

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURESchadensanalyse
Schäden an Elastomerprodukten durch
thermische Beanspruchung
Failure analysis
Defects on elastomeric products caused by
thermal-induced stressVDI 3822
Blatt 2.2.7 / Part 2.2.7Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
1 Anwendungsbereich.....	4	1 Scope.....	4
2 Normative Verweise.....	5	2 Normative references.....	5
3 Abkürzungen.....	5	3 Abbreviations.....	5
4 Schäden durch thermische Beanspruchung.....	5	4 Defects due to thermal stress.....	5
4.1 Niedrige Temperaturen.....	6	4.1 Low temperatures.....	6
4.2 Hohe Temperaturen.....	8	4.2 High temperatures.....	8
4.3 Übersicht.....	10	4.4 Overview.....	10
Schrifttum	14	Bibliography.....	14

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)
Fachbereich Werkstofftechnik

VDI-Handbuch Werkstofftechnik
VDI-Handbuch Fabrikplanung und -betrieb, Band 1: Betriebsüberwachung/Instandhaltung
VDI-Handbuch Kunststofftechnik
VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion
VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 3: Verfügbarkeit/Schadensanalyse

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Durch Schadensanalysen sollen die Ursachen für schadhafte Veränderungen bei Werkstoffen und Produkten bis hin zum Versagen aufgedeckt werden. Die sich hieraus ergebenden Erkenntnisse bilden die Grundlage gezielter Maßnahmen zur Schadensabhilfe und -verhütung. Eine der Hauptaufgaben der Schadensanalyse ist die Auswahl geeigneter Untersuchungsverfahren und die wissenschaftlich fundierte, zusammenfassende Auswertung der Einzelergebnisse. Die Richtlinienreihe VDI 3822

- definiert Begriffe,
- benennt einheitlich Schadensarten und beschreibt diese,
- leitet zur systematischen Vorgehensweise bei der Schadensanalyse an,
- gewährleistet Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsstellen und
- schafft Voraussetzungen zur nachvollziehbaren Dokumentation.

Aufgrund der häufig gleichzeitig auftretenden chemischen, thermischen und mechanischen Belastungen von Elastomerprodukten überschneiden sich die Schadensphänomene teilweise. Folglich ergeben sich verschiedene Schadensphänomene und -bilder, die in anderen Blättern der VDI 3822 bereits beschrieben sind.

In dieser Richtlinie wird zwischen den Begriffen *Belastung* und *Beanspruchung* nach folgender Begriffsdefinition unterschieden:

- **Belastung:**
Einflussgrößen, die von außen auf das Bauteil einwirken
- **Beanspruchung:**
Reaktion des Materials (z.B. Spannung, Verformung usw.) auf die Last (bzw. die Belas-

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Introduction

The purpose of failure analysis is to discover the causes of defective changes in materials and products, some of which can lead to failure. The resulting knowledge provides a basis for specific measures to correct and prevent defects. One of the main tasks of failure analysis is to select appropriate investigation methods and evaluate the individual findings in a comprehensive and scientifically sound way. The objective of the series of standards VDI 3822 is to

- provide definitions of terms,
- designate and describe types of failure in a uniform manner,
- provide directions for performing failure analyses in a systematic way,
- ensure the comparability of the results obtained by different analytical laboratories, and
- establish requirements for comprehensible documentation.

As a result of the often simultaneous occurrence of chemical, thermal and mechanical stresses on elastomer products, some of the failure phenomena overlap. This results in various failure phenomena and failure symptoms which have already been described in other parts of the series of standards VDI 3822.

This standard makes a distinction between the terms *load* and *stress* in accordance with the following definition:

- **load:**
influence variables acting on the component from the outside
- **stress:**
reaction of the material (e.g. tension, deformation) to the load, which can lead to failure

tung), die bei Überschreiten der Beanspruchungsgrenzen zu einem Schadensfall führen kann

Siehe zudem VDI 3822 Blatt 2.1.4.

Einteilung Richtlinienreihe VDI 3822 Blatt 2.2

Gemäß dem Bild, dass Schäden an Elastomerprodukten durch Fehler in der Konstruktion (inklusive der Umsetzung von Anforderungen), im Werkstoff, in der Verarbeitung und während der Nutzung entstehen können, wurde die Richtlinienreihe folgendermaßen strukturiert:

- Die werkstoffübergreifende Richtlinie VDI 3822 behandelt Grundlegendes zur Vorgehensweise.
- Eine Richtlinie erörtert allgemeine Gesichtspunkte zum komplexen Thema *Alterung von Elastomeren* (Blatt 2.2.1)
- Drei Richtlinien beschreiben mögliche Ursachen, die bereits vor der Nutzung auftreten können (Blatt 2.2.2 bis Blatt 2.2.4).
- Fünf Richtlinien beziehen sich auf mögliche Ursachen während der Nutzung (Blatt 2.2.5 bis Blatt 2.2.9).
- Eine Richtlinie erläutert die bedeutenden instrumentellen Analysemethoden in der Schadensanalyse (Blatt 2.2.10).

Blatt 2.2.1 Schäden an Elastomerprodukten durch Alterung (in Vorbereitung)

Blatt 2.2.2 Schäden an Elastomerprodukten durch Fehler bei der Compoundherstellung (in Vorbereitung)

Blatt 2.2.3 Schäden an Elastomerprodukten durch Fertigungsfehler

Blatt 2.2.4 Schäden an Elastomerprodukten durch Fehler bei der Konstruktion

Blatt 2.2.5 Schäden an Elastomerprodukten durch mechanische Beanspruchung

Blatt 2.2.6 Schäden an Elastomerprodukten durch tribologische Beanspruchung (in Vorbereitung)

Blatt 2.2.7 Schäden an Elastomerprodukten durch thermische Beanspruchung

Blatt 2.2.8 Schäden an Elastomerprodukten durch mediale Beanspruchung

Blatt 2.2.9 Schäden an Elastomerprodukten durch klimatische Beanspruchung

Blatt 2.2.10 Bedeutende instrumentelle Analysemethoden für die Schadensanalyse an Elastomerprodukten (in Vorbereitung)

when the stress limits are exceeded

See also VDI 3822 Part 2.1.4.

Structure of the series of standards VDI 3822 Part 2.2

According to the pattern that defects in elastomer products can result from defects in the design (including the implementation of requirements), in the material and the manufacturing process and during use, this series of standards is structured as follows:

- The standard VDI 3822 applies to various different materials and deals with fundamental questions of procedure.
- One standard describes general aspects of the complex topic of the *aging of elastomers* (Part 2.2.1)
- Three standards describe possible causes which can occur before use (Part 2.2.2 to Part 2.2.4).
- Five standards refer to possible causes which can occur during use (Part 2.2.5 to Part 2.2.9)
- One standard explains significant instrumental methods used in failure analysis (Part 2.2.10).

Part 2.2.1 Defects on elastomeric products caused by aging (in preparation)

Part 2.2.2 Defects on elastomeric products caused by faulty compounding (in preparation)

Part 2.2.3 Defects on elastomeric products caused by faulty processing

Part 2.2.4 Defects on elastomeric products caused by faulty design

Part 2.2.5 Defects on elastomeric products caused by mechanical stress

Part 2.2.6 Defects on elastomeric products caused by tribological stress (in preparation)

Part 2.2.7 Defects on elastomeric products caused by thermal-induced stress

Part 2.2.8 Defects on elastomeric products caused by media-induced stress

Part 2.2.9 Defects on elastomeric products caused by climate-induced stress

Part 2.2.10 Significant instrumental analysis methods for failure analysis of elastomeric products

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3822.

Die Richtlinien VDI 3822 Blatt 2.2.1 bis Blatt 2.2.10 gelten jeweils nur in Verbindung mit der Richtlinie VDI 3822.

Bei der Ermittlung möglicher Schadensursachen ist zu berücksichtigen, dass sehr ähnliche Schadensbilder durch unterschiedliche Ursachen bzw. Beanspruchungsarten entstehen können. Insofern kann nicht davon ausgegangen werden, dass eine Schadensursache eindeutig identifiziert ist, sobald in einer der Richtlinien ein Schadensphänomen mit dem vorliegenden Schadensbild übereinstimmt. Es liegt aufgrund der fehlenden Eineindeutigkeit in der Verantwortung des Anwenders dieser Richtlinienreihe, stets alle Richtlinien zu berücksichtigen, sofern nicht das Schadensumfeld Ausschlüsse zulässt.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie geht auf Schäden ein, deren primäre Ursachen durch thermische Beanspruchung der elastomeren Komponente von Produkten zu suchen sind. Dabei werden folgende Beanspruchungen behandelt:

- thermische Beanspruchungen, die bei niedrigen Temperaturen unter der Einwirkung mechanischer Lasten in einem Elastomerbauteil entstehen
- thermische Beanspruchungen eines Elastomerbauteils bei hohen Temperaturen, die mit oder ohne Einwirkung mechanischer Zusatzlasten entstehen

Die Informationen aus dieser Richtlinie dienen lediglich als grundsätzlicher Rahmen. Abweichungen ergeben sich bei Elastomeren insbesondere aufgrund des bestimmungsgemäßen Einsatzzwecks sowie der geltenden Materialspezifikationen und den dort festgelegten Toleranzen anwendungsorientiert hergestellter Elastomerprodukte.

Aufgrund der häufig gleichzeitig auftretenden chemischen, thermischen und mechanischen Beanspruchungen ergibt sich eine Reihe von Phänomenen, die bereits unter anderen Beanspruchungsarten genannt wurden, wie:

- Bruch oder Riss
- Erweichung oder Verhärtung
- klebrige Oberfläche
- Geometrieänderung
- erhöhter Abrieb

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3822.

The standards VDI 3822 Part 2.2.1 to Part 2.2.10 are only valid in conjunction with the standard VDI 3822.

When determining possible causes of failure, it should be kept in mind that extremely similar failure symptoms can result from different causes and/or types of stress. Hence, it cannot be assumed that a cause of failure has been clearly identified just because a failure phenomenon described in one of the standards matches these failure symptoms. As a result of this lack of clarity, the user of this series of standards is responsible at all times for taking all standards into consideration, unless the environment of the failure justifies ruling out individual standards.

1 Scope

This standard deals with defects whose primary causes are to be found in thermal stress on the elastomeric component of products. It deals with the following stresses:

- thermal stresses arising in an elastomeric component at low temperatures as a result of mechanical loads
- thermal loads on an elastomeric component at high temperatures, with or without the effects of additional mechanical loads

The information given in this standard serves as a basic framework only. In terms of elastomers, deviations are in particular the result of using the component for its intended purpose and of the valid material specifications and tolerances defined there for elastomeric products manufactured in an application-oriented way.

As chemical, thermal and mechanical stresses often occur simultaneously, they can lead to a series of phenomena already mentioned under other forms of stress such as:

- fracturing or cracking
- softening or hardening
- sticky surface
- geometrical change
- increased abrasion

2 Normative Verweise

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 3822:2011-11 Schadensanalyse; Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse

3 Abkürzungen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Abkürzungen verwendet:

DMA dynamisch-mechanische Analyse

FEM Finite-Elemente-Methode

FKM Fluor-Karbon-Kautschuk

IR Infrarot

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

VDI 3822:2011-11 Failure analysis; Fundamentals and performance of failure analysis

3 Abbreviations

The following abbreviations are used throughout this standard:

DMA dynamic-mechanical analysis

FEM finite element method

FKM fluorocarbon rubbers

IR infrared