

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 Temperaturrentwicklung 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