

BERICHTE AUS DEM
LABORATORIUM FÜR
WERKZEUGMASCHINEN
UND BETRIEBSLEHRE DER
RWTH AACHEN

WZL
PRODUKTIONSTECHNIK

Dipl.-Ing. Jin Hong Li, Aachen

Untersuchung der Wirkflächenreibung für die Finite-Elemente-Simulation der Massivumformung



Lehrstuhl für Technologie
der Fertigungsverfahren
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. W. König

Fortschritt-Berichte VDI
Reihe **2**: Fertigungstechnik

Nr. **374**

VDI VERLAG

Untersuchung der Wirkflächenreibung für die Finite-Elemente-Simulation der Massivumformung

Inhalt:	Seite:
Formelzeichen und Abkürzungen.....	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Erkenntnisse.....	2
2.1 Reibungsmechanismen zwischen metallischen Kontaktflächen.....	2
2.2 Reibungszustände bei der Umformung.....	3
2.3 Auswirkung der Reibung auf den Umformprozeß und die die Reibungsverhältnisse beeinflussenden Größen.....	5
2.4 Ansätze für die Formulierung eines Reibgesetzes.....	6
2.5 Verfahren zur Ermittlung der Wirkflächenreibung bei der Umformung.....	8
2.5.1 Direkte Reibwertermittlung.....	9
2.5.2 Indirekte Reibwertermittlung.....	9
2.6 Numerische Simulation mit der Finite-Elemente-Methode (FEM).....	11
2.6.1 FEM-Simulation umformtechnischer Prozesse.....	11
2.6.2 Werkstoffmodelle.....	12
2.6.3 Thermisch-mechanisch gekoppelte Simulation.....	14
2.6.4 Einflußfaktoren auf die Lösungsgenauigkeit der FEM.....	15
2.7 Bedeutung der Wirkflächenreibung für die FEM-Simulation.....	16
3 Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	18
4 Untersuchung der Reibverhältnisse in der Wirkfuge beim Ringstauchen.....	23
4.1 Prinzip des Ringstauchversuches.....	23
4.2 Auswertungsverfahren für den Ringstauchversuch.....	25
4.2.1 Auswertung des Ringstauchversuches mit Hilfe der Obere-Schranke-Theorie.....	26
4.2.2 Auswertung des Ringstauchversuches mit Hilfe der FEM.....	30
4.2.3 Auswirkung des thermischen Effektes auf den Werkstofffluß und die Umformkraft beim Ringstauchen.....	33

4.3	Experimentelle Untersuchungen der Wirkflächenreibung beim Ringstauchen.....	38
4.3.1	Versuchsaufbau und -durchführung beim Ringstauchen.....	38
4.3.2	Auswahl der Probengeometrie für die Ringstauchversuche	39
4.3.3	Ergebnisse der Ringstauchversuche bei Raumtemperatur.....	40
4.3.4	Ergebnisse der Ringstauchversuche bei erhöhter Temperatur.....	49
4.4	FEM-Simulation des Ringstauchens unter Verwendung experimentell ermittelter Reibwerte	52
4.4.1	Vergleich der FEM-Simulation mit den Ergebnissen der Ringstauchversuche bei Raumtemperatur.....	52
4.4.2	Vergleich der FEM-Simulation mit den Ergebnissen der Ringstauchversuche bei erhöhter Temperatur.....	55
5	Untersuchung der Reibverhältnisse in der Wirkfuge beim Schrägstauchen	58
5.1	Grundlagen des Schrägstauchversuches	58
5.2	Experimentelle Untersuchungen der Wirkflächenreibung beim Schrägstauchen	63
5.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung beim Schrägstauchen.....	63
5.2.2	Auswahl der Probengeometrie für die Schrägstauchversuche	66
5.2.3	Ergebnisse der Schrägstauchversuche bei Raumtemperatur.....	67
5.2.4	Ergebnisse der Schrägstauchversuche bei erhöhter Temperatur.....	73
5.3	Untersuchungen des Schrägstauchens mit Hilfe der FEM bei unterschiedlichen Prozeßparametern	76
5.3.1	Einfluß des Werkzeugneigungswinkels auf den Werkstofffluß beim Schrägstauchen	76
5.3.2	Einfluß der Reibbedingungen auf die Geometrieänderung der Probe und die Umformkräfte beim Schrägstauchen.....	78
5.3.3	Einfluß der Fließscheidenkonstante auf die Rechenergebnisse beim Schrägstauchen	82
5.4	FEM-Simulation des Schrägstauchens unter Verwendung experimentell ermittelter Reibwerte	87
5.4.1	Vergleich der FEM-Simulation mit den Ergebnissen der Schrägstauchversuche bei Raumtemperatur.....	87
5.4.2	Vergleich der FEM-Simulation mit den Ergebnissen der Schrägstauchversuche bei erhöhter Temperatur.....	92

6	Untersuchung der Reibverhältnisse in der Wirkfuge beim Durchdrücken	94
6.1	Prinzip des Durchdrückversuches	94
6.2	Experimentelle Untersuchungen der Wirkflächenreibung beim Durchdrücken	96
6.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung beim Durchdrücken.....	96
6.2.2	Auswahl der Probengeometrie für die Durchdrückversuche	98
6.2.3	Ergebnisse der Durchdrückversuche bei Raumtemperatur.....	99
6.2.4	Ergebnisse der Durchdrückversuche bei erhöhter Temperatur.....	111
6.3	Untersuchungen des Durchdrückens mit Hilfe der FEM bei unterschiedlichen Prozeßparametern	114
6.3.1	Einfluß des Werkzeugwinkels auf den Durchdrückprozeß	115
6.3.2	Einfluß der Reibbedingungen auf den Durchdrückprozeß	118
6.4	FEM-Simulation des Durchdrückens unter Verwendung experimentell ermittelter Reibwerte	122
6.4.1	Vergleich der FEM-Simulation mit den Ergebnissen der Durchdrückversuche bei Raumtemperatur.....	122
6.4.2	Vergleich der FEM-Simulation mit den Ergebnissen der Durchdrückversuche bei erhöhter Temperatur.....	125
7	Vergleich der Reibverhältnisse bei den Modellverfahren Ringstauchen, Schrägstauchen und Durchdrücken	127
7.1	Vergleich des bezogenen mittleren Werkzeugdruckes bei den Modellverfahren.....	127
7.2	Vergleich der ermittelten Reibwerte bei den Modellverfahren	129
8	Anwendung der in Modellverfahren ermittelten Reibwerte auf die FEM-Simulation von Zahnradumformprozessen	133
8.1	FEM-Simulation des Zahnradschmiedens	133
8.2	FEM-Simulation des Zahnradquerfließpressens	140
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	146
10	Literatur.....	148