

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	VIII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Umformende Herstellung verzahnter Getriebeteile	3
2.1.1 Industrielle Anwendung umformender Herstellverfahren verzahnter Getriebeteile	3
2.1.2 Entwicklung umformender Herstellverfahren verzahnter Getriebeteile	5
2.2 Hartnachbearbeitung von Verzahnungen	10
2.3 Schlußfolgerungen aus dem Stand der Technik	15
3 Zielsetzung und Aufgabenstellung	17
4 Pilotversuche	19
4.1 Formstauchen	19
4.2 Voll-Vorwärtsfließpressen	20
4.3 Querfließpressen mit feststehendem Gegenstempel	22
4.4 Schlußfolgerung aus den Pilotversuchen	23
5 Werkzeugkonzeption und Auslegung	25
5.1 Anforderungen an das Querfließpreßwerkzeug	25
5.2 Auslegung der Verzahnungsvorformen	27
5.3 Herstellung der Kalibriermatrizen	30
6 Experimentelle Untersuchungen zum Querfließpressen	33
6.1 Versuchsplanung und Versuchseinrichtungen	33
6.1.1 Versuchsprogramm zum Fließpressen der Verzahnungsvorformen	33
6.1.2 Umformmaschine	34
6.1.3 Werkzeugaufbau und Meßtechnik	34
6.2 Kaltfließpressen der Verzahnungsvorformen	37
6.2.1 Werkstückwerkstoffe	37
6.2.2 Schmiersystem	39
6.2.3 Kraft-Weg-Verlauf	41
6.2.4 Ausstoßkräfte	45
6.2.5 Mittlere Matrizenbelastung	45
6.3 Halbwarmfließpressen der Verzahnungsvorformen	46

6.3.1	Werkzeugaufbau	46
6.3.2	Werkstückwerkstoff	47
6.3.3	Temperaturbereich	49
6.3.4	Schmiersystem	50
6.3.5	Kraft-Weg-Verlauf und Werkzeugbelastungen	50
6.3.6	Ausstoßerkräfte	53
6.3.7	Beurteilung der Untersuchungen zur Formgebung der Verzahnungsvorformen	56
7	Experimentelle Untersuchungen zum Kalibrieren	57
7.1	Versuchsplanung und Versuchseinrichtung	57
7.1.1	Versuchsprogramm	57
7.1.2	Umformmaschine	59
7.1.3	Werkzeugaufbau und Meßtechnik	60
7.1.4	Schmiersystem	62
7.2	Versuchsergebnisse	63
7.2.1	Kraft-Weg-Verlauf	63
7.2.2	Mittlere Werkzeugbelastungen	64
7.2.3	Werkstoffbewegungen	67
8	Theoretische Untersuchungen	70
8.1	Ermittlung der Umformkräfte	70
8.1.1	Umformkraft für das Querfließpressen	70
8.1.2	Umformkraft für das Kalibrieren	82
8.1.2.1	Querschnittsfläche der Verzahnungskontur	82
8.1.2.2	Arbeitsansatz für das Kalibrieren	87
9	Prozeßkette Umformen-Spanen	90
10	Verzahnungsgenauigkeit	94
10.1	Übersicht über die gemessenen Verzahnungsabweichungen	94
10.1.1	Teilungsabweichungen	96
10.1.2	Flankenabweichungen	96
10.2	Matrizenherstellgenauigkeit	98
10.3	Korrektur der radialen Matrizenaufweitung	100
10.4	Einfluß der Kalibrierlänge auf die Verzahnungsabweichungen	103
10.5	Einfluß des Differenzwinkels δ auf die Werkstückqualität	105
10.6	Härteverzüge	111

10.7	Werkzeugkorrektur	113
10.7.1	Korrektur der radialen Matrizenaufweitung mit der FEM	114
10.7.2	Erzielte Verzahnungsgenauigkeiten	116
11	Hartnachbearbeitung	118
12	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	124
13	Zusammenfassung und Ausblick	127
14	Anhang	129
15	Literaturverzeichnis	135