

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 Warmwalzplattversuche	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 Messschriebe	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