beeinflusst, dass das zunächst ionar vorliegende Silber zu atomarem Silber reagiert (Gl. 1) und Silbercluster bildet.



Die im Glas vorliegenden Dotanden befinden sich sowohl innerhalb als auch außerhalb der Entmischungen. Während des Temperns bei einer Temperatur von 500 °C kommt es zur Bildung von Silberclustern ebenfalls innerhalb und außerhalb der Entmischungen.

Der kritische Keimradius für das Aufwachsen der Kristallphase Lithiummetasilikat im weitem Tempverlauf beträgt dabei 7 nm [1]. Es zeigte sich jedoch, dass es nur auf jenen Silberkeimen zum Aufwachsen der Kristallphase kommt (günstigste Kristallwachstumstemperatur: 570 °C), die in den Entmischungen vorliegen. Nur dort sind die Bedingungen (hinsichtlich der Zusammensetzung) für das Wachstum des Lithiummetasilikates gegeben (Abb. 2).

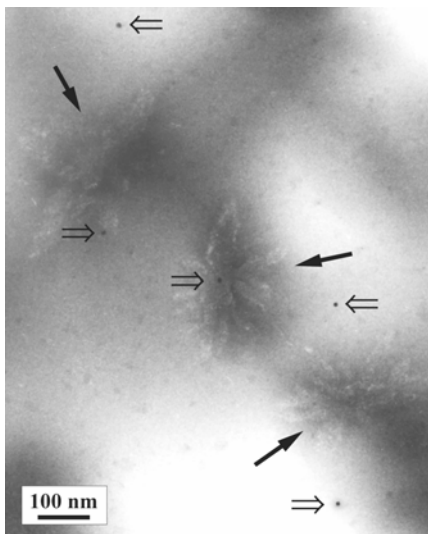


Abb. 2: TEM-Aufnahme (offene Pfeile: Silberkeime, schwarze Pfeile: Lithiummetasilikatkristalle)

Genauere Ausführungen zu diesen Untersuchungen sind in [1] dargelegt.

Im Ergebnis dieses Temperprozesses erhält man in den belichteten Bereichen ein partiell kristallines Glas, bestehend aus der Kristallphase Lithiummetasilikat und der Restglasphase (Glasphase zwischen den Kristallen), die sich von dem Ausgangsglas in der Zusammensetzung unterscheidet. Ätzt man dieses Bauteil in verdünnter Flusssäure, so wird die partiell kristalline Phase (und mit ihr die Restglasphase) aufgrund ihrer höheren Löslichkeit gegenüber dem Glas herausgelöst, so dass die unbelichteten Bereiche verbleiben.

Messung der Biegebruchfestigkeit

Zur Bestimmung der Biegebruchfestigkeit wurden aus dem Glas Bauteile mit Abmessungen von 30x10x10 mm³ hergestellt, an denen die Biegebruchfestigkeit mittels der 3-Punkt-Biegeprüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 178 ermittelt wurde. Aus jeweils 20 Einzelmessungen wurde der

Mittelwert und die Standardabweichung für einen Vertrauensbereich von 95 % ermittelt. Die für das unmodifizierte Bauteil ermittelte Biegebruchfestigkeit beträgt 341 MPa. Dieser Festigkeitswert ist für Glas an sich schon hoch, was vor allem durch den dritten Prozessschritt, das Ätzen bedingt wird, da dabei die Kerbgründe vorhandener Mikrorisse abgerundet werden.

Modifizierung der Bauteile durch partielle Kristallisation

Durch nochmaliges Belichten und Tempern der Bauteile werden diese partiell kristallisiert, die mechanischen Eigenschaften ändern sich und werden wesentlich von dem Einfluß der Kristallphase auf die Restglasphase bestimmt.

Während bei der Bauteilherstellung stets mit einer gleichen Belichtungsenergie-dichte und mit gleichem Temperregime gearbeitet wurde, fand die Modifizierung des Glases durch Variation der Belichtungsenergie-dichte und des Temperregimes statt, um Aussagen über den Einfluß dieser Prozessparameter auf die Biegebruchfestigkeit treffen zu können. Es zeigte sich eine Abhängigkeit von der Belichtungsenergie-dichte (Abb. 3) und des in Abhängigkeit des Temperregimes ausgebildeten Kristallgefüges (Abb. 4).

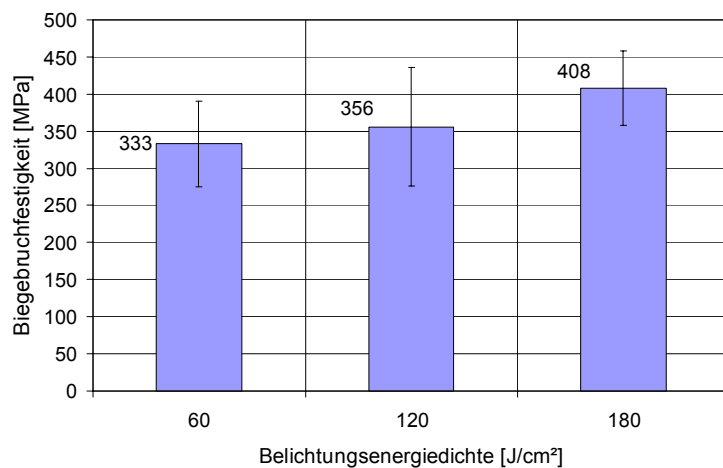


Abb. 3 Abhängigkeit der Biegebruchfestigkeit von der Belichtungsenergie-dichte

Mit steigender Belichtungsenergie-dichte ist eine Erhöhung der Biegebruchfestigkeit zu verzeichnen, der Unterschied zwischen der mit 60 J/cm² und 180 J/cm² belichteten Probe ist signifikant.

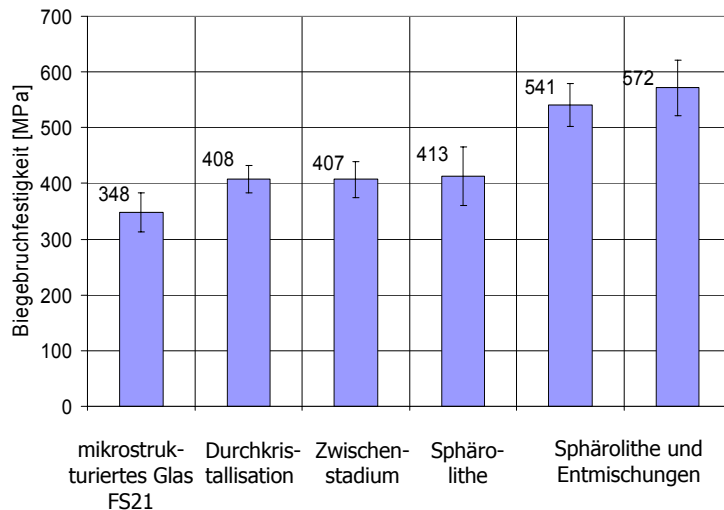


Abb. 4: Abhängigkeit der Biegebruchfestigkeit von dem ausgebildeten Kristallgefüge

Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Kristallgefüge sind diese in Abb. 5 in Form von REM-Bildern gegenübergestellt.

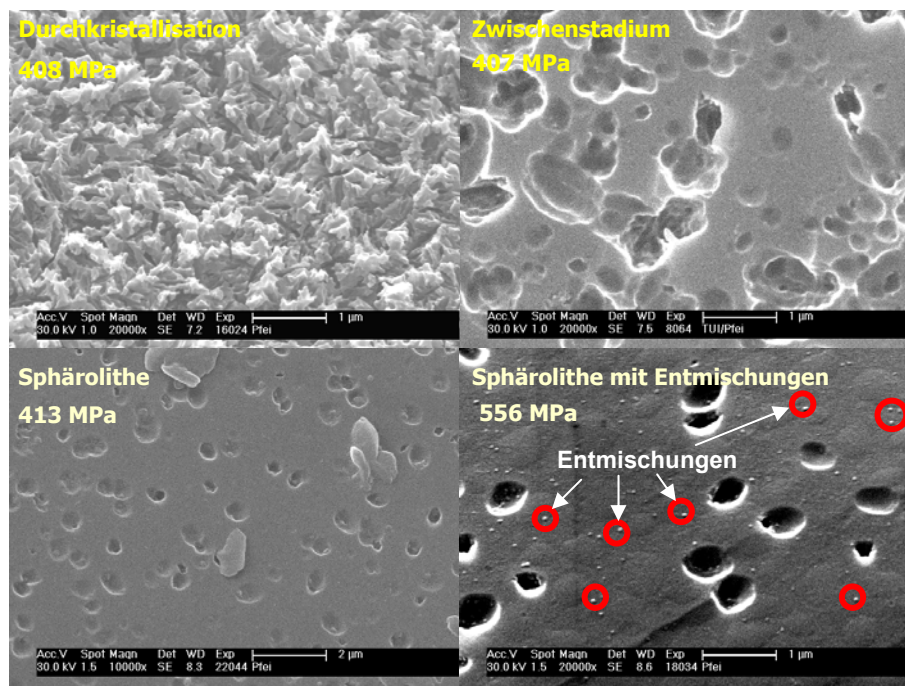


Abb. 5: unterschiedlich ausgebildete Kristallgefüge nach Variation der Prozessparameter (durch ein Anätzen der Proben wird die Kristallphase herausgelöst, so dass auf den REM-Aufnahmen die verbleibende Glasphase mit den „Kristallabdrücken“ verbleibt)

In Abhängigkeit der Kristallform ist eine deutliche Erhöhung der Biegebruchfestigkeit zu verzeichnen gewesen, wenn es zum Wachstum sphärolithischer Kristalle kam, die vereinzelt in der Glasmatrix vorliegen und zusätzlich zu den Kristallen noch Entmischungen im Glas vorhanden sind (Abb. 5 unten rechts). Bei jedem anderen Kristallgefüge (Durchkristallisation, Zwischenstadium

und Sphärolithe) weist die Biegebruchfestigkeit relativ identische Werte auf.

Wahrscheinlich beeinflusst die sphärolithische Kristallstruktur in Zusammenhang mit den Entmischungen die Rissausbreitung so, dass sich der Rissweg verlängert bzw. die Rissenergie an diesen Hindernissen dissipieren kann und das Bauteil erst bei größerer Belastung bricht. Sind die Kristalle dagegen dendritisch ausgebildet (Abb. 5 oben links), so kann, es ausgehend von den Spitze der Kristalle, zur Risseinleitung in die Glasmatrix kommen.

Die partielle Kristallisation von Bauteilen aus fotostrukturierbarem Glas ist ein Weg die mechanischen Eigenschaften zu beeinflussen. Es zeigte sich eine starke Abhängigkeit der Biegebruchfestigkeit von der ausgebildeten Kristallstruktur. Durch Variation der Prozessparameter Belichtungsenergie-dichte und Temperregime ist es gelungen die Biegebruchfestigkeit um etwa 200 MPa auf 541 MPa gegenüber dem nicht modifizierten Bauteil zu erhöhen.

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

[1] Mrotzek, S. Kristallisation eines UV-strukturierbaren Glases im System $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, Dissertation 2005

Autorenangabe(n):

Dipl.-Ing. Annett Hesse

Dipl.-Ing. Susanne Mrotzek

Prof. Dr. Dr. Dagmar Hülsenberg

Fachgebiet für Glas- und Keramiktechnologie, Gustav-Kirchhoff-Str. 6, PF 100565

98684, Ilmenau

Tel.: 03677 692801

Fax: 03677 691436

E-mail: glas-keramik@tu-ilmenau.de