

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Produktentwicklung mit
Formgedächtnislegierungen (FGL)
Simulation und Modellentwicklung
Product development using
shape memory alloys (SMA)
Simulation and model development

VDI 2248
Blatt 4 / Part 4

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.....	2	1 Scope.....	2
2 Normative Verweise.....	3	2 Normative references.....	3
3 Begriffe	3	3 Terms and definitions	3
4 Formelzeichen.....	3	4 Symbols.....	3
5 Ausgangslage und Aufgabenstellung.....	4	5 Initial situation and definition of task	4
6 Spezifizierung der Konstruktion.....	5	6 Design specification.....	5
7 Notwendige Experimente	10	7 Required experiments	10
7.1 Experimentelle Daten für Modelle nach Gruppe A	10	7.1 Experimental data for group A models	10
7.2 Experimentelle Daten für Modelle nach Gruppe B	11	7.2 Experimental data for group B models	11
8 Detailbeschreibungen ausgewählter Modelle.....	13	8 Detailed description of selected models	13
8.1 Detailbeschreibung eines Modells nach Gruppe A	13	8.1 Detailed description of a Group A model	13
8.2 Detailbeschreibung eines Modells nach Gruppe B	14	8.2 Detailed description of a Group B model	14
9 Simulationsbeispiele	16	9 Simulation examples	16
9.1 Beispielmodell nach Gruppe A	16	9.1 Example of a group A model.....	16
9.2 Formgedächtnisaktordraht im Vergleich zur Feder.....	16	9.2 Shape memory actuator wire in comparison with a spring.....	16
9.3 Zugexperiment – superelastisches FG- Band mit thermomechanischer Kopplung	19	9.3 Tensile test – superelastic SM strip with thermo-mechanical coupling	19
9.4 Biegeversuch – superelastischer FG- Balken mit thermomechanischer Kopplung	20	9.4 Bending test – superelastic SM bar with thermo-mechanical coupling	20
9.5 Beispielmodell nach Gruppe B	21	9.5 Example of a group B model	21
9.6 Fehlerursachen	25	9.6 Causes of errors	25
Schrifttum	28	Bibliography	28

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)
Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik

VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion
VDI/VDE-Handbuch Automatisierungstechnik
VDI-Handbuch Werkstofftechnik

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.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2248.

Einleitung

Numerische Simulationen leisten heutzutage einen wesentlichen Beitrag zu einer modernen und innovativen Produktentwicklung. Aufgrund der heute zur Verfügung stehenden Leistung von handelsüblichen Computern können auch komplexe Geometrien unter verschiedenen Belastungsfällen analysiert und auf ihren zukünftigen Einsatz hin optimiert werden. Dabei sind immer sogenannte „Materialmodelle“ notwendig, die ähnlich zum linearelastischen hookeschen Gesetz eine Beziehung zwischen Spannungen und Dehnungen sowie der Temperatur herstellen. Da es unterschiedliche Ansätze gibt, um Formgedächtnislegierungen (FGL) zu modellieren, werden in dieser Richtlinie exemplarisch zwei Modellierungsmethoden vorgestellt. Sie dienen dazu, die Grundlagen und die Zielsetzung von Simulationen zu definieren, die Anwendung dieser Methoden zu illustrieren und abschließend die mit Simulationen erzielten Ergebnisse richtig zu deuten und zu analysieren.

Die Richtlinienreihe VDI 2248 ist ein Ergebnis des VDI-GPP-Fachausschusses 708 „Formgedächtnistechnologie“.

1 Anwendungsbereich

Die in dieser Richtlinie vorgestellten Anwendungsbereiche und Qualitätskriterien an Materialmodelle entsprechen dem heutigen Stand der Forschung. Daher können die hier gemachten Aussagen bezüglich Auswahlkriterien als allgemeingültig für alle FGL angesehen werden. Unabhängig vom Material gilt aber, dass Simulationsergebnisse für jeden Anwendungsfall kritisch durch den Anwender auf ihre Realitätsstreue hin beurteilt werden müssen, so auch

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.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2248.

Introduction

Nowadays, numerical simulations make a significant contribution to modern and innovative product development. Thanks to the high computing capacity of modern commercially available computers, even complex geometries can be analysed by applying various load cases and then optimised for future use. This process always requires the application of so-called “material models” which establish a relationship between stresses and strains, similar to Hooke’s law, as well as with the temperature behaviour. As there are several different approaches to modelling shape memory alloys (SMAs), this standard undertakes to explain SMA modelling, using two different modelling methods as examples. These examples serve to define the fundamentals and objectives of simulations, to illustrate application of the two methods and to interpret and analyse simulation results correctly.

The series of standards VDI 2248 is a result of the VDI GPP Technical Committee 708 “Shape Memory Technology”.

1 Scope

The fields of application and quality criteria for material models presented in this standard correspond to the current state of research. Therefore, any statements regarding selection criteria made here can be considered to be generally valid for all SMAs. However, irrespective of the material, the user should always assess simulation results for every application critically in terms of compliance with real-world scenarios. This also applies to re-

Ergebnisse, die mit den exemplarischen Materialmodellen erzielt wurden.

Bezogen auf die exemplarischen Materialmodelle wurden bislang keine Lastfälle oder Geometrien gefunden, für die fragwürdige Ergebnisse erzielt wurden. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass solche Fälle existieren.

2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 2248 Blatt 1:2019-09 Produktentwicklung mit Formgedächtnislegierungen (FGL); Grundlagen und Anwendungsbeispiele

sults obtained with the material models used here as examples.

Up to now, no load cases or geometries with questionable results have been found with the material models used as examples in this standard. It cannot be excluded, however, that such cases do actually exist.

2 Normative references

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

VDI 2248 Blatt 1:2019-09 Product development using shape memory alloys (SMA); Basics and application examples