
Inhaltsverzeichnis

	Seite:
Nomenklatur	
1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
2.1 Konzepte der Bruchmechanik	3
2.1.1 Allgemeine Bemerkungen	3
2.1.2 Die linear elastische Bruchmechanik	4
2.1.3 Das J-Integral	6
2.1.4 Die plastische Zone	9
2.2 Werkstoffkundliche Grundlagen karbidreicher Stähle	11
2.2.1 Der Stahl X 210 Cr 12	11
2.2.2 Beschreibung eines zweiphasigen Gefüges	12
2.2.3 Gefügebeschreibung des Stahls X 210 Cr 12	14
3. Stand der Forschung	16
3.1 Experimentelle Arbeiten	16
3.1.1 Spannungs-Dehnungs-Beziehungen	16
3.1.2 Versagen von zweiphasigen Gefügen	17
3.2 Modellierung von Gefügen	21
3.2.1 Spannungs-Dehnungs-Beziehungen	21
3.2.2 Versagen von zweiphasigen Gefügen	22
4. Experimentelle Untersuchungen	25
4.1 Wärmebehandlung des Stahls X 210 Cr 12	25
4.2 Wahl und Wärmebehandlung der Matrix-Modellwerkstoffe	25
4.3 Mechanische Eigenschaften	26
4.3.1 Zugversuch	26
4.3.2 Druckversuch	27
4.4 Bruchmechanische Kennwerte	27
4.4.1 Dreipunktbiegeversuche zur Bestimmung von K_{Ic}	27
4.4.2 Dreipunktbiegeversuche zur Bestimmung von J_{Ic}	28
4.5 Schädigungsmechanismen	30
4.5.1 Begriffsbestimmung	30
4.5.2 Keilversuche	31
4.5.3 Unterbrochene Dreipunktbiegeversuche	31
4.5.4 Biegeversuche im Rasterelektronenmikroskop	32
4.5.5 Biegeversuche zur Beschreibung des Karbidversagens	34
4.5.6 Fraktografie	35
5. Modellbildung	36
5.1 Das makroskopische Modell	36
5.2 Die Schädigungszone	36

5.3	Die Versagensmechanismen der eutektischen Karbide	37
5.3.1	Spaltung	37
5.3.2	Ablösung	39
5.4	Rißausbreitung in der Matrix	41
5.4.1	Blunting	41
5.4.2	Spaltung der Ligamente	42
5.4.3	Duktiler Matrixbruch	43
6.	Das FEM-Programm	47
6.1	Die Finite-Element-Formulierung	47
6.2	Das Werkstoffgesetz	49
6.2.1	Elastische Orthotropie	49
6.2.2	Plastische Orthotropie	50
6.3	Die Lösung des nicht linearen Problems	53
6.4	Bestimmung bruchmechanischer Kennwerte	55
6.4.1	J-Integralvektor	55
6.4.2	J-Integralseparation	56
6.4.3	J-Integral in mehrphasigen Werkstoffen	57
6.4.4	Modifizierte virtuelle Riß-Schließ-Methode	58
6.5	Schädigungsmechanismen	59
6.5.1	Spaltung von Hartphasen	59
6.5.2	Ablösung	60
6.5.3	Duktiler Matrixbruch	61
6.6	Programmaufbau	61
6.7	Übertragungsprogramm Makro-Mikro	64
6.8	Preprocessing	64
6.9	Postprocessing	64
7.	Numerische Untersuchungen	66
7.1	Gültigkeit des FEM-Modells	66
7.2	Vergleich der Berechnungsmethoden bruchmechanischer Kennwerte	66
7.2.1	Rechenstudien zum Vergleich der verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Spannungsintensitätsfaktoren	66
7.2.2	Rechenstudie zur Wegunabhängigkeit von J in mehrphasigen Werkstoffen	68
7.3	Bestimmung der Werkstoffparameter	69
7.3.1	Elastische Konstanten	69
7.3.2	Spannungs-Dehnungskurve	70
7.4	Makroskopische Untersuchungen	71
7.4.1	Simulation der Biegeversuche zur Bestimmung von J_{Ic}	71
7.4.2	Einfluß der Härte	73
7.5	Rechenstudien auf mikroskopischer Ebene	75
7.5.1	Karbid im Zugspannungsfeld	75
7.5.2	Rißspitzenfelder	76
7.5.3	Bruchmechanische Kenngrößen	77
7.5.4	Spaltung eines Karbides	79

7.5.5	Ablösung von der Matrix	80
7.5.6	Wettbewerb der Mechanismen Karbidspaltung und Ablösung	81
7.5.7	Spaltung der Matrix	82
7.5.8	Duktiler Matrixbruch	83
7.6	Simulation der Biegeversuche zur Beschreibung des Karbidversagens	85
7.6.1	Makroskopische Rechnungen	85
7.6.2	Mikroskopische Rechnungen	86
7.7	Makroskopische Simulation der Biegeversuche im Rasterelektronenmikroskop	87
7.8	Kombination von makroskopischem und mikroskopischem Modell am Beispiel einer Dreipunktbiegeprobe	88
8.	Grenzen und Ausblick	91
9.	Zusammenfassung	96
	Tabellen	99
	Abbildungen	107
	Farbtafeln (F1 - F7)	170
	Schrifttum	177