

**VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE**

Schadensanalyse
Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten
durch tribologische Beanspruchung
Failure analysis
Defects of thermoplastic products made of plastics
caused by tribology-induced stress

VDI 3822
Blatt 2.1.6 / Part 2.1.6
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 Begriffe.....	4	3 Terms and definitions.....	4
4 Schäden durch tribologische Beanspruchung.....	5	4 Damage resulting from tribological stress.....	5
4.1 Tribologische Schäden durch betriebliche Nutzung.....	6	4.1 Tribological damage resulting from industrial operation.....	7
4.2 Tribologische Schäden durch Fehler in der Konstruktion.....	10	4.2 Tribological damage resulting from faulty design.....	11
5 Beispielbilder – Schadensbilder zur Orientierung.....	12	5 Examples – Failure images for orientation.....	12
Schrifttum	23	Bibliography.....	23

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 © 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 anzuleiten
- 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).

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
- 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).

- Sechs Richtlinien beziehen sich auf mögliche Ursachen während der Nutzung (Blatt 2.1.4 bis Blatt 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

- Six standards are related to possible causes during use (Part 2.1.4 to Part 2.1.9).
- 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 modes 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 mode that presents itself corresponds to one of the failure phenomena described in one of the parts of this standard. Since there is no clear indication;

liegt aufgrund der fehlenden Eineindeutigkeit in der Verantwortung der Anwendenden dieser Richtlinie, stets alle Beiblätter zu berücksichtigen, sofern nicht das Schadensumfeld Ausschlüsse zulässt.

1 Anwendungsbereich

Im Folgenden werden die verschiedenen Schadensarten, die Schadensmerkmale, die Schadensursachen und die Schadensabläufe beschrieben, die durch tribologische Beanspruchung an Kunststoffprodukten entstehen. Nach GfT-Arbeitsblatt 7 wird darunter die Beanspruchung der Oberfläche eines Festkörpers durch Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers verstanden. Die tribologische Beanspruchung ist auch dadurch charakterisiert, dass die mechanische Beanspruchung sekundäre thermische, tribochemische und physikalische Reaktionen zwischen den beteiligten Elementen des tribologischen Systems auslöst. Sie ist also neben der rein mechanischen, thermischen oder medialen Beanspruchung eine gesonderte Beanspruchungsart, die auf Oberflächenbereiche der Werkstoffe konzentriert ist und zum Werkstoffinnern hin abklingt.

Die aufgeführten Schäden bei Gleit- und Wälzbeanspruchung (Hydrodynamik, Elastohydrodynamik, Mischreibung, Festkörperreibung und Grenzreibung) und bei oszillierender Beanspruchung (Schwingungsverschleiß) treten meist bei den klassischen Maschinenelementen auf, also in „geschlossenen Systemen“. Zum Verschleiß in „offenen Systemen“ zählt der Abrasivgleitverschleiß sowie der Strömungs- und Strahlverschleiß.

Diese Richtlinie gilt für die Schäden, die durch das Wirken der Verschleißmechanismen *Adhäsion*, *Abrasion*, *Oberflächenzerrüttung* und *tribochemische Reaktionen* hervorgerufen werden. Sie können einzeln oder überlagert auftreten.

Die mediale Belastung im tribologischen System z.B. durch Schmierstoffe wird hier nicht berücksichtigt. Zur Beschreibung der Wirkung von Medien wird auf die Richtlinie VDI 3822 Blatt 2.1.7 verwiesen.

the user of this standard is always responsible for taking all of the parts into consideration, unless the failure environment justifies exclusions.

1 Scope

In the following, various types of failure that occur in plastic products as a result of tribology induced stress will be described along with the corresponding failure characteristics, the causes of failure and the failure mechanisms. According to the GfT-Arbeitsblatt 7 (“German Society for Tribology Working Paper 7”) this is defined as the wear on the surface of a solid body as a result of contact and relative movement of a counterbody in solid, liquid or gas form. A characteristic of tribological stress is that mechanical stress triggers secondary thermal, tribochemical and physical reactions between the elements involved in the tribological system. Hence, it is a separate type of stress that exists in addition to purely mechanical, thermal or chemical stress, on that is concentrated on the surface of materials and that dissipates towards the core of the material.

The types of defects described for sliding and rolling stress (hydrodynamic, elasto-hydrodynamic, mixed friction, solid body friction and boundary friction) and for oscillating stress (fretting wear) usually occurs in classic machine elements, i.e., in “closed systems”. Wear in “open systems” includes abrasive sliding wear as well as wear caused by erosion and solid particle erosion.

This standard applies to defects that are caused by the effects of the wear mechanisms *adhesion*, *abrasion*, *surface fatigue* and *tribochemical reactions*. They can occur individually or simultaneously.

The chemical stress encountered in a tribological system, e.g., through lubricants, will not be taken into consideration here. For a description of these effects of stress due to media, see the standard VDI 3822 Part 2.1.7.