

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>  | <b>I</b>  |
| <b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis .....</b>   | <b>IV</b> |
| <b>1 Einleitung .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 Infrarotschweißen von Kunststoffen .....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1 Der Infrarotschweißprozess .....   | 5         |
| 2.2 Stand der Technik .....  | 18        |
| 2.3 Stand der Forschung .....  | 21        |
| 2.3.1 Auswirkungen der Infrarotstrahlung auf gefüllte Thermoplaste .....                             | 21        |
| 2.3.2 Auswirkung unterschiedlicher Prozessparameter auf den IR-geschweißten Verbund .....            | 23        |
| 2.3.3 Thermisch oxidativer Materialabbau .....   | 26        |
| <b>3 Zielsetzung und Lösungsweg .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>4 Verwendete Materialien und Probekörperherstellung .....</b>                                     | <b>30</b> |
| 4.1 Beschreibung der Materialien .....   | 30        |
| 4.2 Herstellung der Probekörper im Spritzgießprozess .....   | 32        |
| <b>5 Voruntersuchungen zur Festlegung einer geeigneten Methodik zur Probekörperherstellung .....</b> | <b>33</b> |
| 5.1 Voruntersuchungen zu allgemeinen Fragestellungen .....   | 33        |
| 5.2 Beschreibung der allgemeinen Methodik beim Infrarotschweißen .....                               | 38        |
| <b>6 Infrarotschweißen mit einer sanften und einer intensiven Erwärmstrategie .....</b>              | <b>46</b> |
| 6.1 Definition der Erwärmstrategien und Herstellung der Probekörper .....                            | 46        |
| 6.1.1 Material und Methoden .....  | 46        |
| 6.1.2 Ergebnisse .....   | 47        |
| 6.1.3 Auswertung und Diskussion .....  | 51        |
| 6.2 Quantifizierung der resultierenden Schweißnahtmerkmale .....                                     | 52        |
| 6.2.1 Computertomografie .....   | 53        |
| 6.2.2 Rasterelektronenmikroskopie .....  | 55        |
| 6.2.3 Bestimmung des örtlichen Fasergehaltes .....   | 57        |
| 6.2.4 Dynamische Differenzkalorimetrie .....   | 58        |
| 6.2.5 Zusammenfassung zu den resultierenden Schweißnahtmerkmalen .....                               | 62        |
| 6.3 Auswirkungen der konstanten Erwärmstrategien auf das Erwärmverhalten .....                       | 63        |
| 6.3.1 Thermografie der Fügefläche .....  | 63        |

|   |            |
|---|------------|
| 6.3.2 Mikroskopieuntersuchung der Wärmeeinflusszone .....   | 71         |
| 6.3.3 Zusammenfassung zu den Auswirkungen der Erwärmstrategien auf das Erwärmverhalten .....                | 88         |
| <b>6.4 Untersuchung des Materialabbaus mittels analytischer Methoden .....</b>                              | <b>88</b>  |
| 6.4.1 Viskositätszahlen .....   | 89         |
| 6.4.2 Thermogravimetrische Analyse gekoppelt mit einer Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie ..... | 90         |
| 6.4.3 Zusammenfassung zum Materialabbau .....   | 94         |
| <b>6.5 Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit .....</b>  | <b>94</b>  |
| 6.5.1 Kurzzeitzugversuche .....   | 95         |
| 6.5.2 Schwingfestigkeitsuntersuchungen .....  | 99         |
| 6.5.3 Zusammenfassung zur mechanischen Belastbarkeit .....  | 119        |
| <b>6.6 Gesamtauswertung der sanften und intensiven Erwärmstrategie .....</b>                                | <b>119</b> |
| <b>7 Infrarotschweißen mit einer 2-Phasen und einer blinkenden Erwärmstrategie .....</b>                    | <b>124</b> |
| <b>7.1 Definition der Erwärmstrategien und Herstellung der Probekörper für das PA6-GF50 .....</b>           | <b>124</b> |
| 7.1.1 Material und Methoden .....   | 124        |
| 7.1.2 Ergebnisse .....  | 127        |
| 7.1.3 Auswertung und Diskussion .....   | 128        |
| <b>7.2 Auswirkungen der gestuften Erwärmstrategien auf das Erwärmverhalten vom PA6-GF50 .....</b>           | <b>128</b> |
| 7.2.1 Thermografie der Fügefläche .....   | 128        |
| 7.2.2 Mikroskopieuntersuchung der Wärmeeinflusszone .....   | 131        |
| 7.2.3 Zusammenfassung zu den Auswirkungen der Erwärmstrategien auf das Erwärmverhalten .....                | 136        |
| <b>7.3 Untersuchung des Materialabbaus beim PA6-GF50 mittels analytischer Methoden .....</b>                | <b>137</b> |
| 7.3.1 Viskositätszahlen .....   | 137        |
| 7.3.2 Thermogravimetrische Analyse gekoppelt mit einer Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie ..... | 138        |
| 7.3.3 Zusammenfassung zum Materialabbau .....   | 138        |
| <b>7.4 Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit des PA6-GF50 .....</b>                                     | <b>138</b> |
| 7.4.1 Kurzzeitzugversuche .....   | 138        |
| 7.4.2 Schwingfestigkeitsuntersuchungen .....  | 140        |
| 7.4.3 Zusammenfassung zur mechanischen Belastbarkeit des PA6-GF50 .....                                     | 146        |
| <b>7.5 Gesamtauswertung der unterschiedlichen Erwärmstrategien beim PA6-GF50 .....</b>                      | <b>146</b> |
| <b>7.6 Definition der Erwärmstrategien und Herstellung der Probekörper für das PPA-GF35 .....</b>           | <b>148</b> |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>7.7 Auswirkungen der Erwärmstrategien auf das Erwärmverhalten vom PPA-GF35</b>            | 150 |
| 7.7.1 Thermografie der Fügefläche.....   | 150 |
| 7.7.2 Mikroskopieuntersuchung der Wärmeeinflusszone .....                                    | 152 |
| 7.7.3 Zusammenfassung zu den Auswirkungen der Erwärmstrategien auf das Erwärmverhalten.....  | 158 |
| <b>7.8 Untersuchung des Materialabbaus beim PPA-GF35 mittels analytischer Methoden</b> ..... | 158 |
| 7.8.1 Viskositätszahlen .....  | 158 |
| <b>7.9 Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit des PPA-GF35</b> .....                      | 160 |
| 7.9.1 Kurzzeitzugversuche.....   | 160 |
| 7.9.2 Schwingfestigkeitsuntersuchungen.....  | 163 |
| 7.9.3 Zusammenfassung zur mechanischen Belastbarkeit des PPAs-GF35 .....                     | 170 |
| <b>7.10 Gesamtauswertung der unterschiedlichen Erwärmstrategien beim PPA-GF35</b> 170        |     |
| <b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b> .....  | 173 |
| <b>9 Literaturverzeichnis</b> .....  | 177 |
| 9.1 Zitierte Quellen.....  | 177 |
| 9.2 Zitierte Normen .....  | 182 |
| 9.3 Verwendete studentische Abschlussarbeiten.....   | 183 |
| 9.4 Erklärung zur Zitation von Inhalten aus studentischen Arbeiten .....                     | 184 |
| <b>Anhang</b> .....  | 185 |
| <b>A1 Materialdatenblätter</b> .....   | 186 |
| <b>A2 Ergebnisse der sanften und der intensiven Erwärmstrategie</b> .....                    | 188 |
| A2.1 CT Untersuchungen zur Bestimmung der Faserorientierung .....                            | 188 |
| A2.2 Ergebnisse der DSC Untersuchungen .....   | 190 |
| A2.3 Gewichtsverluste in der thermogravimetrischen Analyse .....                             | 191 |
| A2.4 Ergebnisse der Kurzzeitzugversuche .....  | 192 |
| A2.5 Ergebnisse der Dauerschwinguntersuchungen.....  | 194 |
| <b>A3 Ergebnisse der 2-Phasen und der gestuften Erwärmstrategie</b> .....                    | 196 |
| A3.1 Ergebnisse der Kurzzeitzugversuche .....  | 196 |
| A3.2 Diagramme zu den realen Leistungsverläufen bei den gestuften Erwärmstrategien .....     | 198 |
| A3.3 Ergebnisse der Dauerschwinguntersuchungen.....  | 199 |