

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