

# INHALTSVERZEICHNIS

0	FORMELZEICHEN UND SYMBOLE	IV
1	EINLEITUNG	1
2	STAND DER TECHNIK	3
2.1	Fließpreßverfahren zur Herstellung verzahnter Werkstücke	3
2.1.1	Hohlvorwärtsfließpressen	4
2.1.2	Querfließpressen	5
2.1.3	Napfformstauchen	6
2.2	Reibung bei der plastischen Formgebung	8
2.2.1	Einflußgrößen der Reibung	10
2.2.2	Mathematische Formulierung der Reibung	11
3	ZIELSETZUNG UND AUFGABENSTELLUNG	19
4	THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN	21
4.1	Grundlagen der elementaren Plastizitätstheorie	21
4.2	Elementarer Ansatz zur Ermittlung der Reibschubspannungen an der evolventischen Kontaktfläche	23
4.3	Elementarer Ansatz zur Ermittlung der radialen Kontaktkraft an der evolventischen Kontaktfläche	32
4.4	Einfluß charakteristischer Parameter auf die Reibschubspannungen	34
4.4.1	Fließfrontradius	35
4.4.2	Fließspannung	36
4.4.3	Geometrie der Verzahnung	38
4.5	Nomogramm zur überschlägigen Ermittlung der Kontaktspannungen	42

<b>5</b>	<b>NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN</b>	<b>45</b>
5.1	Grundlagen der Methode der Finiten-Elemente	45
5.1.1	Prinzip der virtuellen Verschiebungen	46
5.1.2	Reibung und Kontaktproblem	48
5.2	Modellbildung und Randbedingungen	50
5.3	Werkstoffbewegungen	52
5.4	Maximalwerte der tribologischen Beanspruchungsgrößen	54
5.4.1	Normalspannungen	55
5.4.2	Relativgeschwindigkeiten	57
5.4.3	Oberflächenvergrößerungen	59
5.5	Verifizierung des Reibmodells	61
5.6	Einfluß der Reibung auf die Umformbedingungen	65
5.6.1	Umformkraft	65
5.6.2	Werkstoffbewegungen	67
5.6.3	Verzahnungsgenauigkeit	69
5.7	Einfluß der Verzahnungsgeometrie auf die Ausbildung der Reibfläche	78
5.8	Vergleichsspannungen im Verzahnungssegment	81
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN</b>	<b>83</b>
6.1	Versuchsplanung und Versuchseinrichtungen	83
6.1.1	Versuchsprogramm	83
6.1.2	Umformmaschine und Werkzeugaufbau	84
6.1.3	Verzahnungssegment und Meßtechnik	86
6.1.4	Versuchswerkstoffe und Trennschmiersysteme	89

6.2	Reibungsuntersuchungen am Umformverfahren Napfformstauchen	93
6.2.1	Umformkraft	93
6.2.2	Ausstoßkraft	94
6.2.3	Werkstoffbewegungen	96
6.2.4	Kontaktkraft in Abhängigkeit vom Fließfrontradius und Trennschmiersystem	98
6.2.5	Reibwert in Abhängigkeit vom Fließfrontradius und Trennschmiersystem	100
6.3	Reibungsuntersuchungen am konventionellen Modellverfahren Ringstauchen	104
6.3.1	Reibwert in Abhängigkeit vom Stauchgrad und Trennschmiersystem	107
6.3.2	Reibwert in Abhängigkeit von der Normalspannung und Trennschmiersystem	109
6.4	Reibungsuntersuchungen am modifizierten Modellverfahren Ringstauchen	110
6.4.1	Einfluß des Werkstückwerkstoffes	112
6.4.2	Einfluß der Oberflächenrauheit	114
6.4.3	Einfluß der Umformgeschwindigkeit	116
6.4.4	Einfluß der Umformtemperatur	118
6.5	Makroskopische Oberflächenanalysen	120
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	129
8	SCHRIFTTUM	131
9	ANHANG	143