

**VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE**

Schadensanalyse
Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten
durch thermische Beanspruchung
Failure analysis
Defects of thermoplastic products made of plastics
caused by thermal stress

VDI 3822
Blatt 2.1.5 / Part 2.1.5
Ausg. 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..... | 4 | 2 Normative references..... | 4 |
| 3 Schäden durch thermische Beanspruchung.. | 4 | 3 Failure due to thermal stress..... | 4 |
| 4 Bilder..... | 8 | 4 Figures..... | 8 |
| Schrifttum | 10 | Bibliography | 10 |

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)
Fachbereich Werkstoff- und Nanotechnik

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

Frühere Ausgabe: 01.12
 Former edition: 01/12
 Zu beziehen durch / Available at DIN Media GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved (a) © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2024

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

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. Demnach ist es Zweck der Richtlinie:

- Begriffe zu definieren
- Schadensarten einheitlich zu benennen und zu beschreiben
- zur systematischen Vorgehensweise bei der Schadensanalyse anleiten
- Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsstellen zu gewährleisten
- Voraussetzungen zur nachvollziehbaren Dokumentation zu schaffen

Einteilung Richtlinienreihe VDI 3822 Blatt 2.1

Gemäß dem Bild, dass Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten 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.
- Drei Richtlinien beschreiben mögliche Ursachen, die bereits vor der Nutzung auftreten können (Blatt 2.1.1 bis Blatt 2.1.3).
- Sechs Richtlinien beziehen sich auf mögliche Ursachen während der Nutzung (Blatt 2.1.4 bis Blatt 2.1.9)

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 that ultimately lead to failure. The findings thereby obtained provide a basis for targeted measures to remedy and prevent failure. One of the main tasks of failure analysis is the selection of appropriate investigation methods and the scientifically sound, comprehensive evaluation of the individual findings. Correspondingly, the objective of this standard is to:

- provide definitions of terms
- to designate and describe types of failure in a uniform manner
- provide direction for systematically performing failure analyses
- ensure the comparability of the results obtained by different analytical laboratories
- establish requirements for comprehensible documentation

Structure of the series of standards VDI 3822 Part 2.1

According to the pattern that defects in thermoplastic products can result from defects in the design (including the implementation of requirements), in materials, in the manufacturing process, and as a result of wear, this series of standards is structured as follows:

- The standard VDI 3822, which applies to a number of different materials, deals with fundamental questions of procedure.
- Three standards describe possible causes that can occur before use (Part 2.1.1 to Part 2.1.3).
- Six standards are related to possible causes during use (Part 2.1.4 to Part 2.1.9).

- Eine Richtlinie erläutert die bedeutenden instrumentellen Analysemethoden in der Schadensanalyse (Blatt 2.1.10)

Blatt 2.1.1 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch fehlerhafte Konstruktion

Blatt 2.1.2 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch fehlerhafte Verarbeitung

Blatt 2.1.3 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch fehlerhafte Werkstoffauswahl und Fehler im Werkstoff

Blatt 2.1.4 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch mechanische Beanspruchung

Blatt 2.1.5 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch thermische Beanspruchung

Blatt 2.1.6 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch tribologische Beanspruchung

Blatt 2.1.7 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch mediale Beanspruchung

Blatt 2.1.8 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch Witterungsbeanspruchung

Blatt 2.1.9 Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch mikrobielle Beanspruchung

Blatt 2.1.10 Bedeutende Analysemethoden für die Schadensanalyse an thermoplastischen Kunststoffprodukten

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3822.

Die Richtlinien VDI 3822 Blatt 2.1.1 bis Blatt 2.1.10 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 einem der Beiblätter ein Schadensphänomen mit dem vorliegenden Schadensbild übereinstimmt. Es liegt aufgrund der fehlenden Eineindeutigkeit in der Verantwortung der Anwendenden dieser Richtlinie, stets alle Beiblätter zu berücksichtigen, sofern nicht das Schadensumfeld Ausschlüsse zulässt.

- One standard explains significant instrumental analysis methods in failure analysis (Part 2.1.10).

Part 2.1.1 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by faulty design

Part 2.1.2 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by faulty processing

Part 2.1.3 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by an unfavourable choice of material and by defects in the material

Part 2.1.4 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by mechanical stress

Part 2.1.5 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by thermal stress

Part 2.1.6 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by tribology-induced stress

Part 2.1.7 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by chemical stress

Part 2.1.8 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by weather-induced stress

Part 2.1.9 Defects of thermoplastic products made of plastics caused by microbial stress

Part 2.1.10 Significant instrumental analysis methods for failure analysis of products made of plastics

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3822.

The standards VDI 3822 Part 2.1.1 to Part 2.1.10 are valid only in conjunction with the standard VDI 3822.

In determining possible causes of failure, it should be kept in mind that very similar failure phenomena can result from different causes and/or types of stress. Hence, it cannot be assumed that the cause of failure has been clearly identified, simply because the failure phenomenon that presents itself corresponds to one of failure phenomena described in one of the parts of this standard. Since there is no clear indication, the user of this standard is always responsible for taking all of the parts into consideration, unless the failure environment justifies exclusions.

1 Anwendungsbereich

In dieser Richtlinie werden folgende Beanspruchungen behandelt:

- thermische Beanspruchung
- thermisch-oxidative Beanspruchung

Es werden die Auswirkungen von Temperaturbelastung auf Thermoplaste behandelt, die durch das Einwirken reiner Temperatur, aber auch von Temperatur unter Lufteinfluss eintreten.

Gleichzeitig gilt, dass Temperatur nicht nur dazu führt, dass Schäden unmittelbar ausgelöst werden, sondern die Temperatur bei allen chemischen Reaktionen eine beschleunigende Wirkung (Gesetz von *Arrhenius*) hat. Dies betrifft u.a. die mediale Belastung (VDI 3822 Blatt 2.1.7) und die klimatische Belastung (VDI 3822 Blatt 2.1.8).

Auch die Wirkung mechanischer, tribologischer und biologischer Beanspruchungen auf Thermoplaste ist stark temperaturabhängig. Bei den mechanischen (VDI 3822 Blatt 2.1.4) und tribologischen (VDI 3822 Blatt 2.1.6) Eigenschaften ist oftmals entscheidend, ob sich teilkristalliner Kunststoff im energie- oder entropieelastischen Bereich (ober-/unterhalb der Glasübergangstemperatur) befindet und sich durch den Glasübergang die Eigenschaften zum Teil sprunghaft ändern können. Unterhalb der Glasübergangstemperatur (energieelastischer Bereich) weisen teilkristalline Thermoplaste ein zunehmend sprödes Verhalten auf; oberhalb (entropie-elastischer Bereich) ein eher duktileres Verhalten. Diese Änderung des Bruchverhaltens gilt im Wesentlichen auch für amorphe Thermoplaste, wobei deren Einsatztemperaturbereich ausschließlich unterhalb der Glasübergangstemperatur liegt.

Die biologischen Eigenschaften (VDI 3822 Blatt 2.1.9) werden durch die Temperatur dadurch beeinflusst, dass die Temperatur eine für Mikroorganismen entsprechenden Lebensraum herstellen muss.

1 Scope

In this standard, the following types of stress will be addressed:

- thermal stress
- thermal-oxidative stress

The effects of temperature stress on thermoplastics, resulting both from the influence of temperature alone and of temperature in combination with exposure to air, will be addressed.

At the same time, it is also true that temperature not only directly contributes to failure, temperature also accelerates all chemical reactions (*Arrhenius' Law*). This also applies in the case of chemical stress (VDI 3822 Part 2.1.7) and weather induced stress (VDI 3822 Part 2.1.8).

The effects of mechanical, tribology-induced and biological stress on thermoplastics are also highly dependent on temperature. In relation to mechanical (VDI 3822 Part 2.1.4) and tribological (VDI 3822 Part 2.1.6) properties, it is often of decisive importance whether a semicrystalline plastic is in an energy or entropy elastic range (above/below the glass transition temperature) and, hence, some properties can change dramatically in the wake of glass transition. Below the glass transition temperature (energy elastic range) semicrystalline thermoplastics exhibit an increasingly brittle behaviour and exhibit a rather ductile behaviour above it (entropy elastic range). This change of the fracture behaviour is also exhibited by amorphous thermoplastics, whereby the application temperature range is solely below the glass transition temperature.

Biological properties (VDI 3822 Part 2.1.9) are influenced by temperature to the extent that temperature is a factor in creating the appropriate environment for micro-organisms.