

Rene Kallmeyer

**Abschätzung der Wärmeströme bei der
Reibung von metallischen Werkstoffen auf
Eis**

Diplomarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2007 Examicus Verlag
ISBN: 9783869437460

Rene Kallmeyer

Abschätzung der Wärmeströme bei der Reibung von metallischen Werkstoffen auf Eis

Examicus - Verlag für akademische Texte

Der Examicus Verlag mit Sitz in München hat sich auf die Veröffentlichung akademischer Texte spezialisiert.

Die Verlagswebseite www.examicus.de ist für Studenten, Hochschullehrer und andere Akademiker die ideale Plattform, ihre Fachtexte, Studienarbeiten, Abschlussarbeiten oder Dissertationen einem breiten Publikum zu präsentieren.

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Werkstofftechnik

Diplomarbeit

zum Thema

**Abschätzung der Wärmeströme bei der Reibung
von metallischen Werkstoffen auf Eis**

eingereicht von

Kallmeyer, René

Ilmenau, Juni 2007

Danksagung

Die vorliegende Diplomarbeit wurde während meines 11. Semesters am Fachgebiet Metallische Werkstoffe und Verbundwerkstoffe an der Technischen Universität Ilmenau durchgeführt. Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. H. Kern danke ich für die Ermöglichung dieser Diplomarbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Frank Albracht, Herrn Dr.-Ing. Volker Winkler und Frau Dipl.-Ing. (FH) Susen Reichel für die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit, ihre ständige Diskussionsbereitschaft und die freundliche Unterstützung bei der Bearbeitung des Themas.

Bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fachgebietes möchte ich mich für die freundliche Aufnahme bedanken. Dank auch an den Meister der mechanischen Werkstatt Herrn Frank Oßmann.

Weiterhin möchte ich mich bei Dipl.-Ing. Marc Schalles bedanken für seine Hilfestellung im FEM-Bereich.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern Christine und Karl-Heinz, meiner Schwester Anja sowie meiner Freundin Gesine, die mich während dieser Arbeit immer unterstützten und motivierten.

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS VON ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN	VI
0 EINLEITUNG.....	1
1 GRUNDLAGEN.....	2
1.1 STRUKTURMECHANISCHE UND THERMODYNAMISCHE EIGENSCHAFTEN VON EIS .	2
1.1.1 PHYSIK VON EIS	2
1.1.2 SCHMELZEN VON EIS.....	6
1.1.2.1 DRUCKSCHMELZEN.....	7
1.1.2.2 GRENZFLÄCHENSCHMELZEN	8
1.1.2.3 OBERFLÄCHENSCHMELZEN	9
1.1.2.4 REIBSCHMELZEN	10
1.1.2.5 QUASI FLÜSSIGER FILM.....	11
1.2 TRIBOLOGISCHE SYSTEME MIT EIS.....	12
1.2.1 TRIBOLOGIE ALLGEMEIN	12
1.2.1.1 REIBUNG	13
1.2.1.2 VERSCHLEIß.....	15
1.2.1.3 SCHMIERUNG	15
1.2.2 REIBUNG AUF EIS	16
1.3 WÄRMEÜBERTRAGUNG UND TEMPERATURMESSUNG.....	18
1.3.1 WÄRMEAUSBREITUNG.....	18
1.3.1.1 WÄRMELEITUNG	19
1.3.1.2 WÄRMEKONVEKTION	20
1.3.1.3 WÄRMESTRAHLUNG.....	21
1.3.1.4 WÄRMEÜBERTRAGUNG IM REIBSPALT	21
1.3.2 TEMPERATURMESSUNG.....	25
1.3.2.1 THERMOELEMENT	25
1.3.2.2 WIDERSTANDSTHERMOMETER.....	26
1.3.2.3 INFRAROTSENSOREN	27

2	UNTERSUCHUNGEN ZUR REIBUNG AUF EIS	29
2.1	TRIBOMETER UND MESSSYSTEM	29
2.2	HERSTELLUNG UND PRÄPARATION DES EISES	31
2.3	AUSWAHL UND MODIFIZIERUNG DES PROBEKÖRPERS	33
2.4	VERSUCHSPLAN	34
2.4.1	BEMERKUNGEN ZUR REIBUNGSZAHL	36
2.4.2	BEMERKUNGEN ZUR TEMPERATURMESSUNG	37
3	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	40
3.1	REIBUNGSZAHL IN ABHÄNGIGKEIT DER NORMALKRAFT, GLEITGESCHWINDIGKEIT UND EISTEMPERATUR	40
3.1.1	ALLGEMEINES REIBUNGSVERHALTEN	40
3.1.2	BELASTUNGS- ODER GLEITGESCHWINDIGKEITSABHÄNGIGE REIBUNGSZAHL	41
3.1.3	REPRODUZIERBARKEIT DER ERGEBNISSE	44
3.1.4	ABHÄNGIGKEIT DER REIBUNGSZAHL VON DER EISTEMPERATUR	45
3.1.5	REIBUNGSZAHL IN DEN KRITISCHEN BEREICHEN	47
3.2	TEMPERATURMESSUNG IM REIBSPALT	49
3.2.1	GESCHWINDIGKEITSABHÄNGIGKEIT DER TEMPERATUR	49
3.2.2	BELASTUNGSABHÄNGIGKEIT DER TEMPERATUR	51
3.2.3	TEMPERATURVERHALTEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN EISTEMPERATUREN	53
3.2.4	TEMPERATURVERHALTEN UND REIBUNGSZAHL	57
3.2.5	STATISCHE TEMPERATURMESSUNG	58
3.3	FAZIT DER UNTERSUCHUNGEN ZUR REIBUNG AUF EIS	60
4	MODELLBILDUNG MITTELS FEM	64
4.1	GRUNDLAGEN	64
4.2	THEORETISCHES FEM-MODELL	65
4.3	AUFBAU DES FEM-MODELLS	67
4.4	ERGEBNISSE DER SIMULATION	69

5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	71
6	LITERATURVERZEICHNIS	74
7	INTERNETVERZEICHNIS	80
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	81
9	TABELLENVERZEICHNIS	83
10	ANHANG.....	84

Verzeichnis von Abkürzungen und Formelzeichen

Abkürzungen

gradT	Temperaturgradient
PMMA	Polymethylmethacrylat
TCC	Thermal Contact Conductance

Formelzeichen

I ... XII	chronologische Laufnummer des Eises	
I_c	Eis mit hexagonaler Kristallstruktur	
I_h	Eis mit kubischer Kristallstruktur	
A	Fläche	[m ²] [mm ²]
A_i	Fläche des Strahlers	[m ²]
A_K	Kontaktfläche	[mm ²]
a(0)	Konstante = 0,84	[nm]
c	spezifische Wärmekapazität	[J/kg · K]
E	Elastizitätsmodul	[N/m ²] [N/mm ²]
E_{AB}	Thermospannung	[mV]
e_x, e_y, e_z	Elementkoordinatensystem	
F_{ij}	Formfaktor zwischen Strahler- und Empfängerfläche	
F_N	Normalkraft	[N]
F_R	Reibungskraft	[N]
f	Reibungszahl	
G	Schermodul	[N/m ²]
H	Enthalpie	[J]
h	Schmelzwärme	[kJ/kg]
h_c	thermische Kontaktkonduktivität	[W/m ² · K]
k	Materialfaktor	
L	Dicke des quasi flüssigen Filmes	[nm] [Å]
l_d	Wachstumsamplitude	[Å]

P	Reibleistung	[W]
P_M	Reibleistungsanteil durch Materialveränderung	[W]
P_Q	Reibleistungsanteil durch Wärme	[W]
P_V	Reibleistungsanteil durch Materialverlust	[W]
p	Druck	[bar]
\dot{Q}	Wärmestrom	[W]
\dot{Q}_K	Wärmestrom durch Wärmekonvektion	[W]
\dot{Q}_L	Wärmestrom durch Wärmeleitung	[W]
\dot{Q}_S	Wärmestrom durch Wärmestrahlung	[W]
R_a	Mittenrauwert	[μm]
T	Temperatur	[K] [°C]
T_0	Starttemperatur	[K] [°C]
T_A	Starttemperatur	[K] [°C]
T_F	Fluidtemperatur	[K] [°C]
T_i	Temperatur des Strahlers	[K]
T_j	Temperatur des Empfängers	[K]
T_m	Schmelztemperatur	[K] [°C]
T_{qll}	Temperatur des quasi flüssigen Filmes	[K] [°C]
T_{ref}	Referenztemperatur	[K] [°C]
T_S	Temperatur an der Messstelle	[K] [°C]
T_U	Endtemperatur	[K] [°C]
T_W	Wandtemperatur	[K] [°C]
ΔT	Temperaturdifferenz	[K]
t	Zeit	[s]
v_G	Gleitgeschwindigkeit	[m/s]
v_S	Vorschubgeschwindigkeit	[mm/s]
x, y, z	kartesische Koordinate	
α	Wärmeausdehnungskoeffizient	[1/K]
α_K	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient	[W/m ² · K]
ε_i	Emissionsgrad der Strahlerfläche	
κ	Kompressionsmodul	[N/m ²]
λ	Wärmeleitfähigkeit	[W/m · K]