

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| Inhaltsverzeichnis.....                                       | I         |
| Formelzeichen und Abkürzungen .....                           | III       |
| <b>1 Einleitung .....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>2 Stand von Wissenschaft und Technik .....</b>             | <b>3</b>  |
| 2.1 Leichtbau im automobilen Rohbau .....                     | 3         |
| 2.2 Werkstoffe im automobilen Rohbau .....                    | 5         |
| 2.2.1 Stahl .....   | 5         |
| 2.2.2 Aluminium.....  | 6         |
| 2.3 Fügen im automobilen Rohbau .....                         | 7         |
| 2.3.1 Verfahrensübersicht .....                               | 8         |
| 2.3.2 Thermisches Fügen von Stahl mit Aluminium.....          | 9         |
| 2.3.2.1 Problemstellung .....                                 | 9         |
| 2.3.2.2 Lösungsansatz MIG-Fügen .....                         | 13        |
| <b>3 Aufgabenstellung .....</b>                               | <b>24</b> |
| <b>4 Versuchswerkstoffe.....</b>                              | <b>27</b> |
| 4.1 Stahlwerkstoffe .....                                     | 27        |
| 4.1.1 DX51D+Z200 .....  | 27        |
| 4.1.2 HX340LAD+Z100 / Z140 .....                              | 27        |
| 4.1.3 HCT600X+Z140 .....                                      | 28        |
| 4.1.4 HCT980X+Z140 .....                                      | 28        |
| 4.1.5 Chemische Zusammensetzung der Stahlwerkstoffe .....     | 29        |
| 4.2 Aluminiumwerkstoffe .....                                 | 29        |
| 4.2.1 EN AW-5154A // EN AW-AlMg3,5(A) .....                   | 30        |
| 4.2.2 EN AW-5182 // EN AW-AlMg4,5Mn0,4 .....                  | 30        |
| 4.2.3 EN AW-6016 // EN AW-AlSi1,2Mg0,4 .....                  | 31        |
| 4.2.4 EN AW-6060 // EN AW-AlMgSi .....                        | 31        |
| 4.2.5 Chemische Zusammensetzung der Aluminiumwerkstoffe ..... | 31        |
| 4.3 Zusatzwerkstoffe .....                                    | 32        |
| 4.3.1 S Al 4043 // AISi5(A) .....                             | 32        |
| 4.3.2 S Al 4047 // AISi12(A) .....                            | 33        |
| 4.4 Hilfsstoffe .....   | 33        |
| <b>5 Prüfverfahren und Vorrichtungen .....</b>                | <b>34</b> |
| 5.1 Aufbau der Versuchsanlage und Versuchsdurchführung .....  | 34        |
| 5.2 Metallographie .....                                      | 36        |
| 5.2.1 Lichtmikroskopie.....                                   | 36        |
| 5.2.2 Rasterelektronenmikroskopie.....                        | 37        |
| 5.3 Belastungsanalysen und Kennwertermittlung .....           | 38        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.3.1    | Handprobe .....  | 38         |
| 5.3.2    | Quasistatische Prüfungen .....   | 39         |
| 5.3.2.1  | Scherzug-Versuche an zweidimensionalen Proben .....                                      | 40         |
| 5.3.2.2  | Zug-Versuche an dreidimensionalen Prüfkörpern .....                                      | 40         |
| 5.3.2.3  | Bauteilversuch an bauteilähnlichen Fügedemonstratoren .....                              | 43         |
| 5.4      | Korrosionsuntersuchung mittels neutraler Salzsprühnebelprüfung .....                     | 45         |
| <b>6</b> | <b>Technologieentwicklung.....</b>   | <b>46</b>  |
| 6.1      | Analyse und Vergleich verschiedener Prozessregelvarianten des MIG-Fügens .....           | 46         |
| 6.1.1    | Impulslichtbogen .....   | 48         |
| 6.1.2    | Kurzlichtbogen mit reversierender Drahtelektrodenbewegung.....                           | 50         |
| 6.1.3    | Kurzlichtbogen mit reversierender Drahtelektrodenbewegung und Polaritätswechsel .....    | 51         |
| 6.2      | Untersuchung MIG-gefügter Stahl-Aluminium-Verbindungen an einfachen Probekörpern.....    | 52         |
| 6.2.1    | Ermittlung der Fügeprozessparameter .....  | 52         |
| 6.2.2    | Ermittlung der Verbindungseigenschaften .....  | 55         |
| 6.2.2.1  | Einfluss der Prozessregel bzw. Lichtbogenvarianten .....                                 | 56         |
| 6.2.2.2  | Einfluss des Fügespalts .....  | 62         |
| 6.2.2.3  | Einfluss der Zinkauflage.....  | 64         |
| 6.2.2.4  | Einfluss des Zusatzwerkstoffs.....   | 66         |
| 6.2.2.5  | Einfluss des Aluminiumgrundwerkstoffs .....  | 67         |
| 6.2.2.6  | Einfluss des Stahlgrundwerkstoffs .....  | 69         |
| 6.3      | Umsetzung der Mischbauweise in bauteilähnlichen Fügedemonstratoren.....                  | 72         |
| 6.3.1    | Vergleichsuntersuchungen an Fügedemonstratoren auf Basis von Stoffschluss .....          | 73         |
| 6.3.2    | Vergleichsuntersuchungen an Fügedemonstratoren auf Basis von Stoff- und Formschluss..... | 79         |
| 6.4      | Anwendungsorientierte Entwicklung einer prozesssicheren thermischen Füge-technik .....   | 84         |
| 6.4.1    | Konzeptionierung und Entwicklung des Loch- und Fügeprozesses .....                       | 85         |
| 6.4.1.1  | Ermittlung der Wechselwirkungen von Loch- und Fügeprozess .....                          | 85         |
| 6.4.1.2  | Einfluss der Flanken-geometrie des Fügevorlochs .....                                    | 86         |
| 6.4.1.3  | Einfluss der Bewegungs-kinematik des Brenners .....                                      | 88         |
| 6.4.1.4  | Einfluss der Zinkauflage.....  | 91         |
| 6.4.2    | Ermittlung von Prozessfenstern und -sicherheit.....                                      | 93         |
| 6.4.2.1  | Einfluss möglicher Imperfektionen der Zinkauflage.....                                   | 93         |
| 6.4.2.2  | Einfluss des Stahlwerkstoffes .....  | 94         |
| 6.4.2.3  | Einfluss der Blechdicken bzw. ihres Verhältnisses .....                                  | 95         |
| 6.4.2.4  | Einfluss des Fügespalts .....  | 96         |
| 6.4.3    | Ermittlung der Verbindungseigenschaften unter verschiedenen Lasteinleitungsrichtungen .. | 101        |
| 6.4.4    | Ermittlung der Verbindungseigenschaften nach korrosiver Belastung .....                  | 106        |
| 6.4.5    | Hinweise für die Konstruktion und Fertigung von MIG-gefügten St-Al-Verbindungen .....    | 114        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung.....</b>  | <b>116</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis.....</b>   | <b>119</b> |