

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Problemanalyse.....  | 2         |
| 1.2      | Zielsetzung.....   | 3         |
| 1.3      | Vorgehensweise.....  | 4         |
| <b>2</b> | <b>Stand der Technik</b> .....                                     | <b>5</b>  |
| 2.1      | Aspekte des Presshärtens.....                                      | 5         |
| 2.2      | Belastungsangepasste Bauteileigenschaften .....                    | 8         |
| 2.3      | Verfahrensvarianten des partiellen Presshärtens .....              | 9         |
| 2.3.1    | Partielle Abkühlung.....   | 11        |
| 2.3.2    | Partielle Austenitisierung .....                                   | 14        |
| 2.3.3    | Partielle Nachbehandlung.....                                      | 16        |
| 2.4      | Eingesetzter Grundwerkstoff – Usibor® 1500.....                    | 18        |
| 2.4.1    | AISI-Beschichtung .....  | 20        |
| 2.4.2    | Werkstoffgefüge beim partiellen Presshärten.....                   | 23        |
| 2.4.3    | Dehnratenabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften.....          | 25        |
| 2.5      | Übergangszonen in der FE-Simulation .....                          | 27        |
| 2.6      | Grenzformänderungsdiagramm .....                                   | 28        |
| 2.7      | Experimentelle Bestimmung der Grenzformänderungskurve .....        | 30        |
| 2.7.1    | Genormte Bestimmung von Grenzformänderungskurven .....             | 30        |
| 2.7.2    | Ermittlung von Grenzformänderungen bei dynamischer Belastung ..... | 31        |
| 2.8      | Theoretische Bestimmung der Grenzformänderungskurve .....          | 34        |
| 2.8.1    | Marciniak-Kuczynski-Model .....                                    | 34        |
| 2.8.2    | Modified-Maximum-Force-Criterion-Model.....                        | 35        |
| 2.8.3    | Numerische Methoden.....   | 35        |
| 2.8.4    | Algorithmus CRACH.....   | 36        |
| <b>3</b> | <b>Experimentelle Methoden und eingesetzte Messtechnik</b> .....   | <b>41</b> |
| 3.1      | Wärmebehandlungen .....  | 41        |
| 3.2      | Metallographie und Härteprüfung .....                              | 42        |
| 3.3      | Quasistatische Zugversuche .....                                   | 42        |
| 3.4      | Quasistatische Tiefungsversuche .....                              | 43        |
| 3.5      | Hochgeschwindigkeits-Zugversuche .....                             | 44        |
| 3.6      | Hochgeschwindigkeits-Tiefungsversuche .....                        | 45        |

---

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>4</b>  | <b>Übergangszonen beim partiellen Presshärten .....</b>   | <b>47</b>  |
| 4.1       | Untersuchung der Übergangszonen .....   | 47         |
| 4.1.1     | Ermittlung charakteristischer Abkühlraten .....   | 47         |
| 4.1.2     | Ermittlung charakteristischer Austenitisierungsraten .....  | 53         |
| 4.2       | Herstellung von übergangszonencharakteristischen Proben.....  | 57         |
| 4.2.1     | Probenherstellung mit charakteristischen Abkühlraten .....  | 57         |
| 4.2.2     | Probenherstellung mit charakteristischen<br>Austenitisierungsraten .....                                | 67         |
| <b>5</b>  | <b>Charakterisierung der Übergangszonen .....</b>   | <b>79</b>  |
| 5.1       | Quasistatische Zugbelastung.....  | 81         |
| 5.1.1     | Partielle Abkühlung .....   | 81         |
| 5.1.2     | Partielle Austenitisierung .....  | 85         |
| 5.1.3     | Gegenüberstellung der Ergebnisse quasistatischer<br>Zugversuche .....                                   | 89         |
| 5.2       | Dynamische Zugbelastung .....   | 93         |
| 5.2.1     | Partielle Abkühlung .....   | 94         |
| 5.2.2     | Partielle Austenitisierung .....  | 97         |
| 5.2.3     | Gegenüberstellung der Ergebnisse dynamischer Zugversuche ...  | 101        |
| 5.3       | FE-Simulation unter Berücksichtigung der Übergangszone .....  | 106        |
| 5.4       | Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse.....   | 108        |
| <b>6</b>  | <b>Theoretische Bestimmung von Grenzformänderungskurven mit CRACH ..</b>                                | <b>117</b> |
| 6.1       | Grenzformänderungskurven bei quasistatischer Belastung .....  | 117        |
| 6.1.1     | Partielle Abkühlung .....   | 117        |
| 6.1.2     | Partielle Austenitisierung .....  | 122        |
| 6.2       | Grenzformänderungskurven bei dynamischer Belastung .....  | 126        |
| 6.2.1     | Partielle Abkühlung .....   | 126        |
| 6.2.2     | Partielle Austenitisierung .....  | 130        |
| 6.3       | Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse.....   | 134        |
| <b>7</b>  | <b>Experimentelle Bestimmung der Grenzformänderungskurve von<br/>pressgehärtetem Usibor® 1500 .....</b> | <b>137</b> |
| 7.1       | Grenzformänderungskurve bei dynamischer Belastung.....  | 137        |
| 7.2       | Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit .....  | 138        |
| 7.3       | Validierung der theoretisch bestimmten Grenzformänderungskurven .....                                   | 140        |
| <b>8</b>  | <b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>  | <b>145</b> |
| <b>9</b>  | <b>Abkürzungen und Symbole .....</b>  | <b>149</b> |
| <b>10</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>  | <b>154</b> |