

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Verwendete Formelzeichen.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Stand der Technik	7
2.1 Verfahren zur beschleunigten Klebstoffaushärtung.....	7
2.1.1 Chemisch-physikalische Aktivierung.....	7
2.1.1.1 Strahlungshärtung.....	7
2.1.1.2 Anaerobe Klebstoffe.....	8
2.1.2 Mechanische Aktivierung der Klebstoffe.....	9
2.1.3 Thermische Aktivierung der Klebstoffe.....	10
2.1.3.1 Erwärmung durch Warmluftanströmung.....	10
2.1.3.2 Erwärmung durch Infrarotstrahlung.....	11
2.1.3.3 Erwärmung durch Mittelfrequenz.....	11
2.1.3.4 Erwärmung durch Hochfrequenz.....	12
2.1.3.5 Erwärmung durch Mikrowellen.....	13
2.1.4 Anforderungen an Verfahren zur beschleunigten Klebstoffaushärtung.....	13
2.1.5 Systematische Bewertung der Verfahren.....	16
2.2 Grundlagen der Induktionserwärmung.....	17
2.3 Abhängigkeit des thermischen Wirkungsgrades von den Prozessparametern.....	24
2.4 Induktionserwärmung in technischen Heizprozessen.....	26
2.5 Induktive Erwärmung von Klebverbindungen im Fahrzeugbau.....	28
2.5.1 Verfahrensvarianten zur induktiven Aushärtung von Reaktionsklebstoffen.....	29
2.5.2 Induktionskonzepte zur Bördelfalzerwärmung.....	31
3. Versuchswerkstoffe	35
3.1 Fügeartikelwerkstoffe.....	35
3.2 Klebstoffe.....	37
4 Fertigungs- und Versuchseinrichtungen	39
4.1 Einrichtungen zur Induktionserwärmung.....	39
4.1.1 Anlagen zur induktiven Erwärmung von Prinzipbauteilen.....	39
4.1.1.1 Einrichtung für Erwärmungsversuche an Zugscherproben.....	39
4.1.1.2 Einrichtung für Erwärmungsversuche an bauteilähnlichen Prüfkörpern.....	40
4.1.2 Anlage zur induktiven Erwärmung von Realbauteilen.....	41
4.1.3 Temperaturerfassung und Auswertung.....	42
4.2 Einrichtung zur Verformungsmessung.....	44
4.2.1 Einrichtung zum Messen der makroskopischen Bauteilverformungen.....	44
4.2.2 Messung mikroskopischer Abzeichnungen.....	45
4.3.1 Dynamische Differenzkalorimetrie.....	46
4.4 Einrichtung zum Torsionsschwingungsversuch.....	47
4.5 Einrichtungen zur mechanisch-technologische Analyse.....	47
4.5.1 Zugscherversuche.....	47
4.5.2 Kopfzug-Scherzug-Versuche.....	48
4.6 Klimaalagerung.....	49
5 Untersuchung des Potentials von 2K-Klebstoffen im Automobilfertigungsprozess.....	51

5.1	Gegenüberstellung des Aushärteverhaltens von 1K- und 2K-Reaktionsklebstoffen	52
5.2	Numerische Simulation des thermomechanischen Bauteilverhaltens	57
	in Abhängigkeit vom eingesetzten Klebstoffsystem	57
5.3	Validierung der Simulationsergebnisse an Realbauteilen unter Serienbedingungen	61
5.4	Entwicklung eines Fertigungsprozesses	64
5.5	Definition von Prozesskenngrößen	67
6.	Mechanisch-technologische Eigenschaften induktiv ausgehärteter 2K-Klebstoffe	71
6.1	Analyse des reaktionskinetischen Verhaltens	71
6.1.1	Reaktionskinetisches Verhalten in Abhängigkeit von der Aufheizrate	72
6.1.2	Restreaktivität in Abhängigkeit von der induktiven Härtedauer	74
6.2	Anfangsfestigkeitsverhalten beschleunigt ausgehärteter Klebungen	76
6.3	Endfestigkeitsverhalten im initiellen und gealterten Zustand	83
6.4	Charakterisierung des zeitlichen Festigkeitsaufbaus	89
6.5	Untersuchung des Warmfestigkeitsverhaltens	93
6.6	Eignung von induktiv beschleunigt ausgehärteten 2K-Klebstoffen	98
7.	Entwicklung eines Induktionskonzepts zur Aushärtung von 2K-Klebstoffen	105
7.1	Anforderungen an Induktionskonzepte	105
7.2	Untersuchung der Eigenschaften bestehender Induktionskonzepte	113
7.2.1	Untersuchung bestehender Induktorgeometrien unter Laborbedingungen	113
7.2.2	Untersuchung ausgewählter Konzepte unter seriennahen Bedingungen	123
7.2.3	Zusammenfassung und systematische Bewertung der Erkenntnisse	126
7.3	Konzeptgenerierung und Ableitung konstruktiver Kriterien	130
7.4	Konzipierung eines Induktionskonzepts zur partiellen Erwärmung	131
7.5	Simulatorische Optimierung der Induktorgeometrie und -positionierung	134
7.6.1	Überprüfung der Erwärmungseigenschaften am Realbauteil	137
7.6.2	Stationärer Betrieb eines Spann- und Induktionsmoduls	142
7.7	Konstruktive Umsetzung des Induktionskonzepts	145
7.8	Qualitätssicherung im Serienprozess	148
8	Verifikation der Erkenntnisse im Serienprozess	151
9	Zusammenfassung und Ausblick	157
10	Anhang	163
10.1	Abbildungsverzeichnis	163
10.2	Tabellenverzeichnis	165
10.3	Formelverzeichnis	166
10.4	Literaturverzeichnis	167
10.5	Eigene Veröffentlichungen und Patente	173