



Aachener Berichte aus dem Leichtbau

Towards a reliable fatigue life prediction in metallic crack patching

Ulrike Martens



Institut für
Strukturmechanik
und Leichtbau

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

TOWARDS A RELIABLE FATIGUE LIFE PREDICTION IN METALLIC CRACK PATCHING

ANSÄTZE FÜR DIE ZUVERLÄSSIGE ABSCHÄTZUNG DER
LEBENSDAUER GEKLEBTER PFLASTER AUS
FASERKUNSTSTOFFVERBUNDEN ZUR REPARATUR VON
ERMÜDUNGSRISSEN IN METALLISCHEN BAUTEILEN

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

vorgelegt von

Ulrike Silke Martens,
geb. Schlauch

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Schröder
Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann

Tag der
mündlichen Prüfung: 02.12.2021

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek
online verfügbar.

Aachener Berichte aus dem Leichtbau
herausgegeben von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Schröder

Band 4/2021

Ulrike Martens

**Towards a reliable fatigue life prediction
in metallic crack patching**

Shaker Verlag
Düren 2022

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2021)

Copyright Shaker Verlag 2022

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8691-1

ISSN 2509-663X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

ABSTRACT

The topic of “Ageing Aircraft” is one of the big issues in today’s operational aircraft. Fatigue cracks for instance are of great concern when looking at old metallic aircraft structures. [1, 2] Increasing the aircraft’s operational service life in terms of flight hours and flight cycles is of great interest not only from a financial point of view. Contemporary demands for sustainability are of great concern in aviation industry. The aim to the delay the replacement of cracked components and to reduce inspection times and effort results in the need for effective and lasting repair methods. Adhesively bonded repair patches made of fibre reinforced polymers (FRP) can restore the component’s structural integrity without structural degradation.

Research into metallic crack patching goes back to the 1980s. Since then, effective design methods have been developed and improved to a very high level of accuracy. The majority of today’s research still focuses on the general verification of patch efficiency and the improvement of the preliminary patch design methods. But, the actual difficulty is the reliable service life prediction. Cyclic mechanical loading combined with continuously changing environmental influences can significantly detract the repair’s functionality over time. Hence, fatigue life assessments using the initial repair properties is limited due to their degrading characteristics. However, a full exploitation of the potential on the other hand can only act up with a reliable fatigue life prediction.

In a comprehensive analysis of the design process the present study reveals effective starting points for prospective research. It shows why additional studies on patch effectiveness cannot lead to improve the reliability of bonded patches. With a coupon test series the theory is supported that the effect of even more precise preliminary patch design methods is insignificant concerning service life extension and that the focus of future studies has to be set on the assessment of service loads and their impact on the structural integrity. To this, a concluding test series shows how the method of infrared thermography enables significant improvements in the comprehension of the fatigue behaviour of a crack patched metallic structure.

KURZFASSUNG

Im Bereich der Luftfahrt sind alternde Flugzeugflotten und die damit einhergehende Ermüdungsproblematik ein wichtiges Thema. [1, 2] Nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht ist die Verlängerung der Einsatzfähigkeit alternender Komponenten von großem Interesse. In Zeiten des immer größer werdenden Bestrebens nach nachhaltigen Lösungen ist das Thema Reparatur aktueller denn je. Der Einsatz geklebter Reparaturpflaster aus Faserkunststoffverbunden kann dazu beitragen, das Wachstum von Ermüdungsrissen in metallischen Bauteilen im laufenden Betrieb deutlich zu reduzieren ohne die Tragfähigkeit der Struktur zu vermindern.

Obwohl bereits seit den 1980er Jahren im Bereich geklebter Reparaturpflaster geforscht wird und effektive Berechnungsmethoden verfügbar sind um ihre Wirksamkeit zu quantifizieren, konzentriert sich der Großteil aktueller Studien immer noch auf den Nachweis der generellen Wirksamkeit oder der Verbesserung der Vorauslegung. Die eigentliche Problematik liegt jedoch in der zuverlässigen Abschätzung der Betriebsdauer. Zyklische mechanische Beanspruchungen sowie stetig wechselnde Umwelteinflüsse führen dazu, dass die Funktionsfähigkeit des Pflasters mit der Zeit abnimmt. Die ursprünglich ermittelte Reduktion der Spannungsintensität an der Risspitze ist im Einsatz also nicht dauerhaft gültig und daher nur bedingt nutzbar um die tatsächliche Lebensdauer vorherzusagen zu können. Die vollständige Ausschöpfung des Potenzials geklebter Reparaturen gelingt jedoch vor allem dann, wenn das Langzeitverhalten verlässlich und sicher vorhergesagt werden kann.

In einer umfassenden Analyse des Auslegungsprozesses zeigt die vorliegende Arbeit auf, wo weiteres Forschungspotenzial zu finden ist. Anhand einer praktischen Laborstudie wird die These untermauert, dass durch eine noch genauere Vorauslegung kein essentieller Beitrag dazu geleistet wird, die tatsächliche Einsatzdauer zu erhöhen, sondern der Fokus weiterer Studien auf die Abschätzung realer Belastungen und ihrer Folgen gelegt werden sollte. Hierzu wird in einer abschließenden Testreihe gezeigt, wie mit Hilfe der Infrarotthermografie das Schädigungsverhalten unter dem Pflaster unter zyklischer Belastung visualisiert werden kann. Die Möglichkeit Risswachstum und lokale Schädigungen in der Klebefuge zeitgleich beobachten zu können, trägt dazu bei, das Verständnis des Langzeitverhaltens im Einsatz zu erhöhen.

CONTENTS

1	ADHESIVELY BONDED AIRCRAFT REPAIR	1
1.1	Maintenance Requirements	1
1.2	Service Conditions and Damage Review	4
1.3	Service Life Determination	7
1.4	Thesis Scope Definition	8
2	ANALYSIS AND BREAKDOWN OF THE OVERALL PATCH DESIGN PROCESS	11
2.1	The Fatigue Design Process	11
2.2	Theory of Crack Patching	19
2.3	The Fatigue Design Process of Bonded Patches	24
2.4	Service Life Extension of Bonded Patches	29
3	QUALITY ASSESSMENT OF PATCH DESIGN AND PERFORMANCE PREDICTION	33
3.1	Test Requirements	33
3.2	Preliminary Patch Design	37
3.3	Theoretical Fatigue Life	50
3.4	Test Description and Test Results	57
3.5	Comparing Theory and Practice	62
4	A METHOD TO IMPROVE THE PERFORMANCE PREDICTION	69
4.1	Requirements on the Monitoring System	69
4.2	The Method of Infrared Thermography	71
4.3	Derivation of the Test Procedure	77
4.4	Test Description and Test Results	82
4.5	Summary and Discussion	93
5	CONCLUSION	95
5.1	Summary	95
5.2	Outlook	97
	LIST OF ROMAN SYMBOLS	99

Contents

LIST OF GREEK SYMBOLS	101
LIST OF ACRONYMS	103
BIBLIOGRAPHY	105