

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen – Stand der Technik	3
2.1	Reibdrücken	3
2.1.1	Einordnung des Reibdrückens - Inkrementelle Umformverfahren	5
2.1.2	Prozessvarianten /-parameter	6
2.1.3	Werkzeuge	11
2.1.4	Beeinflussungsmöglichkeiten von Materialeigenschaften	14
2.2	Grundlagen zur Beeinflussung der Eigenschaften von metallischen Werkstoffen ..	17
2.2.1	Verfestigungsmechanismen	17
2.2.2	Entfestigungsmechanismen	19
2.2.3	Thermische Verfahren	21
2.2.4	Mechanische Verfahren	25
2.2.5	Thermomechanische Verfahren	26
2.3	Tribologische Grundlagen	27
2.3.1	Reibung	28
2.3.2	Verschleiß	33
2.4	Herstellung von hybriden Bauteilen	36
3	Wissenschaftliche Zielsetzung	39
4	Versuchseinrichtung und -durchführung	41
4.1	Reibdruckmaschine	41
4.1.1	Steuerungssystem, Sensorik und Messwerverfassung	42
4.1.2	Werkzeuge und Werkzeugsysteme	43
4.1.3	Kühlsystem	45
4.2	Verfahrensvarianten und -prinzipien	45
4.2.1	Flanschumformung	45
4.2.2	Verschließen von Rohrenden	47
4.3	Werkstückwerkstoffe	48

4.4	Prüf- und Messvorrichtungen.....	49
4.4.1	Temperaturerfassung.....	49
4.4.2	Messung der Oberflächenqualität.....	50
4.4.3	Mechanische Kennwertermittlung	51
4.4.4	Reibkoeffizientermittlung	52
4.4.5	Gefügeanalysen	53
5	Temperaturführung beim Reibdrücken.....	55
5.1	Wärmeeintrag durch Reibung	56
5.1.1	Gleitreibungskraft F_{Reib}	57
5.1.2	Reibungsweg s	59
5.2	Wärmeübertragung.....	60
5.2.1	Konduktion.....	60
5.2.2	Konvektion.....	61
5.2.3	Wärmestrahlung	62
5.3	Steuergrößen am Beispiel der Flanschherstellung	63
5.3.1	Vorschub f	65
5.3.2	Drehzahl n	67
5.3.3	Werkzeug und Werkzeugsystem.....	68
5.4	Prozessführung.....	73
5.5	Zusammenfassende Betrachtung.....	76
6	Gestaltung von Werkzeugen für das Reibdrücken.....	77
6.1	Werkzeuganforderungen.....	77
6.2	Werkzeugfunktionen.....	78
6.2.1	Umformen	79
6.2.2	Abstützen und Gegenhalten.....	80
6.2.3	Erwärmen	80
6.2.4	Kühlen	81
6.2.5	Weitere Funktionen (Schweißen, Drehen, Walzen).....	82
6.3	Werkzeugparameter und -gestaltung	82

6.3.1	Werkzeuggeometrie sowie -ausrichtung	83
6.3.2	Werkzeugwerkstoff	85
6.3.3	Werkzeugdrehgeschwindigkeit ω_{WZ}	86
6.4	Kombinationsmöglichkeiten von Werkzeugfunktionen	87
6.5	Werkzeugarten und -kategorien	88
6.6	Werkzeugverschleiß	89
6.6.1	Abrasiver Werkzeugverschleiß	90
6.6.2	Adhäsiver Werkzeugverschleiß	91
6.6.3	Strategien zur Reduzierung des Verschleißes	92
6.7	Zusammenfassende Betrachtung	93
7	Formgebung und mechanische Eigenschaften	95
7.1	Umformbare Werkstoffe	95
7.2	Formgebung	96
7.2.1	Formgebungssystematik	96
7.2.2	Einstellung von definierten Wanddickenverläufen	98
7.2.3	Prozessgrenzen	102
7.2.4	Strategien zur Steigerung der erreichbaren Formgenauigkeiten	103
7.2.5	Herstellung von lokal definierten Wanddickenverläufen /-verteilungen	105
7.3	Oberflächen	111
7.3.1	Ausbildung von Oberflächeneigenschaften beim Reibdrücken	111
7.3.2	Oberflächenfehler	116
7.4	Einstellung der mechanischen Werkstoffeigenschaften	117
7.4.1	Härteeinstellung und -verteilung	118
7.4.2	Gefügeeinstellung und -ausrichtung	124
7.4.3	Zugfestigkeit R_m und Bruchdehnung A_1	131
7.5	Zusammenfassende Betrachtung	135
8	Energieeffiziente Herstellung von hybriden Bauteilen	139
8.1	Formschluss - Fügen durch Umformen	141
8.2	Stoffschluss - Fügen durch Schweißen	143

8.2.1	Verschweißung durch Oberflächenvergrößerung - Prinzip des Kaltpressschweißens	144
8.2.2	Integration von Reibschweißvorgängen.....	150
8.3	Geometrieoptimierung zur Herstellung von kraftschlüssigen und formschlüssigen Fügstellen.....	151
8.4	Energetische Betrachtung des Reibdrückens	152
8.5	Zusammenfassende Betrachtung.....	154
9	Zusammenfassung.....	157
	Literaturverzeichnis	161
	Anhang	171
	Abbildungsverzeichnis	175