

Formelzeichen		4
0	EINLEITUNG	11
1	STAND DER TECHNIK	13
1.1	Walzen	13
1.1.1	Längswalzen	13
1.1.2	Querwalzen	13
1.2	Schmieden	15
1.2.1	Pulverschmieden	16
1.3	Fließpressen	17
1.3.1	Vorwärtsfließpressen	17
1.3.2	Querfließpressen	19
1.4	Zusammenfassung	19
2	ZIELSETZUNG UND AUFGABENSTELLUNG	20
3	PILOTVERSUCHE ZUR FORMGEBUNG VON GERAD- UND SCHRÄGVERZÄHNUNGEN	21
3.1	Formstauchen	21
3.1.1	Ringstauchen	21
3.1.2	Zylinderstauchen	26
3.2	Fließpressen	27
3.2.1	Napfpressen	27
3.2.2	Hohlrückwärtsfließpressen	28
3.3	Napfformstauchen	29
3.3.1	Zeitliche Folge der Verfahrensanteile	29
3.3.1.1	Napfpressen und Formstauchen	29
3.3.1.2	Formstauchen und Napfpressen	32
3.4	Zusammenfassung	33
4	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN CHARAKTERISTISCHER VERFAHRENSMERKMALE	33
4.1	Versuchsplanung und Versuchseinrichtungen	33
4.1.1	Versuchsprogramm	33
4.1.2	Umformmaschine	34

4.1.3	Werkzeugaufbau	34
4.1.4	Meßtechnik	36
4.1.5	Versuchswerkstoffe	40
4.1.6	Schmiersysteme	41
4.1.7	Werkstückabmessungen	44
4.2	Versuchsergebnisse	45
4.2.1	Kraft–Weg–Verlauf	45
4.2.1.1	Umformkraft	45
4.2.1.2	Ausstoßkraft	49
4.2.2	Mittlere Werkzeugbelastungen	52
4.2.2.1	Bezogene Stempelbelastung	52
4.2.2.2	Mittlere radiale Matrizenbelastung	59
4.2.3	Temperaturmessung	62
4.2.3.1	Werkzeugtemperaturen	62
4.2.3.2	Werkstücktemperaturen	62
4.2.4	Mechanische Eigenschaften der Werkstücke	63
4.2.4.1	Mikrohärteverteilung	63
5	VERFAHRENSANALYSE	67
5.1	Werkstoffbewegungen	67
5.1.1	Werkstoffbewegungen im Modellversuch	67
5.1.2	Liniennetzverzerrungen	71
5.2	Experimentelle Ermittlung der örtlichen Vergleichsformänderungen	75
5.3	Kontaktspannungsverlauf über dem Verzahnungsquerschnitt	79
5.4	Verfahrensgrenzen	80
6	THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN	88
6.1	Modellvorstellung über den Umformvorgang	88
6.2	Betrachtungen bei der Folge Napfpresen und Formstauchen	91
6.3	Betrachtungen bei der Folge Formstauchen und Napfpresen	91
6.3.1	Berechnung der Formänderungen	92
6.3.1.1	Formänderungsverteilung beim Formstauchen	93
6.3.1.2	Formänderungsverteilung beim Napfpresen	95
6.3.2	Elementarer Ansatz zur Berechnung der Kontaktspannungen und Umformkräfte	97
6.3.2.1	Spannungsansatz für das Formstauchen	97
6.3.2.2	Berechnung der Stauchkraft	109

6.3.2.3	Spannungsansatz für das Napfpresen	109
6.3.2.4	Berechnung der Napfkraft	122
6.3.3	Diskussion der formulierten Ansätze	122
6.4	3-Dimensionales Temperaturfeldmodell	122
6.5	Elastische Verschiebungen der Matrizenkontur berechnet mit Hilfe des FE-Programmpaketes ASKA	127
6.5.1	Programmbeschreibung und Vorgehensweise	128
6.5.2	Verschiebungen aufgrund von Kontaktspannungen	129
6.5.3	Verschiebungen aufgrund von Wärme	129
6.6	Umrechnung von Verschiebungen in genormte Profilabweichungen	129
7	VERZÄHNUNGSGENAUIGKEIT	131
7.1	Einflußgrößen auf die Verzahnungsgenauigkeit	132
7.1.1	Herstellgenauigkeit verzahnter Matrizen	136
7.1.2	Elastisch bedingte Verzerrungen der Matrizenkontur	136
7.1.3	Thermisch bedingte Verzerrungen der Matrizenkontur	140
7.1.4	Rückfederung des Werkstückes durch das Härten	143
7.1.5	Verschleiß	145
7.2	Experimentelle Untersuchungen zur Verzahnungsgenauigkeit	145
7.3	Vergleich gemessener und berechneter Verzahnungsgenauigkeit	148
7.4	Theoretische Untersuchungen zur Steigerung der Verzahnungsgenauigkeit	148
7.4.1	Korrekturmöglichkeiten zur Steigerung der Verzahnungsgenauigkeit	149
8	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN	154
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	161
10	SCHRIFTTUM	163
11	TABELLEN	177
12	ANHANG	183