

I. Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Erkenntnisse.....	3
2.1	Leichtbau in der Kraftfahrzeugkarosserie	3
2.2	Schraubverbindungen in Dünnschichten aus Leichtmetallen.....	5
2.3	Gewindefurchende Schrauben	9
2.3.1	Prozessbeschreibung und Kenngrößen	10
2.3.2	Prozesseinflussgrößen	13
2.3.3	Gewindefurchende Schrauben aus Aluminium.....	14
2.4	Kragenziehen	16
2.5	Fließlochformen.....	17
2.5.1	Anwendungsgebiete	18
2.5.2	Fließlochformer.....	20
2.5.3	Anlagentechnik	23
2.5.4	Werkzeugverschleiß	24
2.5.5	Kenngrößen eines Fließlochdurchzugs	25
2.5.6	Prozesskinematik	28
2.5.7	Prozesseinflussgrößen	31
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	33
4	Versuchswerkstoffe und Hilfsfügeteile.....	37
4.1	Versuchswerkstoffe	37
4.1.1	Blechlegierung AlSi1,2Mg0,4.....	37
4.1.2	Strangpresslegierung AlMg0,7Si	38
4.1.3	Druckgusslegierungen	38
4.1.4	Vergleich der Aluminiumwerkstoffe	40
4.1.5	Dualphasenstahl HC450XD.....	46
4.2	Hilfsfügeteile	47
4.2.1	Gewindefurchende Schrauben	47
4.2.1.1	Gewindefurchende Stahlschrauben.....	49
4.2.1.2	Gewindefurchende Aluminiumschrauben	52
4.2.1.3	Abstimmung des Fließlochinnendurchmessers auf die Schraubengeometrie.....	56
4.2.2	Blindnietmutter.....	57

5	Versuchseinrichtungen und Prüfverfahren	59
5.1	Robotergeführte Fließlochanlage	59
5.1.1	Fließlochformwerkzeuge.....	61
5.1.2	Schmiertrennmittel.....	63
5.1.3	Werkstückgeometrie und Einspannbedingungen	68
5.2	Temperaturmessmethoden	68
5.3	Metallografische Prüfverfahren.....	69
5.3.1	Gefügeätzung	70
5.3.2	Härteprüfung.....	70
5.4	Versuchseinrichtungen und Prüfverfahren zur Ermittlung der Montageeigenschaften	71
5.4.1	Mobile Schraubstation	71
5.4.2	Vorspannkraftmessung.....	72
5.4.3	Überdrehversuch zur Prozessfensterermittlung.....	73
5.5	Versuchseinrichtungen und Prüfverfahren zur Ermittlung der mechanischen Verbindungseigenschaften	74
5.5.1	Prüfung unter quasistatischer Belastung	74
5.5.1.1	Auszugprüfung.....	75
5.5.1.2	Kopfzugprüfung	76
5.5.2	Prüfung unter axialer zyklischer Belastung.....	77
6	Einflüsse auf die Prozessgrößen beim Fließlochformen	79
6.1	Variation von Steuerungsparametern.....	79
6.2	Variation von Werkstoff und Wanddicke.....	84
6.3	Variation der Fließlochformergeometrie	92
6.3.1	Einfluss von Konuswinkel und Nenndurchmesser.....	92
6.3.2	Einfluss der Kontur des aktiven Arbeitsbereichs.....	94
7	Maßnahmen zur Prozesszeitverkürzung.....	97
7.1	Gestufte Prozessführung mit Umschaltpunkten an charakteristischen Prozessgrößenänderungen der Durchzugsausformung.....	97
7.2	Gestufte Prozessführung mit systematischer Variation der Umschaltpunkttiefe während der Durchzugsausformung.....	101
7.3	Optimierung der Prozessführung zur Dichtbundeinformung.....	104
8	Einflüsse auf die Gestalt des Fließlochdurchzugs	107
8.1	Werkstofffließverhalten.....	107
8.2	Innendurchmesser und Rundheit	112
8.3	Geometrie.....	113

9	Thermomechanische Beeinflussung des Grundwerkstoffs	115
9.1	Veränderungen der Gefügestruktur	115
9.2	Veränderungen der Härte	121
10	Tribologischer Verschleiß beim Fließlochformen	125
10.1	Schmiertrennmittleinfluss	127
10.2	Einfluss von Oberflächenmodifikationen am Fließlochformer	131
10.2.1	Oberflächenrauigkeit	132
10.2.2	Oberflächenbeschichtung	134
10.3	Einfluss des zu bearbeitenden Halbzeugwerkstoffs	136
10.4	Auswirkungen von tribologischen Verschleiß	139
11	Zusammenfassende Bewertung der Fließlochbearbeitung von Aluminiumhalbzeugen	143
12	Montageeigenschaften von Direktverschraubungen in Fließlochdurchzügen	147
12.1	Einflüsse auf das Schraubprozessfenster	147
12.1.1	Schraubengeometrie, -werkstoff und Oberflächenbeschichtung	147
12.1.2	Fließlochgeometrie	151
12.1.3	Halbzeug	153
12.1.4	Anschraubteil	155
12.2	Einflüsse auf die Vorspannkraft	156
12.2.1	Schraubengeometrie und -werkstoff	156
12.2.2	Fließlochgeometrie	157
12.2.3	Halbzeug	158
12.2.4	Anziehmoment	159
12.3	Einflüsse auf die Wiederholverschraubbarkeit	160
13	Trag- und Versagensverhalten direktverschraubter Fließlochdurchzüge	163
13.1	Trag- und Versagensverhalten unter quasistatischer Belastung	163
13.1.1	Auszugversuch	163
13.1.1.1	Schraubengeometrie und -werkstoff	163
13.1.1.2	Fließlochgeometrie	165
13.1.1.3	Halbzeug	167
13.1.2	Kopfzugversuch	171
13.1.2.1	Schraubengeometrie und Werkstoff	171
13.1.2.2	Halbzeug	172
13.2	Trag- und Versagensverhalten unter zyklischer axialer Belastung	174

14	Verfahrensvergleich und Bewertung	177
14.1	Gewichtsgegenüberstellung	177
14.2	Montageeigenschaften	179
14.3	Tragfähigkeitseigenschaften.....	181
14.4	Kostenbewertung	183
15	Zusammenfassende Bewertung der Direktverschraubung in Fließlochdurchzüge.....	185
16	Zusammenfassung	187
17	Literaturverzeichnis.....	191