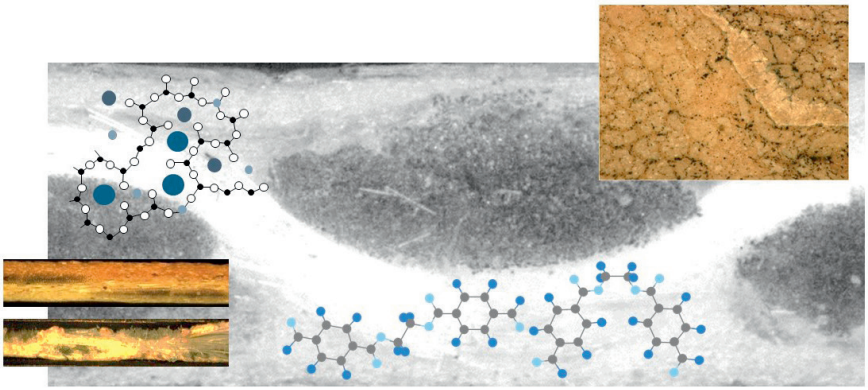
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

SCHRIFTENREIHE • HEFT 9
INSTITUT FÜR METALL- UND LEICHTBAU

Hastia Asadi



Strength deterioration of architectural fabrics under single and combined artificial weathering impacts

SHAKER
VERLAG

Strength deterioration of architectural fabrics under single and combined artificial weathering impacts

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Bauwissenschaften,
der Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

genehmigte Dissertation

von

Hastia Asadi M.Sc.

Referentin:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Mathias Ulbricht
Eingereicht:	08. Juni 2021
Mündliche Prüfung:	15. November 2021

Abteilung Bauwissenschaften der Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Institut für Metall- und Leichtbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner

Schriftenreihe Institut für Metall- und Leichtbau
Universität Duisburg-Essen
herausgegeben von
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner

Band 9

Hastia Asadi

Strength deterioration of architectural fabrics under single and combined artificial weathering impacts

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.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2021

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8562-4
ISSN 1867-6782

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

Nowadays, the application of coated fabrics as an architectural membrane material for lightweight structures is growing dramatically. Despite the fact that a lot of research has been carried out on the properties of these fabrics, yet broad assumptions are made in both material testing and modelling of the material behaviour. Under weathering, the degradation of these materials within the coating and its propagation to the fibres contributes to the loss of functional performance, mainly in terms of mechanical properties such as the tensile strength. The durability of the fabrics is also evaluated by the loss in mechanical performance. Till now, verified numbers for factors considering this strength reduction in the framework of either a national or an international standard are missing.

This thesis describes investigations into the uniaxial tensile strength deterioration of two common architectural coated woven fabrics, PET-PVC and glass-PTFE, exposed to various artificial weathering factors, alone or in combination. This survey is structured based on the combination of a review and original exploratory experimental research. The overview is required to provide the fundamental declaration of each layer of architectural fabrics' chemical compositions and their mechanisms of degradation under different weathering impacts.

The experimental investigation includes the evaluation of artificial ageing influences, first on PET reinforced PVC coated fabrics, and second on glass reinforced PTFE coated fabrics. The impact of water attack by two action mechanisms of chemical reactions and swelling-deswelling is assessed on the tensile strength deterioration. In this way, in-plane and out of plane water seepage and freeze-thaw cycles have been carried out to simulate the detrimental presence of humidity due to rain or snow in both normal and cold weathers. Furthermore, the uniaxial tensile strength sensitivity to different artificial weathering impacts has been determined. The chemical and physical changes of uncoated woven PET fabrics, as the load-bearing element of PET-PVC composite, have been traced by Fourier transform infrared spectroscopy and molecular weight measurements to construct a degradation pathway network model for estimation of possible degradation mechanisms.

The additional contribution of this thesis is the set of weathering-induced ageing modification factors derived from the artificial weathering test results in order to broaden the database in the frame of European design standardization.

Kurzfassung

Heutzutage nimmt die Anwendung von beschichteten Geweben als architektonisches Membranmaterial für Leichtbaukonstruktionen enorm zu. Trotz der Tatsache, dass viel über die Eigenschaften dieser Gewebe geforscht wurde, werden sowohl bei der Materialprüfung als auch bei der Modellierung des Materialverhaltens pauschale Annahmen getroffen. Unter Bewitterung trägt die Degradation dieser Materialien innerhalb der Beschichtung und ihre Ausbreitung auf die Fasern zum Verlust der funktionellen Leistung bei, hauptsächlich in Bezug auf die mechanischen Eigenschaften wie die Zugfestigkeit. Die Haltbarkeit der Gewebe wird auch durch den Verlust an mechanischer Leistung bewertet. Bislang fehlen jedoch verifizierte Zahlen für Faktoren, die diese Festigkeitsminderung im Rahmen einer nationalen oder internationalen Norm berücksichtigen.

Diese Arbeit beschreibt die Untersuchung der Abnahme der monoaxialen Zugfestigkeit von zwei gebräuchlichen architektonischen beschichteten Geweben, PET-PVC und Glas-PTFE, die verschiedenen künstlichen Bewitterungsfaktoren, allein oder in Kombination, ausgesetzt sind. Diese Untersuchung ist auf der Grundlage einer Kombination aus einer Literaturauswertung und -bewertung sowie einer experimentellen Grundlagenuntersuchung aufgebaut. Diese Übersicht dient der grundlegenden Erklärung der chemischen Zusammensetzungen der einzelnen Schichten von Architekturgeweben und ihrer Degradationsmechanismen unter verschiedenen Bewitterungseinflüssen.

Die experimentelle Untersuchung umfasst die Bewertung künstlicher Alterungseinflüsse an PET-verstärkten PVC-beschichteten Geweben und an glasverstärkten PTFE-beschichteten Geweben. Der Einfluss des Wasserangriffs durch die beiden Wirkmechanismen der chemischen Reaktionen und des Quellens-Abschwellens wird auf die Verschlechterung der Zugfestigkeit bewertet. Auf diese Weise sollen das Eindringen von Wasser in der Ebene und außerhalb der Ebene sowie Frost-Tau-Zyklen simuliert werden, um die nachteilige Anwesenheit von Feuchtigkeit durch Regen oder Schnee sowohl bei normalem als auch bei kaltem Wetter zu simulieren. Weiterhin wird die Empfindlichkeit der einachsigen Zugfestigkeit gegenüber verschiedenen künstlichen Bewitterungseinflüssen ermittelt. Die chemischen und physikalischen Veränderungen von unbeschichteten, gewebten PET-Geweben als tragendes Element des PET-PVC-Verbunds werden mittels Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie und Molekulargewichtsmessungen verfolgt, um ein Degradationspfad-Netzwerkmodell zur Abschätzung möglicher Degradations-mechanismen zu konstruieren.

Der zusätzliche Beitrag dieser Arbeit ist die Zusammenstellung von witterungsbedingten Alterungsmodifikationsfaktoren, die aus den Ergebnissen der künstlichen Bewitterungstests abgeleitet wurden, um die Datenbasis als Grundlage für die europäische Bemessungsnormung zu erweitern.

Preface and Acknowledgements

There are many who helped me along the way on this journey. I want to take a moment to thank them.

First, I would like to acknowledge the scholarship provided by University Duisburg-Essen for funding this thesis.

I wish to express appreciation to my advisors Professor Natalie Stranghöner and Professor Mathias Ulbricht for their support and motivation, and to my thesis committee members Professor Doru Lupascu, Professor Renatus Widmann, Professor Eugen Perau for their valuable insights and advice throughout this work. I would like to express my sincere gratitude to Dr. Jörg Uhlemann for his treasured constant support which was really influential in shaping my experimental studies and critiquing my results. Your help was extremely valuable.

I gratefully appreciate all the members of ELLF lab, who have shared and contributed in many ways to make life in the lab easier, especially Stefanie Schülpen, Thomas Homm, Andre Westerhoff, and Kinan Masoud.

Extra thanks are extended to Professor Thomas Schrader, Professor Mathias Ulbricht, and Professor Doru Lupascu who generously shared equipment and expertise and also Dr. Klaus Opwis, Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH for assistance with Yellowness index measurement.

My sincer thanks go to my friends Maryam Mirjalali, Farnoosh Hedayati, Aida Alehashemi, Amin Tolue, and also my colleagues at Institute for Metal and Lightweight Structures.

I am deeply grateful to my previous advisors, Professor Masoud Mirtaheri and Amir Peyman Zandi at K. N. Toosi University of Technology for all their supports.

I want to thank my family, Zhila Nashat, Mohammad Esmaeil Asadi, Soroush Asadi, and Behsa Asadi, for their endless love and being always there for me offering all kinds of encouragement and understanding.

Finally, to my boyfriend, Christoph Abraham: your love and understanding helped me through this step. It is time to celebrate; you earned this degree right along with me.

In the end, I would like to dedicate this work to all Iranian social activists, journalists, lawyers as well as ordinary people who sacrifice their lives for freedom.

Essen, in November 2021

Content

List of Figures

List of Tables

Symbols

Latin

f_{Ed}	the design membrane stress in the considered direction.
f_{Rd}	the design tensile strength of the membrane or the joint related to specific design situation
$f_{k,23}$	the 5 % fractile values of the short-term tensile strength at room temperature (23 °C)
$f_{k,23,virgin}$	the 5 % fractile values of the short-term tensile strength at room temperature (23 °C), virgin dry state
$f_{k,23,watered}$	the 5 % fractile values of the short-term tensile strength at room temperature (23 °C), watered state
k_i	modification factor based on prCEN/TS 19102:2020-10.
A_i	modification factor based on Sap report.
n_{23}	the short-term tensile strength at room temperature (23 °C) in virgin state
$n_{23,w}$	the short-term tensile strength at room temperature (23 °C) in weathered states
E	radiant energy of a photon
H	Plank's constant (6.62×10^{-34} Js)
c	velocity of light (3×10^{8} m/s)
I	radiant intensity
t	the exposure time and the flow time
P	Schwarzschild coefficient
T_g	glass-transition temperature
x_i	individual value of a series with n specimens
$f_{m,23}$	mean value of the test results for n tests
V_x	coefficient of variation
S	stressor
M	system-level mechanistic response
R	performance level response
r	Pearson's correlation coefficient
M_w	the average molecular weight
M_n	number average molecular weight
W_i	weight fraction of a polymer chain
M_{wi}	molecular weight of each individual polymer chain
X_i	mole fraction of each individual polymer chain length
w_a	water absorption rate
w_d	initial weight (dry state)
w_w	watered weight

Greek

γ_M	partial factor for resistance
γ_{M0}	partial factor for resistance of material
γ_{M1}	partial factor for resistance of joints
υ	frequency
α	effective UV radiation coefficient
η	intrinsic viscosity
η_r	relative viscosity
η_{inh}	inherent viscosity

Indexes

Latin

k	characteristic value
m	mean value

Numerical

23	room temperature 23°C
Virgin	virgin state
Watered	watered state

Abbreviations

ULM	ultimate limit state
PES	polyester
PET	polyethylene terephthalate
PVC	polyvinylchloride
BHET	bis(2-Hydroxyethyl) terephthalate
TPA	terephthalic acid
EG	ethylene glycol
DMT	dimethyl terephthalate
IUPAC	international union of pure and applied chemistry
PVDF	polyvinylidene fluoride
PVF	polyvinyl fluoride
PTFE	polytetrafluoroethylene
FEP	fluoroethylene propylene
UV	ultraviolet
SPD	spectral power distribution
AW	artificial weathering
WE	water exposure
SD	standard deviation
COV	coefficient of variation
L&DS	lifetime and degradation science approach
FTIR	Fourier-transform infrared spectroscopy