

DISS. ETH No. 17767

**LONG TERM RELIABILITY OF ACTIVE FIBER
COMPOSITES (AFC)**

*A dissertation submitted to
ETH ZURICH*

*for the degree of
Doctor of Sciences*

presented by
Mark Myron Melnykowycz
MSc. Materials Science Michigan State University (MSU)
born March 22, 1978
citizen of The United States of America

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. P. Ermanni, examiner

Dr. Michel Barbezt, co-examiner

Prof. Dr. Edoardo Mazza, co-examiner

2008

Abstract

Active Fiber Composite (AFC) materials are composed of piezoelectric Lead Zirconate Titanate (PZT) fibers encased in an epoxy matrix. The combined mechanical and electrical properties of PZT make AFC ideal as sensor and actuation devices, which can be integrated into composite laminates. This enables the manufacture of structural composite laminates with active properties.

Although already studied as an actuation system, the sensor function and reliability of AFC has not been investigated. Furthermore, the fiber failure and fragmentation behavior has not been fully studied, and methods for improving the structural properties of AFC have not been proposed.

The current work uses mechanical characterization techniques to characterize AFC strain sensor behavior including fragmentation in the PZT fibers, the influence of electrode placement on fiber failure and how AFC integration affects the integrity of glass and carbon fiber laminates is also presented. While AFC integration affected composite laminate integrity, this impact could be mitigated by integrating AFC into cross-ply as opposed to woven laminates.

Active laminates with AFC were shown to exhibit excellent fatigue reliability so long as the integrity of the PZT fibers was not compromised. Fiber cracking occurs near electrode edges due to the modification of fiber material properties resulting from electrical polarization of the fibers. The use of a pre-stressed CFRP interface was used to effectively place PZT fibers in compression and thereby extend the strain region of the AFC.

Zusammenfassung

Active Fiber Composites (AFC) bestehen aus den Fasern des Lead Zirconate Titanate (PZT) welche in eine Epoxidmatrix eingebettet werden. Die Kombination von mechanischen und elektrischen Eigenschaften von PZT eignen sich ideal für Sensor und Betätigungs Vorrichtungen und können in Kunststoffe integriert werden. Dieses ermöglicht die Herstellung der AFC mit aktiven Eigenschaften.

Obwohl die Eigenschaften des AFC als Aktor-System zwar studiert wurden, fehlen Untersuchungen zur Sensor-Funktion und Zuverlässigkeit von AFCs. Außerdem wurde der Faserausfall und das Zerteilungsverhalten nicht vollständig erfasst und Methoden für das Verbessern der strukturellen Eigenschaften von AFC wurden nicht vorgeschlagen.

Die vorliegende Arbeit verwendet mechanische Charakterisierungs-Techniken um AFCs auf Belastung, Sensor-Verhalten einschließlich der Zerteilung in den PZT Fasern zu charakterisieren. Außerdem wird der Einfluss der Elektroden Platzierung auf Faserausfall und die Beeinflussung von AFC auf Glas und Carbon Faser Kunststoffe untersucht. Obwohl die Einbindung von AFC in Kunststoff- Verbundstoffe die Intaktheit beeinflusst hat, könnte eine AFC Einbindung in die cross-ply anstelle der woven laminate mildern.

Aktive, AFC versehen Kunststoffe haben eine ausgezeichnete Erschöpfungs-Beständigkeit aufgewiesen, solange die Intaktheit der PZT Fasern nicht gefährdet waren. Faserbrüche nahe den Enden der Elektroden gehen auf die Modifikation der Faser Materialien aufgrund der elektrischen Faserpolarisation zurück. Der Einsatz eines vorgespannten CFRP Anschlusses machte es möglich, die PZT Fasern effektiv komprimiert zu platzieren und somit die Spannungs-Region des AFC auszuweiten.