

**Einfluss von Temperatur und Beanspruchungs-
rate auf das Festigkeits-, Verformungs- und
Zähigkeitsverhalten des Stahls G42CrMo4
mit unterschiedlicher Einschlusscharakteristik**

Sebastian Henschel

Inhaltsverzeichnis

Symbole und Abkürzungen	VI
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XIV
1 Einleitung	1
2 Kenntnisstand	3
2.1 Duktiles Versagen hochfester Stähle	3
2.1.1 Allgemeines	3
2.1.2 Einfluss nichtmetallischer Einschlüsse	3
2.1.3 Einfluss von Temperatur und Beanspruchungsrate	8
2.2 Risswiderstandsverhalten	12
2.2.1 Beanspruchung der Risssspitze	12
2.2.2 Abstumpfungsverhalten der Risssspitze	14
2.2.3 Einfluss von Temperatur und Beanspruchungsrate	18
2.2.4 Einfluss des Gefüges	21
2.2.5 Experimentelle Bestimmung des Rissinitiierungspunktes	21
2.2.6 Modellierung der Rissinitiierung	23
2.3 Besonderheiten bei dynamischer Beanspruchung	26
2.3.1 Trägheitseffekte	26
2.3.2 Probenbeanspruchung im Pendelschlagwerk	27
2.3.3 Statische und dynamische Kalibrierung	29
2.3.4 Anwendung des Prinzips des Hopkinsonschen Stabes für bruchmechanische Untersuchungen	31
2.3.5 Gültigkeit quasi-statischer Annahmen	32
2.3.6 Optimale Probenbeanspruchung	38
2.3.7 Detektion der dynamischen Rissinitiierung	39
2.4 Zusammenfassung des Kenntnisstandes	40
2.5 Zielstellung der Arbeit	41
3 Untersuchungswerkstoffe	43
3.1 Allgemeines	43
3.2 Herstellung und Wärmebehandlung	43
3.3 Gefüge	45
3.4 Physikalische Eigenschaften von 42CrMo4 und AISI 4340.	49

4	Experimentelle Methoden	50
4.1	Zugversuche	50
4.1.1	Allgemeines	50
4.1.2	Quasi-statische und mittlere Verformungsgeschwindigkeit	53
4.1.3	Dynamische Versuche	55
4.2	Bruchmechanische Versuche	56
4.2.1	Allgemeines	56
4.2.2	Quasi-statische Versuche	58
4.2.3	Dynamische Versuche unter Drei-Punkt-Biegung	59
4.2.4	Dynamische Versuche unter Vier-Punkt-Biegung	65
4.3	Mikrostrukturelle Charakterisierung	74
4.3.1	Lichtmikroskopie	74
4.3.2	Rasterelektronenmikroskopie	75
4.4	Statistische Bewertung	75
5	Ergebnisse und Diskussion	76
5.1	Fließspannungs- und Verformungsverhalten	76
5.1.1	Einfluss der Probengröße	76
5.1.2	Einfluss von Temperatur und Dehnrate	78
5.2	Modellierung des Fließspannungs- und Verformungsverhaltens	86
5.2.1	Beschreibung der Dehnratenentwicklung	86
5.2.2	Beschreibung der Probenerwärmung	89
5.2.3	Beschreibung der Fließspannung	93
5.2.4	Beschreibung der Verformbarkeit	96
5.3	Validierung der Versuchsmethodik	98
5.3.1	Dynamische Drei-Punkt-Biegung	98
5.3.2	Hochdynamische Vier-Punkt-Biegung	114
5.4	Risswiderstandsverhalten	127
5.4.1	Einfluss nichtmetallischer Einschlüsse	127
5.4.2	Einfluss von Temperatur und Beanspruchungsrate	129
5.4.3	Mikroskopische Schädigungsentwicklung	137
5.4.4	Bruchflächenanalyse	138
5.5	Modellierung der Rissinitiierung	145
5.5.1	Herleitung	145
5.5.2	Anwendung des Einschlussabstandes λ	146
5.5.3	Anwendung der Einschlussdichte N_A	147
6	Zusammenfassung und Ausblick	155
	Literaturverzeichnis	159
A	Vergleich der Stahlbezeichnungen	176
B	Gefügeaufnahmen	177
C	Übersicht der Versuchsergebnisse	179

C.1	Festigkeits- und Verformungskennwerte	179
C.2	Fließkurvenmodellierung	179
C.3	Bruchflächen	181
C.3.1	Zugproben	181
C.3.2	Bruchmechanikproben	185
C.4	Statische Kalibrierung der Finneninstrumentierung	187
D	Skripte	188
D.1	Auswertung Winkelsignal am Pendelschlagwerk	188
D.2	Dispersionskorrektur für (Hohl-)Zylinder	190
D.3	Generierung von Partikeln	191
E	Axiale Wellenausbreitung im Hohlzylinder	196
F	Herleitungen	198
F.1	Fehlerabschätzung optische Bildanalyse	198
F.2	Umrechnung Bruchdehnungswerte	199
F.3	Übereinstimmung von t_w und 3τ	199
F.4	Einfluss des Ladedrucks auf die Schlaggeschwindigkeit	200
F.5	Impulslänge und -höhe	201
F.6	Berechnung der Nachgiebigkeit bei Vier-Punkt-Biegung	202