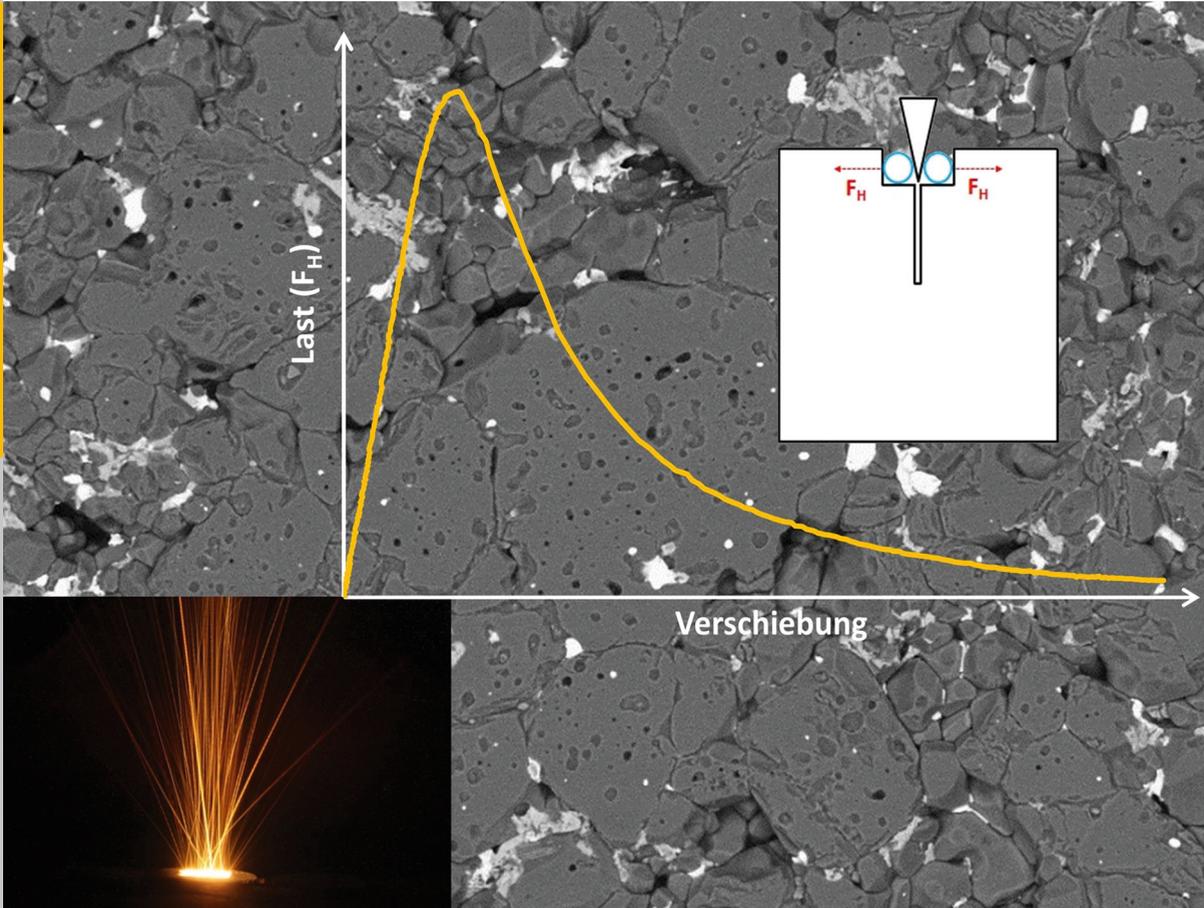


# Thermoschockverhalten und temperaturabhängige Eigenschaften kohlenstoffarmer und -freier Feuerfestwerkstoffe

Anna Böhm



Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 317  
ISBN 978-3-95806-139-2

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
Werkstoffstruktur und -eigenschaften (IEK-2)

# Thermoschockverhalten und temperatur- abhängige Eigenschaften kohlenstoffarmer und -freier Feuerfestwerkstoffe

Anna Böhm

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 317

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-139-2

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1      | Feuerfestwerkstoffe . . . . .   | 5         |
| 2.1.1    | Feuerfest in der Stahlindustrie . . . . .   | 7         |
| 2.1.2    | Untersuchte Feuerfestwerkstoffe . . . . .   | 8         |
| 2.1.2.1  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> Werkstoffe . . . . . | 8         |
| 2.1.2.2  | MgO-C Werkstoffe . . . . .  | 15        |
| 2.1.2.3  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C Werkstoffe . . . . .                                  | 19        |
| 2.2      | Bruchmechanische Konzepte . . . . .   | 21        |
| 2.2.1    | Linear-elastische Bruchmechanik . . . . .   | 21        |
| 2.2.2    | Bruchenergie . . . . .  | 26        |
| 2.2.3    | <i>R</i> -Kurven . . . . .  | 29        |
| 2.2.3.1  | Rissverstärkungsmechanismen . . . . .   | 32        |
| 2.3      | Thermoschock . . . . .  | 34        |
| 2.4      | Kompaktzugversuch . . . . .   | 39        |
| 2.5      | Keilspalttest . . . . .   | 40        |
| 2.6      | Berechnung der <i>R</i> -Kurven . . . . .   | 44        |
| 2.6.1    | Bestimmung der Risslänge . . . . .  | 46        |
| 2.6.1.1  | Berechnung der Risslänge . . . . .  | 47        |
| 2.6.1.2  | Optische Bestimmung der Risslänge . . . . .   | 48        |
| <b>3</b> | <b>Untersuchte Werkstoffe</b>   | <b>51</b> |
| 3.1      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> und AZT Werkstoffe . . . . .                             | 51        |
| 3.2      | Alumina Werkstoffe . . . . .  | 53        |
| 3.3      | MgO-C Werkstoffe . . . . .  | 55        |
| 3.4      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C Werkstoffe . . . . .                                  | 56        |
| <b>4</b> | <b>Experimentelle Methoden</b>  | <b>57</b> |
| 4.1      | Rasterelektronenmikroskopie . . . . .   | 59        |
| 4.2      | Röntgendiffraktometrie . . . . .  | 60        |
| 4.3      | Dilatometrie . . . . .  | 61        |
| 4.4      | Impulsanregungsverfahren . . . . .  | 62        |
| 4.5      | 4-Punkt-Biegeversuch . . . . .  | 68        |
| 4.6      | Kompaktzugversuch . . . . .   | 69        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.7      | Keilspalttest . . . . .   | 70         |
| 4.7.1    | Durchführung des Keilspalttests bei RT . . . . .                    | 71         |
| 4.7.1.1  | Keilspalttest ohne Lasteinleitungsvorrichtung . . . . .             | 72         |
| 4.7.1.2  | Lasteinleitungsvorrichtung 1 . . . . .                              | 74         |
| 4.7.1.3  | Lasteinleitungsvorrichtung 2 . . . . .                              | 75         |
| 4.7.2    | Durchführung des Keilspalttests bei erhöhten Temperaturen . . . . . | 76         |
| 4.8      | Aufheizthermoschock mittels Elektronenstrahl . . . . .              | 77         |
| 4.8.1    | Optimierung der Temperaturbestimmung . . . . .                      | 79         |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse und Diskussion</b>                                    | <b>83</b>  |
| 5.1      | AZT Werkstoffe . . . . .  | 83         |
| 5.1.1    | Mikrostruktur . . . . .   | 83         |
| 5.1.2    | Röntgendiffraktometrie . . . . .                                    | 85         |
| 5.1.3    | Dilatometrie . . . . .  | 88         |
| 5.1.4    | Elastische Eigenschaften . . . . .                                  | 91         |
| 5.1.4.1  | Impulsanregung . . . . .  | 92         |
| 5.1.4.2  | 4 Punkt-Biegeversuche . . . . .                                     | 98         |
| 5.1.5    | Kompaktzugversuch . . . . .   | 100        |
| 5.1.6    | Keilspalttest . . . . .   | 100        |
| 5.1.6.1  | Keilspalttest bei Raumtemperatur . . . . .                          | 100        |
| 5.1.6.2  | Keilspalttest bei erhöhten Temperaturen . . . . .                   | 104        |
| 5.1.7    | Diskussion . . . . .  | 114        |
| 5.2      | Alumina Werkstoffe . . . . .  | 116        |
| 5.2.1    | Kompaktzugversuch . . . . .   | 117        |
| 5.2.2    | Keilspalttest . . . . .   | 118        |
| 5.2.2.1  | Keilspalttest ohne Lasteinleitungsvorrichtung . . . . .             | 119        |
| 5.2.2.2  | Keilspalttest mit Lasteinleitungsvorrichtung 1 . . . . .            | 120        |
| 5.2.2.3  | Keilspalttest mit Lasteinleitungsvorrichtung 2 . . . . .            | 121        |
| 5.2.3    | Diskussion . . . . .  | 122        |
| 5.3      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C Werkstoffe . . . . .              | 124        |
| 5.3.1    | Kompaktzugversuch und Kalibrierung des Reibungseinflusses . . . . . | 125        |
| 5.3.2    | Keilspalttest ohne Lasteinleitungsvorrichtung . . . . .             | 126        |
| 5.3.3    | Keilspalttest mit Lasteinleitungsvorrichtung 2 . . . . .            | 127        |
| 5.3.4    | Diskussion . . . . .  | 128        |
| 5.4      | MgO-C Werkstoffe . . . . .  | 131        |
| 5.4.1    | Aufheizthermoschock JUDITH 1 . . . . .                              | 132        |
| 5.4.2    | Diskussion . . . . .  | 136        |
| <b>6</b> | <b>Schlussfolgerungen</b>   | <b>139</b> |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                 | <b>141</b> |

**Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 317  
ISBN 978-3-95806-139-2**

