

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen .....</b>	<b>IV</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand der Erkenntnisse.....</b>	<b>3</b>
2.1 Leichtbaustrategien und Karosseriebauweisen in der Automobilindustrie .....	3
2.2 Werkstoffe im modernen Karosseriebau .....	5
2.2.1 Stahlwerkstoffe im Karosseriebau .....	5
2.2.2 Aluminiumwerkstoffe im Karosseriebau .....	8
2.3 Fügen im multimateriellen und profilintensiven Karosseriebau .....	11
2.3.1 Anforderungen an innovative Fügetechnologien.....	11
2.3.2 Mechanische Fügetechnologien mit einseitiger Zugänglichkeit .....	13
2.4 Grundlagen des Bolzensetzens .....	16
2.4.1 Eintreibprinzipien bei Bolzensetzwerkzeugen.....	16
2.4.2 Verfahrensablauf und Vorgänge beim Bolzensetzen .....	18
2.4.3 Fügeignung, Fügesicherheit und Fügemöglichkeit beim Bolzensetzen.....	21
<b>3. Aufgabenstellung und Zielsetzung .....</b>	<b>23</b>
<b>4. Versuchswerkstoffe, Hilfsfügeelemente und Probengeometrien.....</b>	<b>25</b>
4.1 Versuchswerkstoffe.....	25
4.1.1 Stahlwerkstoffe.....	25
4.1.2 Aluminiumwerkstoffe .....	29
4.2 Hilfsfügeelemente .....	31
4.2.1 RIVTAC®-Setzbolzen .....	31
4.2.2 Strukturklebstoff BETAMATE™ 1630 .....	33
4.3 Probengeometrien.....	34
4.3.1 Zugprobe nach DIN 50125 .....	34
4.3.2 Einpunkt-Fügeprobe.....	34
4.3.3 Mehrpunkt-Fügeprobe.....	35

<b>5. Versuchs- und Fertigungseinrichtungen .....</b>	<b>36</b>
5.1 RIVTAC®-Bolzensetzanlage .....	36
5.2 Klebstoff-Appliziereinheit TS-215/HN .....	39
<b>6. Prüfeinrichtungen und -verfahren .....</b>	<b>40</b>
6.1 Werkstoffcharakterisierung mittels Zugversuch nach DIN 50125 .....	40
6.2 Verbindungscharakterisierung mittels Ausdrückprüfung .....	41
6.3 Analyse des Bolzensetzvorgangs mittels bauteilseitiger Reaktionskraftmessung und Hochgeschwindigkeitskamera .....	42
6.4 Verbindungs- und Fügeelementcharakterisierung mittels Härtemessung .....	44
<b>7. Bewertung der werkstoffseitigen Fügeignung von Aluminium-Stahl- Werkstoffkombinationen beim Bolzensetzen .....</b>	<b>45</b>
7.1 Kenngrößen zur Bewertung der werkstoffseitigen Fügeignung .....	45
7.2 Machbarkeitsstudie zur Vorhersage der Bewertungs Kenngrößen anhand der Füge Teileigenschaften .....	49
7.3 Bestimmung der Versuchsrandbedingungen für weiterführende Basismaterialuntersuchungen („Durchdringbarkeit“) .....	56
7.4 Einfluss der Stahl-Basislage auf die Fügeignung .....	58
7.4.1 Einfluss der Basislageneigenschaften auf die geom. Fügstellenausbildung .....	59
7.4.2 Einfluss der Basislageneigenschaften auf den Mindestfügedruck $p_{min}$ .....	61
7.4.3 Einfluss der Basislageneigenschaften auf die Prozessfensterbreite $B_{PF}$ .....	62
7.4.4 Einfluss der Basislageneigenschaften auf die Ausdrückkraft $F_{A(pmin)}$ .....	64
7.4.5 Einfluss der Basislageneigenschaften auf die bauteils. Reaktionskraft $F_{BT1}$ .....	67
7.4.6 Fazit der Stahl-Basislagenuntersuchungen .....	68
7.5 Einfluss der Aluminium-Decklage auf die Fügeignung (lokale Betrachtung) .....	69
7.5.1 Einfluss der Decklageneigenschaften auf die geom. Fügstellenausbildung .....	70
7.5.2 Einfluss der Decklageneigenschaften auf die Bewertungs Kenngrößen .....	71
7.6 Einfluss der Aluminium-Decklage auf die Fügeignung (globale Betrachtung) .....	76
7.6.1 Einfluss der Decklageneigenschaften auf den Mindestfügedruck $p_{min}$ .....	77
7.6.2 Einfluss der Decklageneigenschaften auf die Prozessfensterbreite $B_{PF}$ .....	79

---

7.6.3	Einfluss der Decklageneigenschaften auf die Ausdrückkraft $F_{A(pmin)}$ .....	82
7.6.4	Einfluss der Decklageneigenschaften auf die bauteils. Reaktionskraft $F_{BT1}$ .....	85
7.6.5	Fazit der Aluminium-Decklagenuntersuchung .....	87
7.7	Bestimmung der Fügeignung und Fazit der Fügbarkeitsuntersuchung .....	88
7.8	Einsatzgrenzen beim Erstellen von Aluminium-Stahl-Mischverbindungen.....	91
<b>8.</b>	<b>Erweiterung der Einsatzgrenzen für höchstfeste Stahlwerkstoffe durch partielle Modifikation der Setzbolzeneigenschaften.....</b>	<b>93</b>
8.1	Einfluss der Setzbolzeneigenschaften auf die Setzbolzenverformung .....	97
8.2	Einfluss des Beschichtungsprozesses auf die Setzbolzeneigenschaften.....	102
8.3	Untersuchung alternativer Beschichtungssysteme und -verfahren .....	104
8.3.1	Charakterisierung der eingesetzten Setzbolzen-Beschichtungssysteme .....	106
8.3.2	Bewertung des Wasserstoffversprödungspotentials .....	108
8.3.3	Einfluss der partiellen Setzbolzenhärtung und des Beschichtungssystems auf den Fügeprozess, die Verbindungsausbildung und -festigkeit .....	114
8.3.4	Einfluss des Beschichtungssystems auf den Korrosionsschutz .....	120
8.3.5	Zusammenfassende Bewertung der Beschichtungssysteme .....	123
8.4	Potentiale des entwickelten Setzbolzens .....	124
<b>9.</b>	<b>Erweiterung der Einsatzgrenzen für Werkstoffkombinationen mit eingeschränkter Prozessstabilität.....</b>	<b>127</b>
9.1	Probleme beim Fügen „dünner“ und „weicher“ Basislagen .....	128
9.2	Konstruktiver Ansatz zur Erweiterung des Arbeitsbereichs.....	131
9.3	Anlagenseitiger Ansatz zur Erweiterung des Arbeitsbereichs .....	135
9.3.1	Ansatz zur Parametrierung mit verstellbarem Tiefenmaß $T_{TK}$ .....	142
9.3.2	Weiterführender Ansatz mit modifizierten Puffereigenschaften.....	148
9.3.3	Potentiale durch das verstellbare Tiefenmaß $T_{TK}$ .....	151
<b>10.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>153</b>
<b>11.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>156</b>