

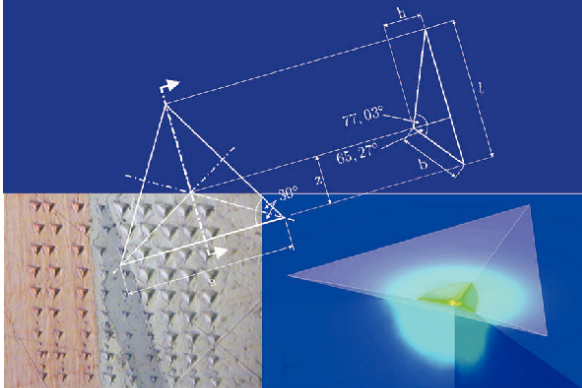


Jens Sterthaus (Autor)

Parameteridentifikation an metallischen Werkstoffen basierend auf numerischen Simulationen und instrumentierter Eindringprüfung

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Kontinuumsmechanik und Materialtheorie
der Technischen Universität Berlin

Herausgegeben von Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang H. Müller



Jens Sterthaus

**Parameteridentifikation
an metallischen Werkstoffen
basierend auf numerischen Simulationen
und instrumentierter Eindringprüfung**

 Cuvillier Verlag Göttingen



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1384>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----------|
| Inhaltsverzeichnis | v |
| Abbildungsverzeichnis | xv |
| Tabellenverzeichnis | xvii |
| Vorwort | xxiii |
| Kurzfassung | xxv |
| Abstract | xxvii |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Verifikation klassischer Auswertungsverfahren | 5 |
| 2.1 Prüfkörpergeometrie und Härte | 5 |
| 2.2 Zusammenhang zwischen Kraft-Weg-Kurve und E-Modul . . . | 15 |
| 2.3 Dimensionsanalyse | 20 |
| 2.4 Kalibrierung | 28 |
| 2.4.1 Ermittlung der Flächenfunktion und Nachgiebigkeit als entkoppelte Größen | 29 |
| 2.4.2 Iterative Ermittlung der Flächenfunktion und der Nachgiebigkeit | 33 |
| 2.5 Nutzung der Dimensionsanalyse für Größen der Indentation . | 38 |
| 2.5.1 Linear elastisch-ideal plastisches Material | 38 |
| 2.5.2 Linear verfestigendes Material | 47 |
| 2.5.3 Auswirkungen des Werkstoffmodells auf die zu ermit- telnden Kenngrößen | 50 |
| 2.5.4 Auswirkungen einer fehlerhaft bestimmten Rahmen- nachgiebigkeit | 51 |

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|---|------------|
| 3 | Parameteridentifikation mittels Nanoindentation | 55 |
| 3.1 | Beschreibung des Indentermodells und der Vorgehensweise . . . | 55 |
| 3.2 | Materialeigenschaften und zu identifizierende Parameter . . . | 74 |
| 3.2.1 | Berücksichtigung der Materialdaten in der FE-Berechnung | 74 |
| 3.2.2 | Elastisch-ideal plastisch | 76 |
| 3.2.3 | Elastisch-plastisch, mit linearer Verfestigung | 76 |
| 3.2.4 | Materialmodell nach RAMBERG-OSGOOD | 77 |
| 3.2.5 | Modifiziertes RAMBERG-OSGOOD-Modell mit einem linear elastischen Bereich | 79 |
| 3.2.6 | Modifiziertes LUDWIK-Modell mit einem linear elastischen Bereich | 81 |
| 3.3 | Konstitutive Gleichungen | 83 |
| 3.3.1 | Kinematische Beziehungen | 83 |
| 3.3.2 | Additive Zerlegung der Dehnraten | 84 |
| 3.3.3 | Gleichgewicht und virtuelle Arbeit | 84 |
| 3.3.4 | Elastische Eigenschaften | 86 |
| 3.3.5 | Plastische Eigenschaften | 86 |
| 3.3.6 | Berücksichtigung zeitabhängigen Verhaltens durch Kriechen | 88 |
| 3.4 | Ablaufschema des Programmes | 88 |
| 3.5 | Konischer Indenter und synthetische Referenzdaten | 90 |
| 3.5.1 | Konvergenz des Optimierungsproblems bei zutreffender Materialhypothese | 90 |
| 3.5.2 | Identifikation mit nicht zutreffender Materialhypothese für ein bilineares Materialmodell | 94 |
| 3.5.3 | Identifikation mit nicht zutreffender Materialhypothese für das elastisch-ideal plastische Modell | 100 |
| 3.6 | Identifikationsprozess mit Kugelindenter und synthetischen Messkurven | 107 |
| 3.6.1 | Parameterstudie hinsichtlich des Konvergenzverhaltens | 107 |
| 3.6.2 | Kugelindenter und nicht zutreffende Materialhypothese | 121 |
| 3.7 | Vergleich mit anderen Verfahren | 127 |
| 4 | Zugversuche | 129 |
| 4.1 | Versuchsaufbau für Zugversuche | 129 |
| 4.2 | Ablauf des Zugversuchs | 130 |
| 4.3 | Auswerteverfahren | 132 |
| 4.4 | Versuchsergebnisse | 137 |
| 4.5 | Mögliche konstruktive Änderungen | 139 |

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | Parameteridentifikation mit kalibrierter Geometrie | 141 |
| 5.1 | Analyse des Eindringkörpers | 141 |
| 5.2 | Aufbau eines angepassten Modells mit individuellem Prüf- körper | 146 |
| 5.3 | Indentation einer Mikrozugprobe aus Aluminium ohne Be- rücksichtigung viskoser Effekte | 149 |
| 5.4 | Indentation einer Mikrozugprobe aus Aluminium mit Berück- sichtigung viskoser Effekte | 153 |
| 5.5 | Vergleich der Spannungs-Dehnungs-Linien aus Mikrozugver- such und Nanoindentation an Aluminium | 155 |
| 5.6 | Vergleich der Spannungs-Dehnungs-Linien aus Mikrozugver- such und Nanoindentation an Stahl | 157 |
| 5.7 | Bewertung identifizierter Spannungs-Dehnungs-Kurven | 163 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 167 |
| A | 3D-Modell des Indenters | 171 |
| B | Abhängigkeit der Härte und des E-Moduls von der Eindring- tiefe | 175 |
| C | Analytische Lösungen zum Kontaktproblem | 179 |
| C.1 | Elastischer Kontakt zweier Kugeln | 179 |
| C.2 | Elastisch-plastischer Fall | 185 |
| C.3 | Elastisch-plastischer Fall, starrer Indenter: <i>Expanding-cavity-</i> Modell nach HILL | 186 |
| D | Zugversuche an Sn-Loten | 191 |
| D.1 | Problembeschreibung | 191 |
| D.2 | Analysemethode | 195 |
| D.3 | Praktische Umsetzung | 204 |
| D.4 | Identifizierte Materialparameter und Referenzwerte | 206 |
| D.5 | Vergleich der Ergebnisse mit anderen Bewertungsverfahren an- hand derselben Proben | 210 |
| D.6 | Kritische Betrachtung des Vorgehens | 212 |
| | Literaturverzeichnis | 214 |