

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Erkenntnisse	3
2.1	Verbindungstechnik für Leicht- und Mischbauweisen im Karosserierohbau	3
2.1.1	Leicht- und Mischbauweise für den Karosserierohbau	3
2.1.2	Verbindungstechnik im Karosserierohbau	4
2.2	Fügeverfahren in der automobilen, hochfesten Mischbauweise	5
2.2.1	Blindnieten	7
2.2.2	Durchschweißtechnik beim Reibbolzenschweißen	8
2.3	Grundlagen des Reibschweißens	10
2.3.1	Einordnung des Reibelementschweißens in die Systematik der Fügeverfahren	14
2.3.2	Verfahrensprinzip des Reibelementschweißens	15
2.3.3	Aktuelle Forschungsergebnisse und Patente zum Reibelementschweißen	17
3	Zielsetzung der Arbeit	19
4	Versuchswerkstoffe, Hilfswerkstoffe und Probengeometrien	21
4.1	Versuchswerkstoffe	21
4.1.1	Deckblechwerkstoffe	21
4.1.2	Basisblechwerkstoffe	22
4.2	Hilfswerkstoffe	23
4.2.1	Reibelement	23
4.2.2	Blindniet	24
4.2.3	Klebstoff Betamate 1620	25
4.3	Probengeometrien	26
4.3.1	3-Punkt-Probe	26
4.3.2	Elementkopfgugprobe	27
4.3.3	Scher- und Kopfgugproben	28
5	Fertigungseinrichtungen und Prüfmethode	29
5.1	Fertigungseinrichtungen	29

5.1.1	Reibschweißanlage RSM 200.....	29
5.1.2	Blindnietsetzgerät Gesipa PowerBird®.....	31
5.2	Prüfmethoden	32
5.2.1	Metallografische Untersuchungen.....	32
5.2.2	Prüfung unter quasistatischer Scher- und Kopfzugbelastung	33
5.2.3	Prüfung unter schlagartiger Scherzugbelastung	34
5.2.4	Prüfung unter schwingender Scherzugbelastung.....	35
5.2.5	Ermittlung der Temperaturentwicklung	36
5.2.6	Alterungs- und Korrosionstests nach KWT-D	37
5.2.7	Ultraschallprüfung	38
6	Optimierungen für das Reibelementschweißen.....	40
6.1	Elementoptimierungen	40
6.1.1	Rohelementoptimierungen.....	40
6.1.2	Elementkopfgeometrie	43
6.1.3	Elementspitzengeometrie	45
6.1.4	Elementschaftlänge	50
6.1.5	Gewählte Elementgeometrie.....	53
6.2	Optimierung prozessrelevanter Randbedingungen.....	54
6.2.1	Gegenhalterwerkstoff.....	54
6.2.2	Verpressung der Fügeiteile.....	58
6.2.3	Reibelementschweißen in Kombination mit Kleben	59
6.3	Bewertung der Optimierungsmaßnahmen	62
7	Verbindungsqualität von Reibelementschweißverbindungen in Abhängigkeit ausgewählter Einflussgrößen	64
7.1	Prozesskräfte, -zeiten und -drehzahl.....	64
7.1.1	Einfluss der Reibdrehzahl auf die Verbindungsqualität.....	66
7.1.2	Einfluss der Reibkraft auf die Verbindungsqualität.....	70
7.1.3	Einfluss der Reibzeit auf die Verbindungsqualität.....	74
7.1.4	Einfluss der Stauchkraft auf die Verbindungsqualität.....	78
7.1.5	Einfluss der Stauchzeit auf die Verbindungsqualität	79

7.2	Prozessfenster	80
7.3	Bewertung des Parametereinflusses auf Reibelement- schweißverbindungen	82
8	Prozessüberwachung beim Reibelementschweißen	83
8.1	Inline-Prozessüberwachung	83
8.2	Zerstörungsfreie Postprozessüberwachungen	86
8.2.1	Konventionelle Ultraschallprüfung	88
8.2.2	Automatisierte Ultraschallprüfung	88
8.3	Bewertung der Prozessüberwachung beim Reibelement- schweißen	93
9	Festigkeit und Versagensverhalten von Reibelement- schweißverbindungen	95
9.1	Verhalten von Reibelementschweißverbindungen unter quasistatischer Belastung	95
9.1.1	Versagensverhalten und Festigkeiten unter quasistatischer Scherzugbelastung	96
9.1.2	Versagensverhalten und Festigkeiten unter quasistatischer Kopfzugbelastung	100
9.1.3	Versagensverhalten und Festigkeiten unter quasistatischer Elementkopfzugbelastung	103
9.1.4	Versagensverhalten und Festigkeiten unter quasistatischer Torsionsbelastung	105
9.2	Einfluss der Fügeteildicken auf die quasistatische Elementkopfzugfestigkeit	106
9.2.1	Blechdickenvariation des Basisblechwerkstoffs	107
9.2.2	Blechdickenvariation des Deckblechwerkstoffs	108
9.3	Verhalten von reibelementgeschweißten und blindgenieteten Mischbauverbindungen im Vergleich	110
9.3.1	Verhalten bei quasistatischer Scher- und Kopfzugbelastung	110
9.3.2	Verhalten bei schlagartiger Scherzugbelastung	113
9.3.3	Verhalten bei schwingender Scherzugbelastung	114
9.4	Bewertung der Festigkeit und des Versagensverhaltens von Reibelementschweißverbindungen	115

10	Alterungs- und Korrosionsuntersuchungen an Reibelement- schweißverbindungen	118
10.1	Verhalten unter Korrosionseinwirkung nach KWT-D-Zyklus	118
10.1.1	Korrosionswirkung an unbehandelten Bauteilen	118
10.1.2	Korrosionswirkung an KTL behandelten Bauteilen	121
10.2	Einfluss der Alterung auf die Festigkeit von Reibelementschweißverbindungen	124
10.3	Einfluss der Elementbeschichtung auf die Festigkeit	126
10.4	Bewertung des Alterungs- und Korrosionsverhaltens	127
11	Zusammenfassung.....	129
12	Literaturverzeichnis	132
13	Abbildungsverzeichnis.....	138
14	Tabellenverzeichnis	141