

| | |
|---|-----------|
| Danksagung..... | i |
| Abkürzungsverzeichnis..... | vii |
| Formelzeichen | ix |
| Kurzfassung | xiii |
| Abstract | xv |
| | |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Stand der Kenntnisse | 3 |
| 2.1 Relevante Grundlagen der Blechumformung | 3 |
| 2.1.1 Metallkundliche Grundlagen | 3 |
| 2.1.2 Mechanische Kennwerte von metallischen Werkstoffen..... | 7 |
| 2.1.3 Fließkurve | 10 |
| 2.2 Verfahren und Werkzeuge des Tiefziehens | 13 |
| 2.2.1 Tiefziehen – Definition und Prozesseigenschaften..... | 13 |
| 2.2.2 Kräfte beim Tiefziehen | 15 |
| 2.2.2.1 Krafteinleitung in das Ziehteil / Berechnung der maximalen Stempelkraft bzw. der Bodenreißkraft..... | 18 |
| 2.2.3 Spannungs- und Dehnungsverhältnisse in unterschiedlichen Bauteilbereichen des Ziehteils | 19 |
| 2.2.4 Versagensarten und Formänderungsvermögen des Blechwerkstoffes | 21 |
| 2.3 Prozessgrenzenerweiterung des Tiefziehens | 22 |
| 2.3.1 Mechanische Verfahren | 23 |
| 2.3.2 Thermische Verfahren | 37 |
| 2.4 Mechanische und thermische Verfahren zur Verfestigung von Platinenoberflächen... | 43 |
| 2.4.1 Mechanische Verfahren | 43 |
| 2.4.2 Das Prägen in Abgrenzung zu konventionellen Oberflächenbehandlungsverfahren | 46 |
| 2.5 Fazit aus dem Stand der Kenntnisse | 59 |
| | |
| 3 Motivation und Zielsetzung..... | 60 |
| 3.1 Motivation der Arbeit | 60 |
| 3.2 Zielsetzung der Arbeit | 61 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4 | Werkstoff, Versuchsanlagen, Prozessführung und Methoden | 63 |
| 4.1 | Charakterisierung des Versuchswerkstoffes DP600 | 63 |
| 4.2 | Versuchsanlagen und Prozessführung | 65 |
| 4.2.1 | Elektrohydraulischer Stanzautomat TRUMATIC 5000R | 65 |
| 4.2.2 | Elektrohydraulische Servopresse und Tiefziehwerkzeug | 66 |
| 4.2.3 | Prägeprozess und Prozessführung | 67 |
| 4.3 | Optische Formänderungsanalyse | 69 |
| 5 | Untersuchung der Oberflächenintegrität mechanisch geprägter Strukturen in Blechplatinen | 70 |
| 5.1 | Auswahl geeigneter Prägegeometrien zur lokalen Festigkeitssteigerung von Blechplatinen anhand numerischer Analysen | 70 |
| 5.2 | Analyse der Oberflächenbeschaffenheit der Platine | 73 |
| 5.3 | Ermittlung der lokalen Verfestigungsmechanismen anhand Gefügeanalytik | 76 |
| 5.4 | Analyse der Härtesteigerungen im Blechquerschnitt der Versuchsproben mittels Mikrohärtemessungen | 78 |
| 6 | Mechanische Kennwerte und Fließverhalten geprägter Platinen | 82 |
| 6.1 | Einfluss unterschiedlicher Prägemuster und Prägetiefen auf mechanische Blechkennwerte | 82 |
| 6.1.1 | Analyse der Verfestigungseffekte in geprägten Blechplatinen | 93 |
| 6.2 | Ermittlung der Grenzformänderungskurven geprägter Platinen | 95 |
| 6.3 | Analyse der Blechausdünnung geprägter Nakajima-Proben | 102 |
| 6.4 | Zusammenfassende Bewertung | 104 |
| 7 | Erweiterung der Prozessgrenzen durch Prägen der Platinen | 106 |
| 7.1 | Numerisch basierte Analyse von Potentialen zur Prozessgrenzenerweiterung | 106 |
| 7.1.1 | Materialmodellierung und Implementierung in die Simulationsumgebung ... | 106 |
| 7.1.2 | Werkzeugmodellierung und Prozessführung innerhalb der FE-Simulation ... | 109 |
| 7.1.3 | Numerischer Abgleich mit experimentellen Daten und Nachweis der Qualifikation der Simulationsmethodik | 110 |
| 7.1.4 | Analyse der Blechausdünnung in kritischen Bauteilbereichen und Ermittlung der Prozessgrenzen am Referenzbauteil | 112 |
| 7.1.5 | Numerische Grundlagenuntersuchungen am Referenzbauteil | 114 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.2 | Experimentelle Untersuchungen zur Prozessgrenzenerweiterung..... | 121 |
| 7.2.1 | Durchführung von Tiefziehversuchen zu der Erweiterung des Arbeitsbereichs | 121 |
| 7.2.2 | Betrachtung der Formänderungsverteilung in ausgewählten Bauteilbereichen | 126 |
| 8 | Übertrag der Erkenntnisse auf ein repräsentatives Blechbauteil..... | 131 |
| 8.1 | FEM-basierte Analyse der kritischen Bauteilbereiche | 131 |
| 8.1.1 | Bewertung der Blechausdünnung | 132 |
| 8.1.2 | Bewertung der lokalen und globalen Formänderungen | 133 |
| 8.1.3 | Übertrag der Prägemuster auf die Geometrie des Zielbauteils | 134 |
| 8.2 | Herstellung von geprägten Blechbauteilen im industrienahen Betrieb | 135 |
| 8.2.1 | Erhöhung der Ziehtiefe durch Tailored Embossed Blanks | 135 |
| 9 | Erhöhung der Leistungsfähigkeit geprägter Blechbauteile | 139 |
| 9.1 | Bauteilherstellung und Prüfmethode | 140 |
| 9.2 | Erhöhung der Energieaufnahmefähigkeit geprägter Blechbauteile | 143 |
| 9.3 | Aufzeigen des Leichtbaupotentials geprägter Blechbauteile..... | 147 |
| 10 | Zusammenfassung und Ausblick | 151 |
| 10.1 | Zusammenfassung | 151 |
| 10.2 | Ausblick..... | 153 |
| 11 | Anhang | 155 |
| 11.1 | Analyse der Blechausdünnung geprägter Nakajima-Proben | 155 |
| 11.2 | Ermittlung der Flächenintegrale unter den Kraft-Weg-Verläufen zur Analyse der spez. Energieaufnahmefähigkeit..... | 157 |
| 12 | Literaturverzeichnis..... | 159 |
| | Curriculum Vitae | 165 |