

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Zusammenfassung | 9 |
| Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | 12 |
| Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen | 15 |
| 1 Einleitung | 17 |
| 2 Stand der Technik | 18 |
| 2.1 Das tribologische System in Tiefziehprozessen | 18 |
| 2.2 Veränderung des tribologischen Systems beim Ziehsickendurchlauf | 19 |
| 2.3 Verschleiß im Tiefziehprozess mit Ziehsicken | 20 |
| 2.4 Numerische Modellierung der Reibzahl bei Tiefziehprozessen | 20 |
| 2.5 Bewertung zum Stand der Technik | 22 |
| 3 Zielsetzung und methodische Vorgehensweise | 23 |
| 4 Festlegung der Versuchswerkstoffe und Zielgrößen | 25 |
| 4.1 Verwendete Werkstoffe | 25 |
| 4.1.1 Aluminiumlegierung AA6014 | 25 |
| 4.1.2 Tiefziehstahl DC04 | 25 |
| 4.1.3 Höchstfester Stahl DP800 | 26 |
| 4.2 Streifenzugversuch mit Ziehsicke | 26 |
| 4.3 Charakterisierung der Härte nach dem Ziehsickendurchlauf | 27 |
| 4.4 Charakterisierung der Oberflächentopographie nach dem Ziehsickendurchlauf | 28 |
| 4.5 Materialmodellierung zum Einsatz in der FEM | 29 |
| 4.6 Aufbau der Simulationsmodelle zur numerischen Analyse | 31 |
| 4.6.1 Streifenzugversuch mit Ziehsickendurchlauf | 31 |
| 4.6.2 Tiefziehwerkzeug mit Ziehsicken und Digitalisierung der Bauteile | 32 |
| 5 Analyse des Einflusses der Ziehsicke auf die Oberflächentopografie | 34 |
| 5.1 Analyse der Oberflächentopografie nach dem Ziehsickendurchlauf | 34 |
| 5.2 Analyse und Bewertung der Mikro- und Oberflächenhärte nach dem Ziehsickendurchlauf | 37 |
| 5.3 Analyse der Wechselwirkungen zwischen der Verfestigung und Oberflächentopografie | 38 |
| 6 Untersuchung der Tribologie und Ableitung eines Funktionalzusammenhangs | 40 |
| 6.1 Einfluss des Schmierstoffs und Restölanalyse nach dem Ziehsickendurchlauf | 40 |
| 6.2 Reibzahlanalyse an Streifen nach dem Ziehsickendurchlauf | 42 |
| 6.3 Ersatzmodellierung der Reibzahl in Simulationsumgebung | 46 |
| 6.4 Übersicht und Bewertung der Erkenntnisse im Modellversuch Streifenzug mit Ziehsicke | 51 |
| 7 Übertragung und Validierung der Erkenntnisse im Tiefziehprozess mit Ziehsicke | 53 |

| | | |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1 | Aufbau des Tiefziehprozesses mit Ziehsicken..... | 53 |
| 7.2 | Validierung anhand einer Streifengeometrie..... | 54 |
| 7.3 | Validierung am geschlossenen Ovalnapf..... | 57 |
| 7.4 | Punktuelle Untersuchung der Temperaturentwicklung bei Tiefziehprozessen..... | 59 |
| 8 | Anwenderleitfaden..... | 61 |
| 8.1 | Simulation eines Umformprozesses mit Ziehsicke unter Beachtung der tribologischen Auswertung..... | 61 |
| 8.2 | Experimentelle Aufbauten zur Analyse der tribologischen Bedingungen beim Ziehsickendurchlauf..... | 62 |
| 9 | Offene Fragen und Forschungsbedarf..... | 64 |
| 9.1 | Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Ergebnisse für KMU..... | 65 |
| 10 | Literaturverzeichnis..... | 67 |