

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	XV
Verzeichnis der Kurzzeichen	XVII
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Kenntnisse	5
2.1 Scherschneiden	5
2.1.1 Einteilung und Begrifflichkeiten beim Scherschneiden	5
2.1.2 Verfahrensablauf des vollkantig-drückenden Scherschneidprozesses	7
2.1.3 Globale und lokale Prozesskräfte beim Scherschneiden	13
2.1.4 Charakteristik schergeschnittener Kanten	16
2.1.5 Einflussgrößen auf die Ausbildung der Schnittkante	17
2.2 Kantenrisse	18
2.2.1 Definition und Entstehung von Kantenrissen	18
2.2.2 Prüfverfahren zur Detektion der Kantenrissempfindlichkeit	21
2.3 Zeitabhängige Auswertemethode	35
2.4 Forschungsbedarf.....	37
3 Ausgangssituation, Zielsetzung und Vorgehensweise	39
3.1 Ausgangssituation und Zielsetzung	39
3.2 Vorgehensweise	41
4 Versuchs- und Messeinrichtungen	43
4.1 Versuchsanlagen	43
4.1.1 Mechanische umformende Werkzeugmaschine	43
4.1.2 Zug-/Druckprüfmaschine	43
4.2 Versuchswerkzeuge	43
4.2.1 Scherschneidwerkzeug zur Anfertigung von <i>Edge-Fracture-Tensile-Test</i> - Proben.....	43
4.2.2 Loch- und Umformwerkzeug zur Abbildung des Kragenzugversuchs	51

4.2.3	Umformwerkzeug mit Marciniak-Stempel	53
4.3	Prüf- und Messeinrichtungen	53
4.3.1	Universalprüfmaschine	53
4.3.2	Digitalmikroskop	54
4.3.3	Auflichtmikroskop	54
4.3.4	3D-Bewegungs- und Verformungssensor	54
4.3.5	Präzisions-Härteprüfgerät	54
4.3.6	Profilmessplatz	55
4.3.7	Funkenemissionsspektrometer	55
5	Versuchswerkstoffe	57
5.1	Blechwerkstoffe	57
5.1.1	Werkstoffbeschreibung	57
5.1.2	Chemische und metallurgische Werkstoffcharakterisierung	60
5.1.3	Mechanische Werkstoffcharakterisierung des Ausgangsgefüges	62
5.2	Werkzeugaktivelementwerkstoff	63
5.2.1	Werkstoffbeschreibung	63
5.2.2	Chemische und metallurgische Werkstoffcharakterisierung	63
5.2.3	Mechanische Werkstoffcharakterisierung	64
5.3	Schmierstoff	64
6	Versuchsplan	65
7	Methodik des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	67
7.1	Konzept zur Kantenrissempfindlichkeitsbestimmung metallischer Werkstoffe....	67
7.1.1	Anforderungskatalog an ein zu konzeptionierendes Kantenrisseprüfverfahren	67
7.1.2	Definition der Prozessrahmenbedingungen	67
7.1.3	Auswahl eines Messkonzepts zur Erfassung der flächigen Dehnungsverteilung	70
7.1.4	Versuchsaufbau des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	72

7.2	Probenvarianten des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	73
7.2.1	Referenzproben	73
7.2.2	<i>Edge-Fracture-Tensile-Test</i> -Proben.....	74
7.3	Scherschneidwerkzeug zur Anfertigung einseitig schergeschnittener <i>Edge-Fracture-Tensile-Test</i> -Proben	76
7.4	Versuchsablauf des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	77
7.5	Versuchsauswertung des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	79
7.5.1	Mechanische Kenngrößen	79
7.5.2	Bestimmung der Werkstoffdeformation.....	79
7.5.3	Kantenrissempfindlichkeitsfaktor K_{ec}	82
7.5.4	Fehlerabschätzung der Ergebnisgrößen.....	85
7.6	Versagensarten uniaxial beanspruchter Zugproben in Abhängigkeit des Werkstoffs und Kantenzustands	86
7.6.1	Werkstoffabhängige Versagensarten uniaxial beanspruchter Referenzproben	86
7.6.2	Versagensarten einseitig schergeschnittener uniaxial beanspruchter <i>Edge-Fracture-Tensile-Test</i> -Proben in Abhängigkeit des Werkstoffs.....	87
7.6.3	Versagensarten einseitig schergeschnittener uniaxial beanspruchter <i>Edge- Fracture-Tensile-Test</i> -Proben in Abhängigkeit des Kantenzustands.....	89
7.7	Kantenrissempfindlichkeitsbestimmung metallischer Werkstoffe bei Auftreten mehrerer Versagensarten	90
7.8	Konzepte zur Validierung des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	91
7.8.1	Kragzugversuch	92
7.8.2	Half-Specimen-Dome-Test	94
7.9	Berücksichtigung der Kantenrissausbildung in der FE-Simulation	96
8	Versuchsbeschreibung und -durchführung.....	99
8.1	Scherschneidversuche.....	99
8.1.1	Prozessparameter beim Scherschneiden.....	99
8.1.2	Bewertung der schergeschnittenen Probenkante	101

8.2	Kantenrissuntersuchungen entsprechend ISO 16630.....	102
8.3	Kantenrissuntersuchungen unter einachsigen Zug.....	102
8.3.1	Durchführung der Kantenrissuntersuchung	102
8.3.2	Auswertung der Messdaten.....	102
8.3.3	Bestimmung von Betrag und Größe der Vorumformung	103
8.4	Nachbildung des Half-Specimen-Dome-Tests in der Finite-Elemente-Simulation und Prognose des Bauteilversagens	104
9	Versuchsergebnisse und Diskussion	107
9.1	Kantenrissempfindlichkeitsbestimmung unter Ermittlung des Lochauflweitungsverhältnisses nach ISO 16630	107
9.2	Abgleich industrierelevanter Fertigungsverfahren für die Referenzprobenanfertigung des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	109
9.3	Einfluss der Prüfbedingungen auf die Kantenrissempfindlichkeit von <i>Edge-Fracture-Tensile-Test</i> -Proben	115
9.3.1	Einfluss der Facettenparameter.....	115
9.3.2	Einfluss der Probenpositionierung.....	118
9.3.3	Einfluss der Probengeometrie.....	122
9.3.4	Einfluss der Umformgeschwindigkeit	124
9.3.5	Randeeinfluss des Kaltwalz- und Besäumprozesses	126
9.3.6	Einfluss der Walzrichtung.....	127
9.3.7	Zusammenfassender Überblick über die Einflüsse der Prüfbedingungen auf die Kantenrissempfindlichkeit	128
9.4	Experimentelle Validierung des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	129
9.4.1	Validierung des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i> unter Anwendung des Kragenzugversuchs.....	129
9.4.2	Validierung des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i> unter Anwendung des Half-Specimen-Dome-Tests	133
9.5	Einfluss der Scherschneidprozessparameter auf die Kantenrissempfindlichkeit. 134	

9.5.1	Einfluss der Art der Schnittlinie.....	135
9.5.2	Einfluss der Niederhalterkraft	140
9.5.3	Einfluss des Schneidspalts.....	141
9.5.4	Einfluss der Schneidkantengeometrie	145
9.5.5	Einfluss der Anschnittgeschwindigkeit des oberen Werkzeugaktiv- elements.....	147
9.5.6	Einfluss eines Stempelingriffswinkels.....	148
9.5.7	Vergleich der Einflüsse der Scherschneidprozessparameter auf die Kantenrissempfindlichkeit metallischer Werkstoffe	149
9.6	Einfluss eines mehrstufigen Schneidprozesses.....	150
9.7	Einfluss eines bilinearen Dehnpfads auf die Kantenrissempfindlichkeit	150
9.8	Bestimmung des Kantenrissempfindlichkeitsfaktors eines Scherschneid- prozesses durch Separierung der Einflussgrößen	150
9.9	Berücksichtigung des Kantenrissempfindlichkeitsfaktors in der Umform- simulation am Beispiel des Half-Specimen-Dome-Tests	154
9.10	Leitfaden zur Bestimmung der Kantenrissempfindlichkeit duktiler metallischer Werkstoffe.....	156
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	159
11	Anhang.....	163
11.1	Vorlage des Prüf- und Ergebnisberichts des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i>	163
11.2	Klassifizierung des kantenrissunempfindlichen Werkstoffs DC06A	166
11.3	Mehrstufige Schneidprozesse zur Reduzierung der Kantenrissempfindlichkeit ..	168
11.4	Einfluss der Vorumformung auf die Kantenrissempfindlichkeit	173
11.5	Erfahrungsbericht über die Kantenrissempfindlichkeit metallischer Werkstoffe	176
11.6	Ableich des simulierten und experimentell erfassten Verfahrenswegs des Umform- stempels unter Verwendung der Kenngrößen des <i>Edge-Fracture-Tensile-Tests</i> ..	177
11.7	Tabellen	179
11.8	Abbildungen	185
A.	Eigene Veröffentlichungen.....	195

B. Studienarbeiten.....	199
C. Abbildungsverzeichnis	201
D. Tabellenverzeichnis	215
E. Literaturverzeichnis	219
F. Normen und Richtlinien	231