Schriftenreihe des Instituts für Werkstofftechnik Kassel

Michael Schlimmer, Walter Arnold

Zerstörungsfreie Detektion von Klebverbindungsfehlern mit Ultraschall und Untersuchung der Auswirkungen dieser Fehler auf die mechanische Beanspruchbarkeit der Verbindung

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2004
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3003-3
ISSN 1613-3498

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

Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war, eine zuverlässige und robuste Methode zur zerstörungsfreien Detektion von Klebverbindungsfehlern mit Ultraschall zu entwickeln und die Auswirkung dieser Fehler auf die mechanische Beanspruchbarkeit der Verbindungen zu untersuchen. Die Schwerpunkte der zerstörungsfreien Untersuchungen lagen dabei auf der Detektion von "kissing bonds" und der Fehlererkennung in dicken, zähelastischen, Klebschichten. Neben fertigungsbedingten Fehlern sollte auch die Erkennung betriebsbedingter Schädigung und der Schädigungsfortschritt detektierbar sein. Die Bestimmung der Fehlergröße, Art und Lage zur Abschätzung der verbleibenden Lebensdauer war ein weiteres Ziel.

Der fehlerfreie Zustand der Klebschicht wurde in Vorversuchen mit Hilfe von Rollenschälversuchen in Verbindung mit Ultraschall-Messungen definiert. Hierzu wurden in Abmessung und Lage definierte adhäsive und kohäsive Fehlstellen in Klebverbindungen eingebracht. Diese dienten zum einen zur Untersuchung ihrer Auswirkung in der Ultraschalltransmission und -reflektion und zum andern der reproduzierbaren Fertigung von Proben für die vergleichenden mechanischen Untersuchungen.

Die weiteren Untersuchungen wurden an stumpfgeklebten Rohrproben durchgeführt. Verbindungen mit zwei typischen Klebstoffen wurden untersucht, nämlich ein hochfester und -steifer Klebstoff auf Epoxidbasis (EP) und ein niedrigfester und -steifer auf Polyurethanbasis (PUR). Wie bei den Rollschälproben wurden definierte Fehlstellen als adhäsive und kohäsive Fehler in die Klebschicht eingebracht. Zur mechanischen Beanspruchung der Klebschicht wurden die Proben in einer servohydraulischen Prüfmaschine sowohl einer Torsions- als auch einer Axialbelastung unterworfen, was zu reiner Schub- bzw. zu Normalspannungsbeanspruchung der Klebschicht führte. Diese Versuche wurden an fehlerfreien und fehlerbehafteten Proben sowohl unter quasistatischer als auch unter schwingender Langzeitbeanspruchung durchgeführt.

Durch Kombination verschiedener Ultraschallverfahren war es möglich, Fehlstellen sowohl in EP- als auch erstmals in PUR-Klebschichten zuverlässig zu detektieren. Dabei konnte zwischen adhäsiven und kohäsiven Fehlstellen sowie solchen mit beiden Anteilen (Luftblase zwischen Grenzschicht und Klebstoff) unterschieden werden. Fehlstellen der Größe von ca. 0,5 mm und mehr konnten erkannt und örtlich auflöst werden. Während der mechanischen Beanspruchung der Klebschicht wurde sowohl das lineare als auch das nichtlineare Verhalten der Ultraschallreflexion und -transmission untersucht. Dabei konnte die Veränderung der Klebstoffeigenschaften („Verfestigung", „Entfestigung") bzw. die Rissbildungsphase eindeutig identifiziert werden.

Die mechanische Untersuchung von EP- und PUR-Klebverbindungen ergab, dass adhäsive und kohäsive Fehler bei quasistatischer Beanspruchung nur geringe, bei schwingender Beanspruchung aber je nach Beanspruchungshöhe erhebliche Auswirkungen auf die mechanischen Kennwerte und insbesondere die Lebensdauer beider Klebstoffsysteme haben.

Es konnte also gezeigt werden, dass es durch Kombination verschiedener Verfahren der Ultraschalltechnik gelingt, fertigungstypische Fehler in Klebverbindungen praxisrelevanter Klebstoffsysteme zuverlässig zu identifizieren. Die Ergebnisse der mechanischen Untersuchungen zur Auswirkung von Fehlern in der Klebschicht lassen erstmals eine Aussage hinsichtlich der Gebrauchsfähigkeit des Produktes unter unterschiedlichen Beanspruchungszuständen zu. Neben der Möglichkeit der wirtschaftlich notwendigen Qualitätssicherung, erlauben die Ergebnisse des Vorhabens so auch, die Betriebstauglichkeit des geklebten Produkts nach gewissen Nutzungsintervallen abzuschätzen.