

|  |           |
|--|-----------|
| <b>VERWENDETE FORMELZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN.....</b>   | <b>IV</b> |
| <b>1 EINLEITUNG .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 STAND DER ERKENNTNISSE .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2.1 Innovative Leichtbaukonzepte im Automobilbau .....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1.1 Karosseriekonzepte in Monobauweise .....   | 3         |
| 2.1.2 Karosseriekonzepte in Mischbauweise.....   | 4         |
| 2.1.3 Anforderungen an die Fügetechnik im Karosseriebau .....  | 6         |
| <b>2.2 Grundlagen des Bolzensetzens .....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.2.1 Eintreibprinzipien von Bolzensetzwerkzeugen.....   | 9         |
| 2.2.2 Prozesse beim Bolzensetzen .....   | 11        |
| 2.2.3 Einfluss der Setzbolzenbeschichtung .....  | 12        |
| <b>2.3 Grundlagen der Fügeelementbeschichtung .....</b>  | <b>13</b> |
| 2.3.1 Korrosionsmechanismen und -schutz.....   | 14        |
| 2.3.2 Schüttgutbeschichtungsverfahren .....  | 16        |
| 2.3.3 Besonderheiten bei der Beschichtung hochfester Stähle .....  | 17        |
| <b>3 ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE .....</b>  | <b>21</b> |
| <b>4 WERKSTOFFE UND PROBENGOMETRIEN .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.1 Versuchswerkstoffe .....</b>  | <b>23</b> |
| 4.1.1 Aluminiumlegierung AlMg0,5Si0,6Cu (EN AW-6014) .....   | 23        |
| 4.1.2 Mikrolegierter Stahl HC340LA .....   | 24        |
| <b>4.2 Hilfswerkstoffe .....</b>   | <b>25</b> |
| 4.2.1 RIVTAC® - Setzbolzen.....  | 25        |
| 4.2.2 FDS® - Schraube .....  | 27        |
| 4.2.3 Klebstoff BETAMATE 1620 .....  | 27        |
| <b>4.3 Probengeometrien.....</b>   | <b>28</b> |
| 4.3.1 Scher- und Kopfzugproben.....  | 28        |
| 4.3.2 7-Punkt - Langprobe.....   | 29        |
| <b>5 VERSUCHSEINRICHTUNGEN UND PRÜFVERFAHREN.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>5.1 Versuchseinrichtungen .....</b>   | <b>31</b> |
| 5.1.1 Bolzensetzeinrichtung.....   | 31        |
| 5.1.2 Fließlochschaubenanlage.....   | 33        |
| <b>5.2 Prüfverfahren zur Beurteilung der Beschichtungs- und<br/>        Verbindungseigenschaften .....</b> | <b>35</b> |
| 5.2.1 Charakterisierung der Verbindungsausbildung.....   | 35        |
| 5.2.2 Verbindungskennwerte bei quasistatischer Belastung.....  | 37        |
| 5.2.3 Verbindungskennwerte bei schlagartiger Belastung.....  | 39        |
| 5.2.4 Verbindungskennwerte bei schwingender Belastung .....  | 40        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.2.5      | Prüfung unter korrosiver Belastung .....   | 40         |
| <b>6</b>   | <b>CHARAKTERISIERUNG DER<br/>SETZBOLZENBESCHICHTUNGSEIGENSCHAFTEN .....</b>          | <b>43</b>  |
| <b>6.1</b> | <b>Anforderungen an die Setzbolzenbeschichtung .....</b>                             | <b>43</b>  |
| <b>6.2</b> | <b>Charakterisierung der Setzbolzenbeschichtung .....</b>                            | <b>45</b>  |
| 6.2.1      | Aluminium - Zink - Zinn (Mechanische Plattierung).....                               | 45         |
| 6.2.2      | Zink - Nickel (Galvanische Beschichtung) .....                                       | 47         |
| 6.2.3      | Zink (Diffusionsbeschichtung).....   | 50         |
| <b>6.3</b> | <b>Untersuchung der Reibeigenschaften.....</b>                                       | <b>52</b>  |
| 6.3.1      | Eintreibversuch in Aluminiumvollprofil .....   | 52         |
| 6.3.2      | Untersuchung der Abriebbeständigkeit.....  | 54         |
| <b>6.4</b> | <b>Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227.....</b>                               | <b>57</b>  |
| 6.4.1      | Untersuchung von unbelasteten Setzbolzen nach Alterung .....                         | 57         |
| 6.4.2      | Untersuchung von abrasiv belasteten Setzbolzen nach Alterung .....                   | 59         |
| <b>6.5</b> | <b>Entwicklung und Durchführung des Wasserstoffversprödungstest... </b>              | <b>61</b>  |
| 6.5.1      | Versuchsaufbau und Prüfmethodik des Wasserstoffversprödungstests.                    | 61         |
| 6.5.2      | Durchführung und Auswertung des Wasserstoffversprödungstests .....                   | 64         |
| 6.5.3      | Bewertung des Wasserstoffversprödungstests.....                                      | 69         |
| <b>6.6</b> | <b>Zusammenfassende Bewertung der<br/>Setzbolzenbeschichtungseigenschaften .....</b> | <b>70</b>  |
| <b>7</b>   | <b>UNTERSUCHUNG DES FÜGEPROZESSES BEIM BOLZENSETZEN .....</b>                        | <b>72</b>  |
| <b>7.1</b> | <b>Ermittlung der optimalen Fügeparameter .....</b>                                  | <b>72</b>  |
| 7.1.1      | Artreine Stahlkombination HC340LA (2,0 mm) / HC340LA (2,0 mm) .....                  | 74         |
| 7.1.2      | Mischbauverbindung EN AW 6014 (1,5 mm) / HC340LA (2,0 mm).....                       | 75         |
| 7.1.3      | Artreine Aluminiumverbindung EN AW-6014 (1,5 mm) / EN AW-6014<br>(3,0 mm) .....      | 77         |
| <b>7.2</b> | <b>Messtechnische Erfassung der charakteristischen Prozessgrößen ... </b>            | <b>79</b>  |
| 7.2.1      | Versuchsaufbau zur kraftmesstechnischen Erfassung des<br>Fügevorgangs.....           | 79         |
| 7.2.2      | Verifizierung der Treiberkolbenkraft als Prozessüberwachung.....                     | 82         |
| 7.2.3      | Messung der Reaktionskraftverläufe .....   | 84         |
| 7.2.4      | Einfluss der Setzbolzenbeschichtung auf die Deformationstiefe .....                  | 88         |
| <b>7.3</b> | <b>Metallurgische Untersuchung der Verbindungsqualität.....</b>                      | <b>93</b>  |
| 7.3.1      | Optische Bewertung der Verbindungsausbildung.....                                    | 93         |
| 7.3.2      | Beurteilung der Verbindungsausbildung anhand der Querschlifffanalyse                 | 96         |
| <b>7.4</b> | <b>Zusammenfassende Bewertung der Fügeprozessuntersuchungen..</b>                    | <b>101</b> |
| <b>8</b>   | <b>ERGEBNISSE DER TRAGFÄHIGKEITSUNTERSUCHUNGEN .....</b>                             | <b>103</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Versagensarten bei Setzbolzenverbindungen.....</b>                                | <b>103</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>8.2 Quasistatische Tragfähigkeitsuntersuchungen .....</b>   | <b>105</b> |
| 8.2.1 Versagens- und Tragfähigkeitsverhalten unter quasistatischer<br>Kopfzugbelastung .....                                 | 105        |
| 8.2.2 Versagens- und Tragfähigkeitsverhalten elementargefügter<br>Verbindungen unter quasistatischer Scherzugbelastung ..... | 109        |
| 8.2.3 Versagens- und Tragfähigkeitsverhalten hybridgefügter Verbindungen<br>unter quasistatischer Scherzugbelastung .....    | 111        |
| 8.2.4 Verifizierung eines Ausdrücktests .....  | 113        |
| <b>8.3 Untersuchung von Setzbolzenverbindungen unter dynamischer<br/>        Belastung .....</b>                             | <b>114</b> |
| 8.3.1 Verhalten bei schlagartiger Scherzugbelastung .....  | 115        |
| 8.3.2 Verhalten bei schwingender Scherzugbelastung .....   | 117        |
| <b>8.4 Zusammenfassende Bewertung der Tragfähigkeitsuntersuchungen</b>   | <b>119</b> |
| <b>9 ERGEBNISSE DER KORROSIONSUNTERSUCHUNGEN .....</b>   | <b>120</b> |
| <b>9.1 Optische Beurteilung der gealterten Proben .....</b>  | <b>121</b> |
| 9.1.1 Korrosionswirkung an unbehandelten Bauteilen .....   | 121        |
| 9.1.2 Korrosionswirkung an KTL - beschichteten Bauteilen .....   | 123        |
| <b>9.2 Tragfähigkeit der gealterten Proben .....</b>   | <b>125</b> |
| 9.2.1 Tragfähigkeitsvergleich mittels Ausdrücktest .....   | 126        |
| 9.2.2 Tragfähigkeitsvergleich unter Scherzugbelastung .....  | 127        |
| <b>9.3 Zusammenfassende Bewertung der Korrosionsuntersuchungen .....</b>   | <b>128</b> |
| <b>10 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE .....</b>   | <b>130</b> |
| <b>11 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>  | <b>133</b> |
| <b>12 LITERATURVERZEICHNIS .....</b>   | <b>137</b> |