

**Prüftechnik zur Charakterisierung
der Eigenschaften von Klebungen
bei hochdynamischer Beanspruchung**

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

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Peter Dörfler
aus München

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Essam A. El-Magd

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Februar 2002

„D 82 (Diss. RWTH Aachen)“

bonding and joining

Band 2

Peter Dörfler

**Prüftechnik zur Charakterisierung
der Eigenschaften von Klebungen
bei hochdynamischer Beanspruchung**

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Shaker Verlag
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Dörfler, Peter:

Prüftechnik zur Charakterisierung der Eigenschaften von Klebungen bei
hochdynamischer Beanspruchung/Peter Dörfler.

Aachen: Shaker, 2002

(bonding and joining; Bd. 2)

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2002

ISBN 3-8322-0150-5

Copyright Shaker Verlag 2002

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0150-5

ISSN 1617-8890

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Füge-technische Fertigungsverfahren, IFF, in München.

Ich möchte dem Leiter des Lehr- und Forschungsinstituts Klebtechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Herrn Professor Dr.-Ing. Klaus Dilger, für seine wohlwollende und fachliche Unterstützung und für die Betreuung dieser Arbeit danken. Ebenso danke ich Herrn Professor Dr.-Ing. Essam El-Magd für die sorgfältige Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Koreferates sowie Herrn Professor Dr.-Ing. Reinhard Niehuis für die Übernahme des Vorsitzes.

Außerdem danke ich Herrn Dr.-Ing. Christian Lammel und Herrn Dr.-Ing. Stefan Böhm für die wertvollen Anregungen und die fachliche Unterstützung bei der Umsetzung. Den Mitarbeitern der Firma Immersive Sim Engineering, Herrn Dr.-Ing. Gerhard Schmöller und Herrn Dipl.-Ing. Thorsten Böger, danke ich für die Durchführung der FEM-Berechnung. Den Mitarbeitern des IFF sowie den Studenten, die in ihren Studien- und Diplomarbeiten Beiträge zu dieser Arbeit geleistet haben, danke ich an dieser Stelle herzlich. Dies gilt insbesondere für Herrn Dipl.-Ing. Florian Dirscherl, Herrn Dipl.-Ing. Farid Gohary, Herrn Dipl.-Ing. Sascha Nagel und Herrn cand.-Ing. Hans Hollinger.

Meinen Eltern Herrn Dipl.-Ing. Egon Dörfler und Frau Karin Dörfler möchte ich an dieser Stelle besonders herzlich danken, da durch ihre moralische, aber auch finanzielle Unterstützung diese Arbeit erst möglich geworden ist.

Inhaltsverzeichnis

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>I</i>
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	<i>III</i>
<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>VII</i>
<i>Abkürzungen und Formelzeichen</i>	<i>IX</i>
1 Einleitung	1
1.1 Bedeutung der Klebtechnik im Fahrzeugbau	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2 Prüfmethodik	5
3 Hochgeschwindigkeitsprüfung	11
3.1 Versuchsmethoden zur Simulation des Crashverhaltens	12
3.1.1 Spindelantriebe	13
3.1.2 Pendel.....	14
3.1.3 Fallgewicht.....	15
3.1.4 Hydraulische Antriebe.....	17
3.1.5 Rotierende Scheiben.....	18
3.1.6 Beanspruchungswellen.....	19
3.1.7 Durch Sprengstoff induziert.....	21
3.2 Prüfprinzipien zur Untersuchung des Crashverhaltens geklebter Verbindungen	22
3.2.1 Schlagscherversuch	22
3.2.2 Schlagzugversuch	23
3.2.3 Schlagschälversuch	23
3.2.4 Schlagzugscherversuch.....	26
3.2.5 Bauteilähnliche Prüfungen	27
3.3 Gegenüberstellung gängiger Prüfmethoden	28
4 Anforderungen an den hochdynamischen Prüfstand	29
4.1 Hardware/Mechanik	30
4.2 Wirtschaftlichkeit	31
4.3 Meßtechnik.....	32
4.4 Software.....	33
5 Grundlagen der Prüfmethodik des hochdynamischen Prüfstands	35
5.1 Energiespeicherung	35
5.2 Sicherheit bei Rotation.....	39
5.3 Sicherheit bei Schlagbeanspruchung.....	39
5.4 Energieabgabe.....	42

6	<i>Bau des Impact-Rotations-Prüfstands</i>	47
6.1	Antrieb	49
6.1.1	Übersetzung Motor-Schwungrad.....	49
6.1.2	Dimensionierung des Motors.....	49
6.2	Energiespeicherung	50
6.2.1	Geometrie der Schwungscheibe.....	50
6.2.2	Sicherheit der Schwungscheibe bei Rotation.....	54
6.3	Energieabgabe	55
6.3.1	Dimensionierung des Fallriegels.....	55
6.3.2	Auslösemechanismus des Fallriegels.....	59
6.3.3	Sicherheit der Schwungscheibe bei Schlagbeanspruchung.....	62
6.3.4	Dimensionierung der Welle.....	62
6.3.5	Dimensionierung der Lagerung.....	65
6.4	Spannvorrichtung	69
6.4.1	Führung des Schlittens.....	69
6.4.2	Spannvorrichtung der Probenkörper.....	71
6.5	Aufnahme der Meßdaten	75
6.5.1	Aufnahme der Kraft.....	76
6.5.2	Aufnahme des Wegs.....	78
6.5.3	Ausleserate.....	80
6.5.4	Filterung der Meßdaten.....	82
6.6	Steuerung des Prüfstands	84
6.6.1	Steuerungssoftware.....	84
6.7	Technische Daten	86
7	<i>Eigenschaften des Impact-Rotations-Prüfstands</i>	89
7.1	Betrachtung des Stoßvorganges	89
7.1.1	Berechnung der Schlittengeschwindigkeit.....	89
7.1.2	Berechnung der Stoßdauer.....	90
7.1.3	Verifikation der berechneten Werte.....	91
7.1.4	Geschwindigkeitsverlauf des Schlittens nach dem Stoß.....	94
7.2	Schwingungsverhalten	97
7.2.1	Grundbegriffe der Schwingungslehre.....	98
7.2.2	Ersatzmodell mit einer Masse und zwei Federn.....	99
7.2.3	Ersatzmodell mit einer Masse unter Berücksichtigung der Dämpfung.....	104
7.2.4	Ersatzmodell mit zwei Massen und zwei Federn.....	107
7.2.5	Beeinflussung der Schwingungszeiten.....	112
8	<i>Verifikation der Anforderungen</i>	117
8.1	Hardware/Mechanik	117
8.2	Wirtschaftlichkeit	120
8.3	Meßtechnik	121
8.4	Software	124
9	<i>Zusammenfassung</i>	127