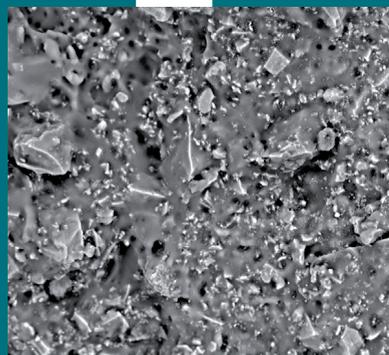


Untersuchung des Alterungs- verhaltens von Vergussmassen bei Hochtemperaturbelastungen



für einen verbesserten Schutz
von Leistungselektronik

Marc Weiser, Martin Demleitner, Felipe Wolff-Fabris, Thomas Hochrein,
Martin Bastian, Volker Altstädt

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

**Untersuchung des Alterungsverhaltens von
Vergussmassen bei Hochtemperaturbelastungen**

für einen verbesserten Schutz von Leistungs-
elektronik

1. Auflage

SKZ – Forschung und Entwicklung

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.)

**Untersuchung des Alterungsverhaltens von
Vergussmassen bei Hochtemperaturbelastungen**

für einen verbesserten Schutz von Leistungselektronik

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Autoren:

Marc Weiser

Martin Demleitner

Dr.-Ing. Felipe Wolff-Fabris

Dr. rer. nat. Thomas Hochrein

Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

Prof. Dr.-Ing. Volker Altstädt

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7142-9

ISSN 2364-754X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 19420 N der Forschungsvereinigung FSKZ e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Forschungseinrichtungen Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe der Universität Bayreuth und das SKZ – KFE gGmbH danken dem BMWi und der AiF für die Förderung sowie der Forschungsvereinigung für die Unterstützung bei der Durchführung des Vorhabens.

Darüber hinaus danken die Forschungsstellen den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die Unterstützung bei der Bearbeitung des Projektes und für die konstruktiven Diskussionen bei den unterschiedlichen Fragestellungen.

Kurzfassung

Das Projekt AlVerHo beschäftigte sich mit der Alterung von Vergussmassen bei Hochtemperaturen. Für vielfältige Anwendungsbereiche und einen breiten Wissensstand, wurden im ersten Projektabschnitt die gängigen Materialklassen (ohne Füllstoffe) untersucht. Es handelt sich dabei um Epoxide, Polyurethane, Polyesterimid und Silikone. Zur Vergleichbarkeit der Produkte wurden diese bei einer Temperatur von 125, 185 und 250 °C für maximal 1000 Stunden in einem Umluftofen gealtert und zu unterschiedlichen Zeitpunkten entnommen. Die anschließende systematische Charakterisierung lieferte Erkenntnisse über das Alterungsverhalten der Materialien bei hohen Temperaturen. Daraus wurden zwei grundsätzlich verschiedene Systeme für weitere Untersuchungen ausgewählt. Im Hartverguss war dies das Epoxidharz Epoxonic EX3466 und im Weichverguss das Silikon Elastosil RT 745 A/B (Wacker Chemie AG).

Im zweiten Projektabschnitt wurden die beiden Systeme mit Füllstoffen modifiziert, um den Einfluss auf das Alterungsverhalten zu untersuchen. Dabei handelte es sich um Aluminiumoxid und um Siliziumdioxid. Als weitere Versuchsparameter wurde die Füllstoffoberfläche mittels einer Silanisierung auf die jeweilige Vergussmasse angepasst. Dadurch ergab sich eine Versuchsmatrix aus Füllstoffart, Konzentration und Oberflächenmodifizierung der Füllstoffe.

Die Temperaturbeständigkeit der Silikone konnte durch die Zugabe der Feststoffe verbessert werden. Bei 250 °C fand beim ungefüllten Harzsystem noch eine Zersetzung statt. Die gefüllten Proben waren allerdings weiterhin als vollständiger Körper nach 1000 Stunden erhalten geblieben. Bei den gefüllten Epoxiden nahmen die Diffusionswege durch den Feststoff zu, was zu einem Abfall der mechanischen Werte geführt hat.

Die Ergebnisse der Alterungsversuche können als Orientierung für die Lebensdauervorhersage reeller Bauteile herangezogen werden. Im Projekt AlVerHo wurden grundsätzliche Struktur-Eigenschaftsbeziehungen erarbeitet. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für weitere spezifische Untersuchungen an Vergussmassen sowie für die Entwicklung neuer Produkte.

Abstract

The project AIVerHo focused on the ageing of casting resins under high temperatures. In the first part of project a screening of common resin material classes (without filler) was carried out. The used materials were epoxy, polyurethane, polyesterimide and silicone resins. The samples were aged in a convection oven by temperatures of 125, 185 and 250 °C for a maximum of 1000 h. The materials were investigated after given times in order to evaluate the ageing of the material in dependence of the chemical structure, temperature and time. Two fundamentally different materials were selected for further studies. For hard resin applications, the epoxy resin Epoxonic EX 3466 was chosen, and for soft resin applications the silicone Elastosil RT 745 A/B (Wacker Chemie AG).

In the second part of the project, the resin systems were modified with fillers, in order to investigate their influence on the ageing process. The used fillers were aluminum oxide and silicon dioxide. Furthermore, the surface of the fillers was modified using silanes as additional influence parameter. Therefore the ageing process was investigated in dependence of the filler type, respective concentration and surface modification.

Due to the addition of the fillers, there was a significant improvement of the temperature resistance of the silicone resin. The unfilled resin decomposed at 250 °C oven temperature. In contrast, the filled samples remained nearly unchanged even after an ageing of 1000 h at this very high temperature. The incorporation of the fillers in the epoxy resin resulted in an increase of the diffusion paths, which negatively influenced the mechanical properties during ageing.

The results obtained here regarding the ageing behavior of the casting resins can be used as an orientation for the life prediction of real components. The focus of the project AIVerHo was to fundamentally establish the structure-properties-relationships of these materials. The obtained results serve as basis for further specific studies and further development of such casting resins.

1	Einleitung.....	5
1.1	Anlass für das Forschungsvorhaben	5
1.2	Problemstellung	6
1.3	Zielsetzung.....	6
2	Stand der Technik.....	7
2.1	Technische Bedeutung.....	7
2.2	Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU.....	8
2.3	Stand der Forschung und Technik	12
3	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	18
4	Experimentelles.....	20
4.1	Auswahl der Ausgangsmaterialien	20
4.2	Einfluss der chemischen Struktur von Harzsystemen.....	22
4.2.1	Herstellung ungefüllter Harzsysteme:	22
4.2.2	Alterung ungefüllter Harzsysteme.....	25
4.2.3	Charakterisierung ungefüllter Harzsysteme	26
4.3	Einfluss von Füllstoffen auf das Eigenschaftsprofil der Harzformulierungen	31
4.3.1	Formulierung gefüllter Harzsysteme	31
4.3.2	Alterung gefüllter Harzsysteme.....	35
4.3.3	Charakterisierung gefüllter Harzsysteme	36
5	Diskussion der Ergebnisse	38
5.1	Alterung ungefüllter Harzsysteme	38
5.2	Charakterisierung ungefüllter Harzsysteme.....	38
5.2.1	Polyurethane	38
5.2.2	Silikone.....	44
5.2.3	Polyesterimidharz	48
5.2.4	Epoxide.....	49
5.3	Alterung gefüllter Harzsysteme	69
5.4	Charakterisierung gefüllter Harzsysteme.....	70
5.4.1	Gefülltes Silikonharz Elastosil RT 745 A/B	71
5.4.2	Gefülltes Epoxid EP1	80
6	Zusammenfassung	92
6.1	Alterung der ungefüllten Reinharzsysteme.....	92
6.2	Alterung der gefüllten Vergussmassen	94
6.3	Allgemeines Fazit	96
7	Literaturverzeichnis	97

8	Abbildungsverzeichnis.....	98
9	Anhang.....	101

Abkürzungsverzeichnis

CTE	Thermischer Ausdehnungskoeffizient
DEA	Dielektrische Analyse
DMA	Dynamisch-mechanische Analyse
DSC	Dynamische Differenzkalorimetrie
FE	Forschungseinrichtung
FTIR	Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
PBA	projektbegleitender Ausschuss
REM	Rasterelektronenmikroskop
T_g	Glasübergangstemperatur
TGA	Thermogravimetrische Analyse
TI	Temperaturindex
TMA	Thermomechanische Analyse

Projektsteckbrief

Aufgrund hoher Umgebungstemperaturen, hoher Ströme und Schaltungsfrequenzen von elektronischen Bauteilen ergeben sich in heutigen Anwendungen bereits Temperatureinwirkungen auf Vergussmassen oberhalb von 200 °C, zukünftig bis ca. 250 °C. Ziel des Projekts ist es, das Alterungsverhalten von Vergussmassen bei hohen Temperaturen (125-250 °C) zu untersuchen bzw. die Auswirkungen auf die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Werkstoffe zu erarbeiten. Dabei soll zunächst der Einfluss verschiedener Harz/Härter-Komponenten sowie deren Verhältnisse auf die chemische Struktur und die Auswirkungen einer Hochtemperaturbelastung auf das Alterungsverhalten und somit auf die Eigenschaften der Harzsysteme untersucht werden. Des Weiteren sollen die Auswirkungen von Füllstoffen evaluiert werden. Dabei werden Formulierungen mit verschiedenen Füllstoffarten, Morphologie und Feststoffkonzentrationen hergestellt und der Einfluss auf die thermische Alterung identifiziert, um die wissenschaftlichen Grundlagen für die Entwicklung neuartiger polymerbasierter Kompositmaterialien zu schaffen. Das Vorhaben hat eine große wirtschaftliche und branchenübergreifende Bedeutung, vor allem für die größtenteils aus KMU bestehende chemische Industrie. Weiterführend profitieren dadurch alle Branchen, in denen Leistungselektronik zum Einsatz kommt (z. B. Automobil- und Energieversorgungsbranche).

AiF/IGF-Projekt 19420 N:

„Untersuchung des Alterungsverhaltens von Vergussmassen bei Hochtemperaturbelastung für einen verbesserten Schutz von Leistungselektronik (kurz: AlVerHo)“

Dauer: 04.2017 – 03.2019

Unterstützt durch den projektbegleitenden Ausschuss:

- Altropol Kunststoff GmbH
- Continental AG
- DELO Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA
- Epoxonic GmbH
- InnoCoat innovative coatings GmbH
- ISO-ELEKTRA GmbH
- KC Kunststoff- Chemische Produkte GmbH
- Micro Systems Engineering GmbH
- Nabaltec AG
- Netzsch Feinmahltechnik GmbH
- Quarzwerke Gruppe
- RAMPF Polymer Solutions GmbH & Co. KG
- Robert Bosch GmbH
- Schweizer Electronics
- Siemens AG
- Vishay Electronic GmbH
- Vosschemie GmbH
- Wellmann Technologies GmbH