

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Erkenntnisse	2
2.1	Hochgeschwindigkeits-Bolzensetzen	2
2.1.1	Einsatz im Karosseriebau	2
2.1.2	Einordnung und Funktionsweise	2
2.1.3	Bewertungskriterien der Bolzensetzverbindung	5
2.1.4	Vorarbeiten und potenzielle Weiterentwicklung	5
2.1.5	Umformtechnische Einordnung des Verfahrens	5
2.2	Mechanische und physikalische Grundlagen	14
2.3	Metallische Werkstoffe	17
2.3.1	Kristalliner Aufbau	17
2.3.2	Grundlagen der Plastizität	17
2.3.3	Fließkurven-Extrapolation	19
2.3.4	Johnson-Cook-Modell	20
2.4	Charakterisierungsmethoden	21
2.4.1	Zugversuch	21
2.4.2	Stauchversuch	22
2.4.3	Split-Hopkinson-Pressure-Bar (Kolsky-Bar)	22
2.5	Elastomere	23
2.6	Tribologie und Reibmodelle	24
2.7	Numerische Simulation	25
2.7.1	Grundlagen	25
2.7.2	Kontinuumsbeschreibung und Elementformulierung	26
2.7.3	Explizite Zeitschrittintegration	26
2.7.4	Implizite Zeitschrittintegration	28
2.7.5	Neuvernetzung und Versagen (Schädigung)	29
2.8	Werkstoffsimulation mit JMatPro	30
3	Aufgabenstellung	31
4	Versuchswerkstoffe, Fügeelemente und Probengeometrien	33
4.1	Versuchswerkstoffe	33
4.1.1	HX340LAD+Z100 (1.0933)	33
4.1.2	EN AW-6060 T66 (AlMgSi 0,5/ 3.3206)	33
4.2	Hilfsfügeelemente	34
4.2.1	Serien-Bolzen	34
4.2.2	Modifizierter Bolzen	35
5	Füge- und Versuchseinrichtungen	37
5.1	RIVTAC®-Anlage	37
5.2	Prüf-, Setz- und Ausdrückwerkzeuge	38
5.3	Universalprüfmaschine (Z1484)	39
5.4	Schnellzerreißmaschine (Instron VHS 25/50)	40
5.5	Warmzugversuche	41

5.6	Split-Hopkinson-Pressure-Bar (Kolsky-Bar)	42
5.7	Stauchversuche am Bolzen	42
5.8	Reibprüfstand MTS-TT	43
6	Aufbau der Simulationsmodelle	45
6.1	Materialmodelle	45
6.2	Reibmodelle	47
6.3	Hochgeschwindigkeits-Reibversuche	49
6.4	Bolzenstauchen zur inversen Parameteridentifikation	50
6.5	Stauen des Elastomerpuffers	51
6.6	Fügeprozess	52
6.6.1	Weggesteuertes Modell (ohne Treiberkolben und Puffer)	52
6.6.2	Energiegesteuertes Modell (mit Treiberkolben und Puffer)	53
6.7	Tragfähigkeit beim Ausdrücken	54
6.8	Zuschnitt des Deckbleches und Springback-Simulation	54
6.9	Vorspannen des Elastomerpuffers	55
7	Experimentelle Ergebnisse	56
7.1	Charakterisierung der Versuchswerkstoffe und Hilfsfügeteile	56
7.1.1	Dehnratenabhängige Blech-Zugversuche	56
7.1.2	Temperaturabhängige Blech-Zugversuche	58
7.1.3	Quasistatische temperierte Bolzen-Stauchversuche	61
7.1.4	Split-Hopkinson-Pressure-Bar-Versuche	62
7.2	Werkstoffsimulation mit JMatPro	64
7.2.1	HX340LAD	65
7.2.2	EN AW-6060 T66	66
7.2.3	C60-Bolzen (vergütet)	68
7.2.4	Vergleich JMatPro mit Experimenten	69
7.3	Dynamische Stauchversuche am Elastomerpuffer	70
7.4	Tribologische Untersuchungen	71
7.4.1	Charakterisierung der Bolzenbeschichtungen	71
7.4.2	Quasistatische und dynamische Reibversuche (MTS-TT)	72
7.4.3	Hochgeschwindigkeits-Reibversuche	75
7.5	Steifigkeitsuntersuchungen	76
7.6	Verbindungscharakterisierung	78
7.6.1	Stufen-Setzversuche	78
7.6.2	Stufen-Ausdruckversuche	80
7.6.3	Rotationssymmetrische Ausdruckversuche	83
7.6.4	Thermomechanische Gefüge-Beeinflussung	84
7.6.5	Prozessrandbedingungen und Bewegungskinetik	85
8	Simulationsergebnisse und Validierung	87
8.1	Fügeprozess	87
8.1.1	Abgleich mit den Stufensetzversuchen	87
8.1.2	Analyse der auftretenden Temperaturen und Dehnraten	88
8.1.3	Spaltbildung zwischen Deck- und Basisblech	90

8.1.4	Analyse des Energieumsatzes beim Fügen.....	90
8.2	Tragfähigkeit	91
8.2.1	Serien-Bolzen (quadratische Blechzuschnitte)	91
8.2.2	Serien-Bolzen (rundenförmige Blechzuschnitte)	94
8.3	Modell-Sensitivität	96
9	Zusammenfassung	99
10	Literaturverzeichnis	101