

Inhaltsverzeichnis

Formel- und Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Fließpressen	3
2.1.1 Voll-Vorwärts-Fließpressen	5
2.1.2 Napf-Rückwärts-Fließpressen	9
2.1.3 Eigenschaften fließgepresster Bauteile	12
2.2 Umformtechnisches Fügen	14
2.2.1 Experimentelle Untersuchungen zum Verbundfließpressen	14
2.2.2 Analytische und numerische Untersuchungen zum	
Verbundfließpressen	22
2.2.3 Theorien der Bindungsbildung	24
2.3 Fazit zum Stand der Technik	29
3 Zielsetzung	31
4 Verbundwellen - Theorie und Herstellung	33
4.1 Theoretische Betrachtung von Verbundwellen	33
4.1.1 Ersetzen einer Vollwelle aus Stahl durch eine Stahl-	
Aluminium-Verbundwelle bei gleicher Torsionssteifigkeit	35
4.1.2 Ersetzen einer Vollwelle aus Stahl durch eine Stahl-	
Aluminium-Verbundwelle bei gleichem Außendurchmesser	36
4.1.3 Ersetzen einer Vollwelle aus Stahl durch eine Stahl-	
Aluminium-Verbundwelle – Zusammenfassung	37
4.1.4 Fazit der theoretischen Betrachtung von Verbundwellen	39
4.2 Herstellung und Auswahl des hybriden Halbzeugs zum	
Fließpressen von Verbundwellen	39
4.2.1 Fließpressen von Rohren mit eingelegtem Kern	40
4.2.2 Fließpressen von gebohrten Näpfen mit eingelegtem Kern	42
4.2.3 Fließpressen von fließgepressten Näpfen mit eingelegtem	
Kern	43
4.2.4 Auswahl eines hybriden Halbzeugs zur weiteren	
Untersuchung	44
4.3 Fließgepresste Verbundwellen aus fließgepressten Halbzeugen .	45

4.3.1	Maschine	45
4.3.2	Vorbereitung der Halbzeuge	47
4.3.3	Herstellung der hybriden Halbzeuge	50
4.3.4	Voll-Vorwärts-Fließpressen der hybriden Halbzeuge zu Verbundwellen	53
5	Kraftschluss in fließgepressten Verbundwellen	61
5.1	Analytische Abschätzung der Festigkeit kraftschlüssiger Verbindungen in Verbundwellen	61
5.1.1	Analytisches Ersatzmodell	61
5.1.2	Qualitative Diskussion der analytischen Beschreibung	65
5.1.3	Überprüfung der Bedingung für einen Kraftschluss in Verbundwellen	67
5.2	Untersuchung der Verbundfestigkeit mittels Push-Out-Test	68
5.2.1	Aufbau des Push-Out-Tests	68
5.2.2	Ergebnisse der Push-Out-Tests	71
5.2.3	Validierung der analytischen Beschreibung	74
5.3	Verbundfestigkeiten im Torsionstest	79
5.3.1	Aufbau und Durchführung des Torsionstests	79
5.3.2	Ergebnisse des Torsionstests	81
5.4	Eigenspannungen	84
5.4.1	Ermittlung der Eigenspannungen	84
5.4.2	Ergebnisse der Eigenspannungsmessungen	85
5.5	Fazit zum Kraftschluss in fließgepressten Verbundwellen	88
6	Stoffschluss in fließgepressten Verbundwellen	91
6.1	Aufbau und Validierung des Simulationsmodells	91
6.2	Numerische Untersuchungen zum Stoffschluss	94
6.2.1	Einfluss des Umformgrads auf den Kontaktdruck und die Oberflächenvergrößerung	95
6.2.2	Einfluss der Napfwanddicke auf den Kontaktdruck und die Oberflächenvergrößerung	98
6.2.3	Einfluss des Schulteröffnungswinkels auf den Kontaktdruck und die Oberflächenvergrößerung	99
6.2.4	Einfluss von Gegendruck beim Fließpressen auf den Kontaktdruck und die Oberflächenvergrößerung	101
6.2.5	Einflussnahme auf den Kontaktdruck und die Oberflächenvergrößerung - Zusammenfassung	103

6.3	Fazit	104
7	Formschluss in fließgepressten Verbundwellen	105
7.1	Formschluss auf makroskopischer Ebene	105
7.1.1	Formschluss in Umfangsrichtung	105
7.1.2	Formschluss in Axialrichtung	107
7.1.3	Formschluss in Umfangs- und axialer Richtung	108
7.2	Formschluss auf mikroskopischer Ebene	108
7.2.1	Oberflächenstrukturierung	109
7.2.2	Verbundfestigkeiten im Push-Out-Test mit Oberflächenstrukturierung der Näpfe für die hybriden Halbzeuge	114
7.3	Fazit	119
8	Alternative Kernwerkstoffe für das hybride Halbzeug	121
8.1	Stranggepresste Späne als Kernwerkstoff	121
8.2	Stahl-Magnesium-Verbundwellen	123
8.2.1	Theoretische Betrachtung	123
8.2.2	Herstellung von Stahl-Magnesium-Verbundwellen	124
8.2.3	Fazit	125
8.3	Herstellung von Stahl-Kunststoff-Verbundwellen	126
8.4	Herstellung von Hohlwellen durch verlorenen Kern	127
8.5	Fazit	128
9	Zusammenfassung und Ausblick	129
9.1	Zusammenfassung	129
9.2	Ausblick	131
	Literaturverzeichnis	133
	Index	145