

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Technik	3
2.1 Verbundbauteile	3
2.1.1 Herstellungsverfahren	4
2.1.2 Einsatzgebiete und Evaluation	6
2.2 Walzplattieren	7
2.2.1 Einsatzgebiete	7
2.2.2 Flachwalzen	8
2.2.3 Klassische Mechanismen der Verbundbildung und -trennung	9
2.2.4 Erweiterte Mechanismen der Verbundbildung und -trennung	10
2.2.5 Einflussfaktoren des Walzplattierens	12
2.2.6 Gegenüberstellung des Kalt- und Warmwalzplattierens	15
2.3 Aluminiumlegierungen	16
2.3.1 Nomenklatur	16
2.3.2 Eigenschaften	17
2.4 Charakterisierung der Verbundfestigkeit	18
2.4.1 Walzplattierversuche	18
2.4.2 Schäl-Versuch	19
2.4.3 Scher-Zugversuche	20
2.4.4 Zugversuch	22
2.4.5 Biegeversuch	22
2.4.6 Kegelstumpf-Versuche	23
2.4.7 Mikrostrukturanalyse	24
2.4.8 Fazit	25
2.5 Modellierung der Verbundfestigkeit	26
2.5.1 Lokale Modelle	26
2.5.2 Globale Modelle des Kaltwalzplattierens	33
2.5.3 Globale Modelle des Warmwalzplattierens	39
2.6 Simulation der Verbundfestigkeit	43
2.7 Wissenschaftliche Fragestellung	48
3. Experimentelle Methoden und Werkstoffe	50
3.1 Verwendete Werkstoffkombinationen	50
3.2 Verwendete Anlagen	51
3.2.1 Servohydraulische Testmaschine	51
3.2.2 Torsionsplastometer	52
3.2.3 Optisches Mikroskop	53
3.2.4 Bühler Universalwalzwerk	53
3.3 Probenfertigung	54
3.3.1 Kegelstumpf- und Stauchversuche	54
3.3.2 Warmwalzplattierversuche	55
3.3.3 EDX Analyse	56
3.4 Probenvorbereitung	57
3.4.1 Anrauen der Kontaktfläche	57
3.4.2 Anschweißen des Thermoelements und Einbau der Proben	58
3.5 Versuchsdurchführung	58

3.5.1 Stauchversuche	58
3.5.2 Kegelstumpf-Versuche	58
3.5.3 Warmwalzplattierversuche	60
3.5.4 EDX Analyse	60
3.6 Versuchsauswertung	61
3.6.1 Stauchversuche	61
3.6.2 Kegelstumpf-Versuche	61
3.6.3 Bestimmung der geometrischen Oberflächenvergrößerung	64
3.6.4 EDX Analyse	65
3.7 Erweiterung der experimentellen Methoden	66
3.7.1 Änderung der Temperatur	66
3.7.2 Änderung der Umformgeschwindigkeit	67
3.7.3 Pausenzeiten	67
3.7.4 Mehrfache Deformation	68
3.8 Zusammenfassung und Fazit	69
 4. Charakterisierung der Verbundfestigkeit	70
4.1 Nomenklatur	70
4.2 Ermittlung der Fließspannung	71
4.3 Grundlagen der Ermittlung der Verbundfestigkeit	73
4.3.1 Interpretation der Messschreibe	73
4.3.2 Messung der geometrischen Oberflächenvergrößerung	74
4.3.3 Reproduzierbarkeit	76
4.4 Einfluss der Verbundbildung auf die Verbundfestigkeit	78
4.4.1 Druck	78
4.4.2 Scherung	79
4.4.3 Umformgeschwindigkeit	81
4.4.4 Temperatur	82
4.4.5 Kombinierte Spannungszustände	84
4.5 Einfluss der Verbundtrennung auf die Verbundfestigkeit	86
4.5.1 Steuerung der Stempelbewegung	86
4.5.2 Scherung	87
4.5.3 Kombinierte Spannungszustände	89
4.5.4 Temperatur	94
4.5.5 Umformgeschwindigkeit	96
4.6 Erweiterungen der Verbundphasen	98
4.6.1 Pausenzeiten zwischen der Verbundbildung und Verbundtrennung	98
4.6.2 Mehrfache Deformation	107
4.7 Zusammenfassung und Fazit	110
 5. Entwicklung eines Verbundmodells	112
5.1 Modellierungskonzept	112
5.2 Modellierung der Fließspannung	113
5.3 Verbundmodellierung	115
5.3.1 Verbund-Normalfestigkeit	115
5.3.2 Verbund-Scherfestigkeit	118
5.3.3 Verbundfestigkeit bei Scherung während der Verbundbildung	119
5.3.4 Verbundfestigkeit unter kombinierten Spannungszuständen	121
5.3.5 Verbundfestigkeit bei Änderungen der Umformgeschwindigkeit und der Temperatur	123
5.3.6 Verbundfestigkeit bei Pausenzeiten	126
5.3.7 Verbundfestigkeit bei mehrfacher Deformation	128
5.4 Zusammenfassung und Fazit	130

6. Validierung des Verbundmodells	133
6.1 Integration des Verbundmodells in ein FE Framework	133
6.2 Kegelstumpf-Versuche	135
6.2.1 FE Modell für Kegelstumpf-Versuche.....	135
6.2.2 Validierung der geometrischen Oberflächenvergrößerung	136
6.2.3 Validierung der Fließkurvenmodellierung	138
6.2.4 Validierung der Fließspannungsabhängigkeit	139
6.2.5 Validierung der Verbundfestigkeit bei Pausenzeiten.....	142
6.2.6 Validierung der Verbundfestigkeit bei mehrfacher Deformation.....	143
6.3 Walzplattieren im Labormaßstab	144
6.3.1 Wahl der Prozessparameter.....	144
6.3.2 FE Modell für das Walzplattieren im Labormaßstab	145
6.3.3 Ergebnisvergleich	146
6.4 Zusammenfassung und Fazit.....	148
7. Zusammenfassung	149
8. Literaturverzeichnis.....	153
9. Anhang	I
9.1 Verwendete Formelzeichen ab Kapitel 3	I
9.2 Kurzfassung	IV
9.3 Abstract	VI
9.4 Lebenslauf.....	VIII