

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURESchadensanalyse
Schäden durch mechanische Belastungen
Failure analysis
Failures caused by mechanical loadingVDI 3822
Blatt 1.1 / Part 1.1
Entwurf / Draft

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.**Einsprüche bis 2022-05-31*

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal
<http://www.vdi.de/3822-1-1>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Materials Engineering
Fachbereich Werkstofftechnik
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweise	6
3 Schadensarten	6
3.1 Benennung von Gewaltbrüchen	6
3.2 Benennung von Schwingbrüchen	7
3.3 Tabellen mit Schadensarten	8
4 Bilder von Brüchen, die durch mechanische Beanspruchungen entstanden sind	38
Schrifttum	62

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction.....	2
1 Scope	5
2 Normative references	6
3 Types of failure	6
3.1 Designation of forced fractures.....	6
3.2 Designation of fatigue fractures.....	7
3.3 Tables surveying types of failure.....	8
4 Figures of fractures caused by mechanical stress	38
Bibliography	62

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)
Fachbereich Werkstofftechnik

VDI-Handbuch Werkstofftechnik
VDI-Handbuch Fabrikplanung und -betrieb, Band 1: Betriebsüberwachung/Instandhaltung
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

Produkte werden unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten für einen funktionssicheren und gefahrlosen Einsatz während der vorgesehenen Betriebsdauer hergestellt. Trotz sorgfältiger Konstruktion und Fertigung sowie eingehender Erprobung gelingt es auch beim Einhalten der vorgesehenen Betriebsweise nicht immer, Fehler und Schäden an derartigen Erzeugnissen zu vermeiden. Schadensfälle verursachen im Allgemeinen wirtschaftliche Verluste durch Produktions- oder Nutzungsausfall, Folgeschäden sowie notwendige Reparaturmaßnahmen und können darüber hinaus Menschen gefährden.

Gezielte Maßnahmen zur Schadensabhilfe und -verhütung können nur dann eingeleitet werden, wenn die Schadensursachen und Fehlereinflüsse durch systematische Untersuchungen aufgeklärt werden. Schadensanalysen können zu Verbesserungen bei der Werkstoffentwicklung, der Werkstoffauswahl, der Konstruktion, der Fertigung, der Betriebsweise und der Wartung/Reparatur führen. Darüber hinaus können die gewonnenen Erkenntnisse sofort in die Qualitätssicherung eingehen, der Schadensprävention dienen und Entwicklungen einleiten, beispielsweise bei der Werkstoffproduktion und -entwicklung, Ver- und Bearbeitung, Prüfung und Anwendung von Werkstoffen. Schadensanalysen dienen dazu, für ein technisches Erzeugnis ein Optimum aus Werkstoff-, Konstruktions-, Fertigungs- und Bauteileigenschaften unter Kostengesichtspunkten zu finden.

Der Erfolg einer Schadensanalyse hängt weitgehend von der Sorgfalt ihrer Planung, von der Art und dem Umfang der einzelnen Untersuchungsschritte sowie von der Qualität ihrer Durchführung ab. Um Erfahrungen aus Schadensanalysen systematisch auswerten und zugänglich machen zu können, sind Vereinheitlichungen erforderlich.

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

Products are manufactured according to economic principles for the purpose of functionally reliable and risk-free use throughout their intended service life. In spite of careful design and manufacture, as well as thorough testing and compliance with the intended use, it is not always possible to avoid failure and defects of products. Failure cases generally cause economic losses due to downtimes during production or use, consequential damages as well as necessary repair activities, and they might also be hazardous for humans.

Targeted measures for remedying and preventing failure can only be initiated when the causes of failure are identified through systematic analyses. Failure analyses can lead to improvements in the development and choice of materials used, in the design, in manufacture and in the mode of operation. In addition, the knowledge acquired there can immediately enter into quality assurance in order to prevent failure and initiate developments, for example in the production and development of materials and in the processing, testing and use of materials. Failure analyses aim at finding an optimum combination of material, design, manufacturing and component characteristics and low cost.

The success of failure analysis depends largely on the care taken during planning, the type and scope of the individual steps in the analysis and the quality with which they are performed. Standardizations are necessary in order to allow the failure analyses to be systematically evaluated and made accessible.

Demnach ist Zweck der Richtlinie,

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

Dem Nutzer der Richtlinie werden kennzeichnende Schadensbilder, Schadensbeschreibungen und Schadensmechanismen zum Vergleich mit dem zu untersuchenden Schadensfall zur Verfügung gestellt. Die Blätter der Richtlinienreihe folgen in ihrer Gliederung der Situation bei der Schadensanalyse: Ausgehend von einem Schadensbild unterstützen sie bei der Findung potenzieller Schadenshypothesen und -mechanismen, um anschließend Hinweise zur Feststellung der Schadensursachen zu geben. Dabei berücksichtigt die Richtlinie nicht nur individuelle Schadensfälle (singuläre Schäden an einzelnen Produkten), sondern auch Serienschäden (Schäden, die in gleicher Art an vielen Produkten aufgetreten sind).

Einteilung der Richtlinienreihe VDI 3822

In der Richtlinie VDI 3822 werden Grundlagen, Begriffe und Definitionen, der Ablauf einer Schadensanalyse und ihre Dokumentation behandelt, die sich für die verschiedenen Werkstoffgruppen nicht unterscheidet:

VDI 3822 Schadensanalyse; Grundlagen, Begriffe, Ablauf einer Schadensanalyse, Dokumentation

In den werkstoffspezifischen Blättern werden Schadensarten, Schadensmerkmale, Schadensabläufe und Schadensmechanismen beschrieben. Dabei werden – die Realität stark vereinfachend – verschiedene Beanspruchungsarten in den Blättern separat behandelt. Dem Schadensanalytiker ist damit die Möglichkeit gegeben, nachzuschlagen, welche Wirkungen die verschiedenen Beanspruchungen auf ein Produkt haben können. Ihm obliegt aber weiterhin die Verantwortung, durch Abgleich mit dem Schadensumfeld die Eintrittswahrscheinlichkeit der einzelnen Beanspruchungsarten zu bewerten und die Wirkung kollektiver Beanspruchungen zu berücksichtigen.

In den folgenden Blättern werden die verschiedenen Schadensarten, die Schadensmerkmale, die Schadensursachen und die Schadensabläufe im Fall von Schäden an Metallprodukten beschrieben:

The purpose of this standard is therefore 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.

The user of the standard is provided with characteristic failure symptoms, failure descriptions, and failure mechanisms so that they can be compared with the failure case to be analysed. The different parts of the standard are structured in the same way as failure analysis: starting from failure symptoms, they provide support in finding potential failure hypotheses and mechanisms and give indications for identifying the causes of failure. The standard takes not only individual failure cases (i.e. singular defects in individual products) into account, but also serial defects (i.e. defects of the same type which have occurred in many products).

Structure of the series of standards VDI 3822

The standard VDI 3822 deals with fundamentals, terms and definitions as well as the failure analysis procedure and its documentation, which does not differ for the different groups of materials:

VDI 3822 Failure analysis; basics, terms, procedure of a failure analysis, documentation

The material-specific parts of the standard describe failure types, failure procedures, and failure mechanisms. Various types of stress – greatly simplified in comparison with reality – are dealt with separately in the different parts of the standard. This allows the failure analyst to look up which effects the different types of stress can have on a product. However, he also continues to be responsible for assessing the probability with which individual forms of stress will occur by comparing them with the failure environment and taking the effects of collective stresses into account.

The following parts of the standard describe the different failure types, the failure symptoms, the causes of failure and the failure procedures in the case of defects in metal products:

Blatt 1.1	Schäden durch mechanische Belastungen
Blatt 1.2	Schäden an Metallprodukten durch Korrosion in wässrigen Medien
Blatt 1.3	Schäden an Metallprodukten durch tribologische Beanspruchungen
Blatt 1.4	Schäden an Metallprodukten durch thermische Beanspruchungen
Blatt 1.5	Schäden an geschweißten Metallprodukten
Blatt 1.6	Flüssigmetallinduzierte Rissbildung

In den folgenden Blättern werden die verschiedenen Schadensarten, die Schadensmerkmale, die Schadensursachen und die Schadensabläufe im Fall von Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten beschrieben:

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 Kunststoffprodukten

In den folgenden Blättern werden die verschiedenen Schadensarten, die Schadensmerkmale, die Schadensursachen und die Schadensabläufe im Fall von Schäden an Elastomerprodukten beschrieben:

Part 1.1	Failures caused by mechanical loading
Part 1.2	Failures of metallic products caused by corrosion in aqueous media
Part 1.3	Failures on metal products caused by tribology working conditions
Part 1.4	Failures caused by thermal loading
Part 1.5	Failures in welded metallic components
Part 1.6	Liquid-metal-induced crack formation

The following parts of the standard describe the different failure types, the failure symptoms, the causes of failure and the failure procedures in the case of defects in thermoplastic products:

Part 2.1.1	Failures 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 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 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

The following parts of the standard describe the different failure types, the failure symptoms, the causes of failure and the failure sequences in the case of defects in elastomeric products:

Blatt 2.2.1	Schäden an Elastomerprodukten durch Alterung	Part 2.2.1	Defects on elastomeric products caused by aging
Blatt 2.2.2	Schäden an Elastomerprodukten durch Fehler bei der Compoundherstellung	Part 2.2.2	Defects on elastomeric products caused by faulty compounding
Blatt 2.2.3	Schäden an Elastomerprodukten durch Fertigungsfehler	Part 2.2.3	Defects on elastomeric products caused by faulty processing
Blatt 2.2.4	Schäden an Elastomerprodukten durch Fehler bei der Konstruktion	Part 2.2.4	Defects on elastomeric products caused by faulty design
Blatt 2.2.5	Schäden an Elastomerprodukten durch mechanische Beanspruchung	Part 2.2.5	Defects on elastomeric products caused by mechanical stress
Blatt 2.2.6	Schäden an Elastomerprodukten durch tribologische Beanspruchung (in Vorbereitung)	Part 2.2.6	Defects on elastomeric products caused by tribological stress (in preparation)
Blatt 2.2.7	Schäden an Elastomerprodukten durch thermische Beanspruchung	Part 2.2.7	Defects on elastomeric products caused by thermal-induced stress
Blatt 2.2.8	Schäden an Elastomerprodukten durch mediale Beanspruchung	Part 2.2.8	Defects on elastomeric products caused by media-induced stress
Blatt 2.2.9	Schäden an Elastomerprodukten durch klimatische Beanspruchung	Part 2.2.9	Defects on elastomeric products caused by climate-induced stress
Blatt 2.2.10	Bedeutende Analysemethoden für die Schadensanalyse an Elastomerprodukten	Part 2.2.10	Significant instrumental analysis methods for failure analysis of elastomeric products

Alle werkstoffspezifischen Blätter gelten jeweils eigenständig nur zusammen mit der Grundlagenrichtlinie VDI 3822.

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.

1 Anwendungsbereich

In der vorliegenden Richtlinie sind Schäden beschrieben, die durch mechanische Beanspruchungen entstehen. Mithilfe der aufgeführten Bruchformen können die in der Praxis auftretenden Brüche klassifiziert werden (Tabelle 1 bis Tabelle 6 in Abschnitt 3).

Die in dieser Richtlinie beschriebenen charakteristischen Bruchformen sollen helfen, den Bruchmechanismus zu identifizieren und damit die Schadensursache(n) aufzuklären. Aufgrund der enormen Vielzahl möglicher Schadensursachen sind Bruchformen, die fast ausschließlich bei Laborversuchen entstehen, z.B. das Ausziehen zu einer Spitze oder einer Schneide bei reinen duktilen Metallen, in dieser Richtlinie nicht berücksichtigt. Herstellungsfehler, die zu Brüchen führen können, sind ebenfalls nicht aufgeführt. Daher sind auch keine Schäden erfasst, die durch starke Schlackenzeilen oder Doppelungen entstehen. In einigen Fällen werden Laborproben zur Veranschaulichung des Bruchtyps dargestellt.

Each independent material-specific part of the standard only applies in conjunction with the basic standard VDI 3822.

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.

1 Scope

In this standard, failures that result from mechanical conditions are described. By referring to the types of fracture described in this standard, it is possible to classify fractures that occur in practice (Table 1 to Table 6 in Section 3).

The characteristic fracture forms described in this standard are intended to help identify the fracture mechanism and thus clarify the cause(s) of the damage. Due to the enormous number of possible causes of damage, fracture forms which almost exclusively occur in laboratory tests, e.g. pulling to a point or a cutting edge in the case of pure ductile metals, are not considered in this standard. Manufacturing defects that can lead to fractures are also not listed. Therefore, damage caused by strong slag lines or duplication is not covered. In some cases laboratory samples are presented to illustrate the type of fracture.

Bedingt durch die Art der Belastung gibt es Überschneidungen zu anderen Blättern dieser Reihe. Schwingbrüche im Zusammenhang mit tribologischen Beanspruchungen (z.B. bei Wälzlagern und Zahnrädern) werden in VDI 3822 Blatt 1.3 beschrieben. Schäden durch thermische Beanspruchungen behandelt VDI 3822 Blatt 1.4. Zu berücksichtigen bleibt, dass die Festigkeitskennwerte temperaturabhängig sind und die Wirkung von Deckschichten nicht berücksichtigt ist.

Due to the type of load there are overlaps with other parts of this series of standards. Vibration fractures in connection with tribological loads (e.g. in rolling bearings and gears) are described in VDI 3822 Part 1.3. Damage caused by thermal stresses is dealt with in VDI 3822 Part 1.4. It should be noted that the strength values are temperature-dependent and the effect of cover layers is not taken into account.