

| | | |
|-------|---|----|
| 0 | Einleitung | 1 |
| 1 | Erkenntnisstand | 3 |
| 1.1 | Entstehung von Oberflächenrissen | 3 |
| 1.2 | Stand der Technik bei der Vermeidung von Oberflächenrissen | 7 |
| 2 | Aufgabenstellung | 9 |
| 2.1 | Untersuchte Werkstoffgruppe | 10 |
| 3 | Vorstellung der Untersuchungsmethodik | 13 |
| 4 | Ermittlung der Parametergrenzen aus dem Modellversuch Stauchen | 16 |
| 4.1 | Warmfließkurvenaufnahme | 16 |
| 4.2 | Zulässiges Parameterfeld Stauchen | 17 |
| 4.3 | FEM-Simulation zum Stauchen | 18 |
| 5. | SchmiedepLANanpassung zur Vermeidung von Oberflächenrissen | 20 |
| 5.1 | Ergebnisse der FEM-Simulation Recken | 20 |
| 5.2 | Ergebnisse der Laborschmiedungen | 22 |
| 5.3 | Übertragbarkeit der Untersuchungsmethode auf andere Umformfälle | 23 |
| 5.4 | Konsequenzen | 24 |
| 6 | Werkzeuganpassung zur Vermeidung von Oberflächenrissen | 26 |
| 6.1 | Allgemeine Klassifizierung Schmiedesättel | 26 |
| 6.2 | Trichtersättel | 27 |
| 6.2.1 | Bisherige Anwendung | 27 |
| 6.2.2 | Grundgedanke zur Modifikation | 28 |
| 6.2.3 | Randbedingungen beim Einsatz von Trichtersättel | 30 |
| 7 | FEM-Simulation mit zwei Werkzeugen | 33 |
| 7.1 | Variation des Kantenradius Flachsattel | 33 |
| 7.2 | Prinzipieller Vergleich Trichtersattel-Flachsattel | 34 |
| 7.3 | Variation des Manipulatorvorschubes bei Trichtersätteln | 38 |
| 7.4 | Variation des Öffnungswinkels bei Trichtersätteln | 39 |

| | | |
|--------|---|----|
| 8 | Ergebnisse der Versuchsschmiedungen mit zwei Werkzeugen | 42 |
| 8.1 | Vergleich Trichtersattel-Flachsattel | 42 |
| 8.1.1 | Oberflächenrisse | 43 |
| 8.1.2 | Kraftbedarf | 44 |
| 8.1.3 | Gefüge | 46 |
| 8.1.4 | Streckungs-Breitungsverhalten | 47 |
| 8.2 | Konsequenzen | 48 |
| 9. | FEM-Simulation mit vier Werkzeugen (allgemein) | 50 |
| 9.1 | Prinzip einer Radialumformmaschine | 50 |
| 9.2 | Prinzipieller Vergleich Trichtersattel-Flachsattel | 51 |
| 9.2.1 | Oberflächenrisse | 52 |
| 9.2.2 | Kerndurchschmiedung | 56 |
| 10 | Ergebnisse der Versuchsschmiedungen mit vier Werkzeugen | 58 |
| 10.1 | Prinzipieller Vergleich Flachsattel-Trichtersattel anhand der translatorischen Strategie | 59 |
| 10.1.1 | Oberflächenrisse | 59 |
| 10.1.2 | Kraftbedarf | 60 |
| 10.1.3 | Kerndurchschmiedung | 61 |
| 10.2 | Vergleich der rotatorischen und translatorischen Strategie | 62 |
| 10.2.1 | Oberflächenrisse | 62 |
| 10.2.2 | Kraftbedarf | 63 |
| 10.2.3 | Kerndurchschmiedung | 64 |
| 10.3 | Variation von Kantenradius und Öffnungswinkel | 64 |
| 10.3.1 | Oberflächenrisse | 65 |
| 10.3.2 | Kraftbedarf | 65 |
| 10.3.3 | Kerndurchschmiedung | 66 |
| 10.4 | Kombinierte Strategie | 67 |
| 10.5 | Konsequenzen | 67 |
| 11 | Zusammenfassung | 69 |
| 12 | Literaturverzeichnis | 73 |
| 13 | Verwendete Formelzeichen | 78 |
| 14 | Bildanhang | 81 |

| | | |
|--------|---|----|
| 8 | Ergebnisse der Versuchsschmiedungen mit zwei Werkzeugen | 42 |
| 8.1 | Vergleich Trichtersattel-Flachsattel | 42 |
| 8.1.1 | Oberflächenrisse | 43 |
| 8.1.2 | Kraftbedarf | 44 |
| 8.1.3 | Gefüge | 46 |
| 8.1.4 | Streckungs-Breitungsverhalten | 47 |
| 8.2 | Konsequenzen | 48 |
| 9. | FEM-Simulation mit vier Werkzeugen (allgemein) | 50 |
| 9.1 | Prinzip einer Radialumformmaschine | 50 |
| 9.2 | Prinzipieller Vergleich Trichtersattel-Flachsattel | 51 |
| 9.2.1 | Oberflächenrisse | 52 |
| 9.2.2 | Kerndurchschmiedung | 56 |
| 10 | Ergebnisse der Versuchsschmiedungen mit vier Werkzeugen | 58 |
| 10.1 | Prinzipieller Vergleich Flachsattel-Trichtersattel anhand der translatorischen Strategie | 59 |
| 10.1.1 | Oberflächenrisse | 59 |
| 10.1.2 | Kraftbedarf | 60 |
| 10.1.3 | Kerndurchschmiedung | 61 |
| 10.2 | Vergleich der rotatorischen und translatorischen Strategie | 62 |
| 10.2.1 | Oberflächenrisse | 62 |
| 10.2.2 | Kraftbedarf | 63 |
| 10.2.3 | Kerndurchschmiedung | 64 |
| 10.3 | Variation von Kantenradius und Öffnungswinkel | 64 |
| 10.3.1 | Oberflächenrisse | 65 |
| 10.3.2 | Kraftbedarf | 65 |
| 10.3.3 | Kerndurchschmiedung | 66 |
| 10.4 | Kombinierte Strategie | 67 |
| 10.5 | Konsequenzen | 67 |
| 11 | Zusammenfassung | 69 |
| 12 | Literaturverzeichnis | 73 |
| 13 | Verwendete Formelzeichen | 78 |
| 14 | Bildanhang | 81 |