

**Schädigungsbeschreibung an massiven heißgängigen Kraftwerks-
komponenten bei Anfahrvorgängen am Beispiel des Werkstoffes
23CrMoNiWV8-8**

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Matthias Lyschik

aus Frankfurt am Main

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. C. Berger
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. rer. nat. A. Dreizler
Tag der Einreichung:	01.12.2011
Tag der mündlichen Prüfung:	24.01.2012

Darmstadt 2011

D 17

Berichte aus der Werkstofftechnik
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Christina Berger

Band 1/2012

Matthias Lyschik

**Schadigungsbeschreibung an massiven
heißgängigen Kraftwerkskomponenten bei Anfahrvor-
gängen am Beispiel des Werkstoffes 23CrMoNiWV8-8**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2012

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.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0850-0

ISSN 1617-3805

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

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffkunde der Technischen Universität Darmstadt.

Frau Prof. Dr.-Ing. C. Berger möchte ich für die Möglichkeit der Durchführung dieser Forschungsarbeit und ihre wohlwollende Förderung besonders danken.

Großer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. rer. nat. A. Dreizler für sein Interesse an dieser Arbeit und die Übernahme der Mitberichterstattung sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Oechsner für die Durchsicht des Manuskripts.

Ausdrücklich bedanken möchte ich mich bei dem Leiter des Kompetenzbereichs Hochtemperaturwerkstoffe des Instituts für Werkstoffkunde, Herrn Dr.-Ing. A. Scholz, für die wertvollen Anregungen und seine Unterstützung, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Der Forschungsvereinigung der Arbeitsgemeinschaft der Eisen und Metall verarbeitenden Industrie e.V. (AVIF) und der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV, Frankfurt) danke ich für die finanzielle Förderung. Weiterhin gilt mein Dank dem Obmann, Herrn Dr.-Ing. M. Reigl, Alstom AG, und den Mitgliedern des projektbegleitenden Arbeitskreises für die wertvollen Hinweise aus der Praxis. Den im Arbeitskreis vertretenen Firmen sei für die Bereitstellung des Versuchswerkstoffes gedankt.

Allen Kollegen, insbesondere Herrn Dr. P. Wang und Herrn Dipl.-Ing. S. Michelfeit danke ich für die intensiven Fachgespräche. Frau Dipl.-Ing. D. Eder-Goy danke ich für die Betreuung eines Teils des Versuchsprogramms.

Mein großer Dank gilt meinen Eltern für die Ermöglichung einer Hochschulausbildung. Bei meiner Frau, Katja Lyschik und meinen Kinder Jan und Kay möchte ich mich auch für die Unterstützung während des Verfassens dieser Arbeit bedanken.

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfen durchgeführt habe.

Darmstadt, 01.12.2011

Inhaltsverzeichnis

1	PROBLEMSTELLUNG UND FORSCHUNGSZIELE	1
2	STAND DES WISSENS	4
2.1	Warmfeste Stähle	4
2.2	Hochtemperaturwerkstoffverhalten	6
2.2.1	Kriechen	6
2.2.2	Ermüden	9
2.2.3	Komplexbeanspruchung unter hohen Temperaturen in Folge von An- und Abfahrvorgängen	12
2.2.4	Mehraxiales Verhalten	17
2.2.5	Gefügeschädigung	21
2.3	Phänomenologische Werkstoffbeschreibung	23
2.3.1	Lebensdaueranteilregel	23
2.3.2	Schadensakkumulationshypothese	25
2.4	Konstitutives Materialmodell zur Werkstoffbeschreibung	30
2.4.1	Parameteridentifizierung	35
2.4.2	Extrapolationsmethoden	37
3	AUFGABENSTELLUNG	42
3.1	Experimenteller Teil	43
3.2	Theoretischer Teil	44
4	VERSUCHSPROGRAMM UND DURCHFÜHRUNG	45
4.1	Werkstoff	45
4.2	Versuche zur Werkstoffcharakterisierung	48
4.2.1	Gestufte Kriech- und Relaxationsversuche	57
4.2.2	Druckkriechversuch	58

4.3	Betriebsnahe Rotorzyklen mit Variation der Anfahrtemperatur	59
4.3.1	Versuchstechnik	59
4.3.2	Versuchsprogramm	60
4.3.3	Versuchsergebnisse betriebsnaher Versuche	65
4.3.4	Anrissverhalten der betriebsnahen Versuche	71
4.4	Biaxiale Versuche	78
4.4.1	Versuchstechnik	78
4.4.2	Versuchsprogramm	84
4.4.3	Versuchsergebnisse betriebsnaher biaxialer Versuche	85
5	PHÄNOMENOLOGISCHE UND KONSTITUTIVE	
	LEBENSDAUERBERECHNUNG	92
5.1	Konstitutives Materialmodell	92
5.1.1	Ergebnisse der Parameteridentifikation	92
5.1.2	Die Dehnungsregelung zur Anwendung in der Simulation	97
5.1.3	Ergebnisse der FEM-Berechnungen der betriebsnahen Versuche .	99
5.1.4	Einfluss der Materialparameter auf die Anrisswechselzahlbestimmung	106
5.2	Phänomenologische Ansätze	106
5.2.1	Bestimmung der Formänderungsarbeit	114
5.2.2	Bestimmung der Kriechschädigung anhand des Faktorenkonzeptes	117
5.2.3	Lebensdauerbewertung für Kriechermüdung	121
5.3	Vergleich der Lebensdauerbewertungsmethoden	125
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	127
7	ZUSAMMENFASSUNG	129
8	LITERATUR	131
9	ANHANG	138