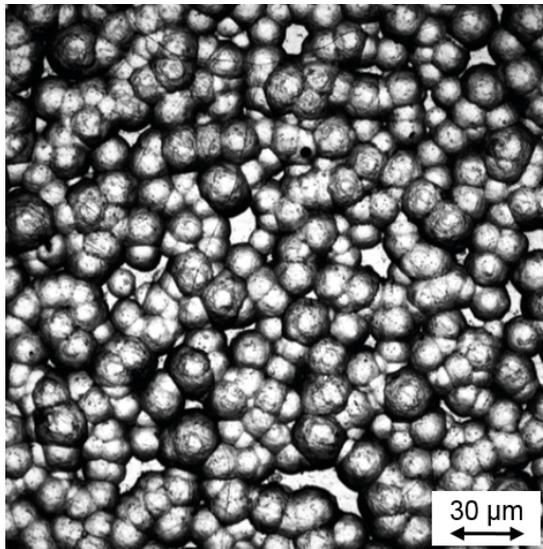


Einfluss von Oberflächenstrukturen auf die Filamentschädigung von Hochmodulgarnen in der textilen Flächenherstellung

Tobias Beck



**„Einfluss von Oberflächenstrukturen auf die Filamentschädigung von
Hochmodulgarnen in der textilen Flächenherstellung“**

**“Influence of surface structures regarding the filament damage of high
modulus fibres during textile processing”**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Tobias Beck

Berichter: Univ.-Prof. Prof. h. c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries
Honorarprofessor Dr.-Ing. Kai Klopp

Tag der mündlichen Prüfung: 08. November 2017

Textiltechnik/Textile Technology

herausgegeben von

Univ. Prof. Professor h. c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries

Tobias Beck

**Einfluss von Oberflächenstrukturen auf die
Filamentschädigung von Hochmodulgarnen
in der textilen Flächenherstellung**

Shaker Verlag
Aachen 2018

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2017)

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6212-0

ISSN 1618-8152

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Beschäftigung als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University von 2012 bis 2017 entstanden.

Ich bedanke mich bei meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Prof. h. c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries für die intensive inhaltliche Betreuung der Promotion. Für die Übernahme des Koreferats bedanke ich mich bei Herrn Honorarprofessor Dr.-Ing. Kai Klopp, für den Beisitz bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. rer. Pol. Peter Letmathe. Für den Vorsitz in meiner Prüfung bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Burkhard Corves.

Ein besonderer Dank gilt meinen Arbeitskollegen und Freunden, die mich bei der Entstehung der Arbeit unterstützt haben. Im Speziellen möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Achim Hehl, Herrn Dr.-Ing. Timm Holtermann, Herrn Dr.-Ing. Achim Schröter und Herrn Dr.-Ing. Christopher Lenz für die Unterstützung bei der Themenfindung und das stets konstruktive Feedback bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich bei Maximilian Schratz, Lukas Lechthaler, Lisa Papenbreer, Amine Zaghbib, Stefan Herrmanns und allen anderen studentischen Hilfskräften für die Unterstützung bei der Umsetzung der Versuchsstände, den zahlreichen Versuchsreihen und Recherchen bedanken. Bei Frau Christiane Cremer möchte ich mich für ihre unermüdliche Geduld und Hilfe bedanken.

Abschließend gilt mein besonderer Dank meiner Familie. Meinen Eltern danke ich für die Ermöglichung meines Bildungsweges und der stets uneingeschränkten Unterstützung. Meiner Schwester Sandra danke ich für ihre grenzenlose Hilfsbereitschaft, gerade in schwierigen Zeiten. Meiner Lebensgefährtin Jutta Reif danke ich für die Geduld und Rücksichtnahme in den vergangenen Jahren sowie die wertvollen Anregungen zu meiner Arbeit.

Aachen, im September 2018

Teile dieser Arbeit basieren auf den Ergebnissen der von mir betreuten studentischen Arbeiten. Eine bibliographische Auflistung befindet sich am Ende des Literaturverzeichnisses.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Aufbau und Zielsetzung	3
2 Herstellung und Verarbeitung von Hochmodulgarnen	5
2.1 Geeignete Fasermaterialien zur Anwendung im Faserverbundbereich	5
2.1.1 Glasfaser	6
2.1.2 Carbonfaser	8
2.2 Textile Verfahren zur Carbonverarbeitung	10
2.2.1 Multiaxialkettengelege	10
2.2.2 Flechten	12
2.2.3 Weben	15
2.2.4 Auswahl eines textilen Herstellungsverfahrens	17
2.2.4.1 Technologische Aspekte	17
2.2.4.2 Marktrelevanz	19
2.3 Zusammenfassung	19
3 Tribologie	21
3.1 Tribologisches System	21
3.2 Ebenen der Tribosysteme	23
3.2.1 Nanotribologie	23
3.2.2 Mikrotribologie	23
3.2.3 Makrotribologie	24
3.3 Kategorien der tribologischen Prüftechnik	25
3.4 Verschleißarten	27
3.5 Reibungstheorien	29
3.5.1 Reibungsarten	29
3.5.2 Berechnungsgrundlagen	31
3.5.2.1 Coulomb (Amonton's Law)	31
3.5.2.2 Eytelwein (Capstan Equation)	32
3.5.2.3 Ansatz von Howell	35
3.5.2.4 Hertz'sche Theorie	36
3.5.2.5 Newton'sches Reibungsgesetz	39

4	Messmethoden zur Oberflächencharakterisierung	44
4.1	Oberflächenmerkmale	44
4.2	Oberfläche als statistisches Problem	48
4.3	Bestimmung der Oberflächenkennwerte	52
4.3.1	Ermittlung der Rauheitskennwerte	52
4.3.2	Tastschnittverfahren	53
4.3.3	Optische Interferometrie	54
4.3.4	Messung der Härte	55
4.3.5	Zusammenfassung	56
4.4	Textilmaschinenelemente	57
5	Werkstoffe fadenführender Textilmaschinenelemente	59
5.1	Metallische Werkstoffe	59
5.2	Sinterkeramiken	60
5.3	Beschichtungsverfahren für fadenkontaktierende Textilmaschinenelemente	60
5.3.1	PVD-Verfahren	62
5.3.2	Thermisches Spritzen und Plasmaspritzen	63
5.3.3	Galvanisch hergestellte Beschichtungen	64
5.4	Auswahl geeigneter Werkstoffe	67
6	Methode zur Untersuchung textiler Tribosysteme	68
6.1	Auswahl eines geeigneten methodischen Ansatzes	68
6.2	Fünf-Schritt-Methode zur Untersuchung von Oberflächenstrukturen	70
6.2.1	Erfassung des Tribosystems	71
6.2.2	Nachbildung des Tribosystems	72
6.2.3	Variation der relevanten Parameter	73
6.2.4	Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen	73
6.2.5	Rücktransfer in den Realprozess	73
7	Anwendungsbeispiel Carbonweben	74
7.1	Erfassung relevanter Tribosysteme	74
7.1.1	System Kette	75
7.1.2	System Schusseintrag	83
7.2	Nachbildung der ausgewählten Tribosysteme	84
7.2.1	Anforderung an die abzubildenden Tribosysteme	85

7.2.1.1	Grundkörper	85
7.2.1.2	Gegenkörper	85
7.2.1.3	Zwischenstoff	86
7.2.1.4	Klima	87
7.2.1.5	Prozessparameter	88
7.2.1.6	Fazit	91
7.2.2	Abstraktion der ausgewählten Tribosysteme	91
7.2.2.1	Reibwertermittlung mit dem ITA-Tribometer	92
7.2.2.2	Verschleißprüfstand	93
7.2.2.3	Probekörper	95
7.3	Variation der relevanten Parameter	96
7.3.1	Reibungsuntersuchung von Oberflächentopografien	97
7.3.2	Verschleißuntersuchungen an Referenzoberflächen	99
7.3.3	Fazit des Topographie- und Verschleißversuchs	103
7.4	Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen	104
7.4.1	Untersuchung alternativer Oberflächentopografien	104
7.4.2	Auswahl geeigneter Werkstoffe	106
7.4.3	Verschleißuntersuchung unterschiedlicher Beschichtungssysteme	107
7.4.3.1	Verschleißuntersuchungen von Titanitrid (TiN)	108
7.4.3.2	Verschleißuntersuchungen von DLC	111
7.4.3.3	Verschleißuntersuchungen von Strukturchrom	115
7.4.4	Zusammenfassende Darstellung der Verschleißuntersuchungen	120
7.5	Herstellung und Erprobung der modifizierten Maschinenelemente	121
7.5.1	Beschichtung von Weblitzen und fadenführenden Elementen	122
7.5.2	Erprobung der beschichteten Textilmaschinenbauteile im Feldtest	123
7.5.3	Technische Bewertung der Verbesserungsmaßnahmen	125
8	Anwendungsbeispiel Carbonfaserherstellung	127
8.1	Erfassung von Tribosystemen bei der Carbonfaserherstellung	127
8.1.1	Herstellung von Referenzmaterial zur tribologischen Untersuchung unterschiedlicher Galettenoberflächen	130
8.1.2	Charakterisierung der hergestellten Carbonfasern	132
8.1.3	Erfassung relevanter Tribosysteme	136

8.2	Nachbildung des ausgewählten Tribosystems	138
8.2.1	Verwendetes Fasermaterial	139
8.2.2	Charakterisierung herkömmlicher Galetten zur Carbonfaserherstellung	140
8.2.3	Herstellung von Probekörpern	142
8.3	Variation der Parameter	143
8.4	Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen	148
8.5	Validierung der Galettenbeschichtung	153
9	Wirtschaftliche Bewertung der entwickelten Maßnahmen	158
9.1	Wirtschaftliche Bewertung der abgeleiteten Verbesserungsmaßnahmen	158
9.2	Wirtschaftliche Bewertung des Carbonwebens	159
9.3	Wirtschaftliche Bewertung des Carbonfaserherstellungsprozesses	161
10	Zusammenfassung	163
11	Summary	168
12	Ausblick	170
13	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	172
13.1	Abbildungen	172
13.2	Tabellen	177
14	Literatur	180
15	Abkürzungsverzeichnis, Formelzeichen	193
16	Verwendete studentische Arbeiten	197