

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Kurzfassung und Abstract | iv |
| Abkürzungen und Formelzeichen | xi |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Stand der Technik | 6 |
| 2.1 Umformtechnik | 6 |
| 2.1.1 Tiefziehen | 8 |
| 2.1.2 Tribologische Aspekte beim Tiefziehen | 9 |
| 2.2 Oberflächentechnik im Bereich der Umformwerkzeuge . . | 11 |
| 2.2.1 Oberflächenmodifikation | 11 |
| 2.2.2 Oberflächenbeschichtung | 13 |
| 2.3 Konturnahe thermisch gespritzte Verschleißschutzschichten | 23 |
| 2.3.1 Verschleißschutzschichten | 23 |
| 2.3.2 Thermisch gespritzte Dünnschichten | 26 |
| 2.3.3 Störgrößen - Einflussfaktoren | 28 |
| 2.3.4 Prozesstechnologische Grenzen | 35 |
| 2.3.5 Steuergrößen und Strategien | 43 |
| 2.4 Zusammenfassung des Standes der Technik | 46 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Zielsetzung und Vorgehensweise | 49 |
| 3.1 | Zielsetzung | 49 |
| 3.2 | Vorgehensweise | 50 |
| 4 | Experimentelle Untersuchungen | 56 |
| 4.1 | Mess- und Analysetechniken | 57 |
| 4.1.1 | On- und offline Partikeldiagnostik | 57 |
| 4.1.2 | Temperaturmessungen | 58 |
| 4.1.3 | Mikroskopie | 59 |
| 4.1.4 | Härtemessung | 60 |
| 4.1.5 | Topographieuntersuchungen | 60 |
| 4.1.6 | Phasen- und Elementanalyse | 62 |
| 4.1.7 | Eigenspannungsanalyse | 65 |
| 4.1.8 | Verschleißuntersuchungen | 67 |
| 4.1.9 | Einsatztests | 68 |
| 4.2 | Beschichtungsversuche | 69 |
| 4.2.1 | Spritzzusatzwerkstoff | 69 |
| 4.2.2 | Substrate | 71 |
| 4.2.3 | Hochgeschwindigkeitsflammspritzsystem | 73 |
| 4.2.4 | Robotik und Bahnplanung | 76 |
| 5 | Handhabungsparameter | 79 |
| 5.1 | Variation der Handhabungsparameter | 80 |
| 5.1.1 | Variation des Spritzabstands | 81 |
| 5.1.2 | Variation des Mäanderbahnabstands | 88 |
| 5.1.3 | Variation der Überfahrgeschwindigkeit | 95 |
| 5.1.4 | Fazit der Handhabungsparametervariation | 99 |
| 5.2 | Abscheidung dünner Schichten | 101 |
| 5.2.1 | Variation der Prozesskühlung | 101 |
| 5.2.2 | Variation der Überlaufanzahl | 104 |
| 5.2.3 | Zusammenfassung | 109 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3 | Verschleißbeständigkeit dünner Schichten | 110 |
| 5.3.1 | Pin on Disk - Verschleißuntersuchungen | 111 |
| 5.3.2 | Zusammenfassung der Verschleißanalysen | 123 |
| 5.4 | Fazit | 126 |
| 6 | Bauteilgeometrie | 130 |
| 6.1 | Untersuchung von 180° Außenradien | 132 |
| 6.2 | Untersuchung von 90° Außenradien | 137 |
| 6.3 | Untersuchung von 90° Innenradien | 141 |
| 6.4 | Analyse der Ergebnisse | 145 |
| 6.4.1 | Footprintanalyse | 147 |
| 6.4.2 | Splatanalyse | 162 |
| 7 | Roboterdynamik | 173 |
| 7.1 | Ist-Zustand | 175 |
| 7.2 | Bauteilort und -orientierung | 178 |
| 7.3 | Bahnanpassungen | 181 |
| 7.3.1 | Vorzeitiges Umorientieren des Brenners | 182 |
| 7.3.2 | Umrechnungsfaktoren | 184 |
| 7.4 | Beschichtung von Wendestellen | 188 |
| 7.4.1 | Bauteil Wendestelle 30° | 189 |
| 7.4.2 | Bauteil Wendestelle 90° | 192 |
| 7.5 | Fazit | 196 |
| 8 | Konturgenaue Bauteilbeschichtungen | 199 |
| 8.1 | B-Säule | 200 |
| 8.1.1 | Verfahrenstrategie | 200 |
| 8.1.2 | Beschichtungsergebnis | 203 |
| 8.2 | Tiefziehring | 205 |
| 8.2.1 | Verfahrenstrategie | 205 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 8.2.2 | Beschichtungsergebnis | 208 |
| 8.3 | Fazit der Bauteilbeschichtungen | 210 |
| 9 | Einsatzverhalten im Tiefziehprozess | 213 |
| 9.1 | Umformversuche | 214 |
| 9.2 | Verschleiß der Ziehringoberflächen | 217 |
| 9.2.1 | Werkzeug aus Kaltarbeitsstahl | 217 |
| 9.2.2 | Beschichtetes Werkzeug | 221 |
| 9.2.3 | Beschichtetes und gewalztes Werkzeug | 222 |
| 9.2.4 | Beschichtetes und geschliffenes Werkzeug | 224 |
| 9.2.5 | Analyse der Verschleißerscheinungen | 226 |
| 9.3 | Fazit der Einsatztests | 232 |
| 10 | Zusammenfassung und Fazit | 236 |
| | Anhang | 246 |