

Inhaltsverzeichnis / List of Content

Inhaltsverzeichnis / List of Content.....	I
Abbildungsverzeichnis / List of figures	VI
Tabellenverzeichnis / List of tables	XX
Abkürzungsverzeichnis / List of abbreviations.....	XXII
1 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Problemstellung / Scientific and economic problem statement	1
2 Stand der Wissenschaft und Technik / State of the science and technology.....	4
2.1 Blecherzeugnisse aus Dualphasenstählen / Dual-phase sheet steels	5
2.2 Scherschneiden von Blechwerkstoffen / Cutting of sheet metals	7
2.3 Bestimmung des Formänderungsvermögens schergeschnittener Kanten von Blechwerkstoffen / Determination of cut edge formability of sheet metals.....	8
2.4 Modellierung des Formänderungsvermögens metallischer Werkstoffe / Modelling of formability of metallic materials	10
2.5 Finite-Elemente-Simulation des Scherschneidens / Finite element analysis of cutting.....	15
2.6 Finite-Elemente-Simulation der Materialformänderung auf der Mikroskala / Finite element analysis of material forming on the micro-scale	16
3 Zielsetzung / Objective.....	18
4 Lösungsansätze / Solution approaches	19
4.1 Erweitertes Grenzformänderungsdiagramm / Extended forming limit diagram.....	20
4.2 Schädigungsmodellierung mithilfe des am Scherschneidprozess parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodells / Damage modelling with the help of the Johnson-Cook damage model parameterised on a cutting process.....	21
4.3 Schädigungsmodellierung mithilfe des an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodells / Damage modelling with the help of the Johnson-Cook damage model parameterised on characterisation tests	22
4.4 Schädigungsmodellierung mithilfe des an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Gurson-Tvergaard-Needleman-Schädigungsmodells / Damage modelling with the help of the Gurson-Tvergaard-Needleman damage model parameterised on characterisation tests	24
4.5 Schädigungsmodellierung auf der Mikroskala mithilfe eines repräsentativen Volumenelements / Damage modelling on the microscale with the help of a representative volume element	25
5 Charakterisierung des Fließverhaltens / Characterisation of the flow behaviour ..	26
5.1 Quasistatisches Fließverhalten bei Raumtemperatur / Quasistatic flow behaviour at room temperature	27
5.1.1 Fließbedingung / Yield condition	27

5.1.2	Verfestigungsverhalten / Hardening behaviour	29
5.2	Dehnratenabhängigkeit der Fließspannung / Strain-rate dependence of the yield stress	35
5.3	Temperaturabhängigkeit der Fließspannung / Temperature dependence of the yield stress	36
6	Simulationsgestützte Entwicklung eines Scherversuchs zur Charakterisierung des Versagensverhaltens / Simulation-based development of a shear test for characterisation of the fracture behaviour	38
6.1	Numerische Untersuchung der Formänderung verschiedener Scherproben / Numerical investigation of deformation of different shear specimens	39
6.2	Simulationsgestützte Entwicklung einer neuen Scherprobe / Simulation-based development of a new shear specimen	42
6.3	Technische Versuchsrealisierung / Technical realisation of the test	46
7	Charakterisierung des Versagensverhaltens / Characterisation of the fracture behaviour	48
7.1	Quasistatisches Versagensverhalten bei Raumtemperatur / Quasistatic fracture behaviour at room temperature	49
7.2	Dehnraten- und Temperaturabhängigkeit des Versagensverhaltens / Strain-rate and temperature dependency of the fracture behaviour	56
8	Charakterisierung der Scherschnittkanten / Characterisation of the cut edges	57
8.1	Versuchsaufbau und -ablauf / Test set-up and procedure	58
8.2	Werkstoffschädigung im Schnittkantenbereich / Material damage in the cut edge area	59
8.3	Geometrie der Scherschnittkanten / Geometry of the cut edges	62
8.4	Werkstoffhärte im Schnittkantenbereich / Material hardness in the cut edge area	68
9	Scherschneidsimulation mit LS-Dyna und dem am Scherschneidprozess parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodell / Cutting simulation with LS-Dyna and the Johnson-Cook damage model parameterised on a cutting process	70
9.1	Finite-Elemente-Modell / Finite element model	71
9.1.1	Geometrie und Vernetzung / Geometry and mesh	71
9.1.2	Materialmodellierung / Modelling of material	73
9.1.3	Kontaktdefinition / Definition of contacts	74
9.1.4	Randbedingungen / Boundary conditions	74
9.2	Inverse Bestimmung der Parameter des Johnson-Cook-Schädigungsmodells / Inverse determination of parameters for Johnson-Cook damage model	74
9.3	Ergebnisse und Diskussion / Results and discussion	78
9.3.1	Beschreibung der Zustände während des Schneidvorgangs / Description of conditions during cutting	78
9.3.2	Ansatz zur Reduzierung der Variablenanzahl / Approach to reduction of the parameters number	78

9.3.3 Ergebnisse bei Verwendung von *mat224 „Tabulated-Johnson-Cook“ / Results for *mat224 “Tabulated-Johnson-Cook”	80
9.3.4 Ergebnisse bei Verwendung von *mat015 „Johnson-Cook“ / Results for *mat15 “Johnson-Cook”	83
9.3.5 Bestimmung des Formänderungsvermögens von Scherschnittkanten auf Basis der Schädigungsverteilung / Determination of the cut edge formability based on damage distribution	86
9.3.6 Diskussion / Discussion	88
10 Scherschneidsimulation mit Abaqus/Explicit und dem an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodell / Cutting simulation with Abaqus/Explicit and the Johnson-Cook damage model parameterised on characterisation tests	90
10.1 FE-Modell / FEA model	91
10.2 Voruntersuchungen zur Materialbeanspruchung / Preliminary investigations on material loading	92
10.3 Untersuchungen zum Einfluss der Materialparameter / Investigations on the influence of the material parameters	96
10.4 Untersuchungen zum Einfluss der Simulationsparameter / Investigations on the influence of the simulation parameters	103
10.5 Zusammenfassung	106
11 Charakterisierung des Formänderungsvermögens der Scherschnittkanten / Characterisation of formability of the cut edges	107
11.1 Versuchsaufbau und -ablauf / Experimental setup and procedure	108
11.2 Taktile Bestimmung des Lochaufweitungsverhältnisses / Tactile determination of the hole expansion ratio	110
11.3 Optische Bestimmung der maximalen Hauptdehnung / Optical determination of major elongation	111
11.3.1 Optische Dehnungsmessung / Optical strain measurement	111
11.3.2 Darstellung der Hauptdehnung im Polardiagramm / Visualisation of major elongation in polar diagram	115
11.3.3 Extrapolation der Hauptdehnung auf die Kante / Extrapolation of major elongation on blank edge	116
11.3.4 Bestimmung des elastischen Dehnungsanteiles / Determination of elastic elongation ratio	118
11.3.5 Ausschluss von Fehlmessungen / Elimination of mismeasurement	120
11.3.6 Bestimmung des Risszeitpunktes / Determination of crack time	123
11.4 Ergebnisse und Diskussion / Results and discussion	130
11.4.1 Ergebnisse der taktilen Auswertung / Results of tactile measurement	130
11.4.2 Dehnungsverhältnisse am Probenrand / Elongation conditions on blank edge	131
11.4.3 Polardiagramme / Polar diagrams	135

11.4.4	Ergebnisse der Dehnungsanalyse / Results of elongation analysis.....	141
11.4.5	Diskussion / Discussion.....	142
12	Lochaufweitungssimulation mit LS-Dyna und dem an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Gurson-Tvergaard-Needleman- Schädigungsmodell / Simulation of hole expansion with LS-Dyna and the Gurson- Tvergaard-Needleman damage model parameterised on characterisation tests.....	144
12.1	Bestimmung der GTN-Parameter für das Ausgangsmaterial / Determination of GTN-parameters for material in delivery status	145
12.1.1	Finite-Elemente-Modell / Finite element model.....	145
12.1.2	Übertragbarkeit der Parameter / Transferability of parameters.....	147
12.1.3	Parameteridentifikation / Identification of parameters.....	150
12.1.4	Ergebnisse und Diskussion / Results and discussion.....	151
12.2	Bestimmung der Kantenelemente / Selection of edge elements.....	153
12.3	Bestimmung der Werkstoffschädigung für die Kantenelemente / Determination of damage parameter of edge elements	154
12.3.1	Finite-Elemente-Modell.....	155
12.3.2	Parameteridentifikation / Identification of parameters.....	157
12.4	Alternative Schädigungsmodelle / Alternative failure models	157
12.5	Ergebnisse und Diskussion / Results and discussion	158
13	Simulation des plastischen Fließens auf der Mikroskala / Simulation of the plastic flow on the microscale	163
13.1	Modellaufbau / Model design	164
13.1.1	Geometrie und FE-Netz / Geometry and FE mesh.....	164
13.1.2	Materialverhalten / Material behaviour.....	166
13.1.3	Randbedingungen / Boundary conditions	166
13.1.4	Modellübergabe an den Solver / Model transfer to the solver.....	167
13.2	Untersuchungen zum Einfluss wesentlicher Modellparameter / Investigations on the influence of substantial model parameters.....	167
13.2.1	Elementgröße / Element size.....	168
13.2.2	Größe von Martensitinklusionen / Martensite inclusion size	169
13.2.3	Größenverteilung von Martensitinklusionen / Size distribution of martensite inclusions	170
13.2.4	Martensitvolumenanteil / Martensite volume fracture.....	172
13.3	Erstellung von RVE für HCT600XD und HCT780XD / Design of RVE for HCT600XD and HCT780XD	174
13.3.1	Vorgehensweise / Approach.....	174
13.3.2	Mikrostrukturcharakterisierung / Microstructure characterisation.....	176
13.3.3	Mikrostrukturmodellierung / Microstructure modelling.....	178

13.3.4 Ermittlung des Ferriteigenschaften / Ferrite properties determination	182
13.4 Zusammenfassung / Summary	185
14 Zusammenfassung und Ausblick / Summary and outlook	188
14.1 Erweitertes Grenzformänderungsdiagramm / Extended forming limit diagram	189
14.2 Schädigungsmodellierung mithilfe des am Scherschneidprozess parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodells / Damage modelling with the help of the Johnson-Cook damage model parameterised on a cutting process	191
14.3 Schädigungsmodellierung mithilfe des an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodells / Damage modelling with the help of the Johnson-Cook damage model parameterised on characterisation tests	192
14.4 Schädigungsmodellierung mithilfe des an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Gurson-Tvergaard-Needleman-Schädigungsmodells / Damage modelling with the help of the Gurson-Tvergaard-Needleman damage model parameterised on characterisation tests	194
14.5 Schädigungsmodellierung auf der Mikroskala mithilfe eines repräsentativen Volumenelements / Damage modelling on the micorscale with the help of a representative volume element	195
Literaturverzeichnis / Bibliography	197
Veröffentlichungen des Projekts / Project publications	208
Danksagung an den projektbegleitenden Ausschuss / Acknowledgement	209