

Material Development for Friction Based Vibration Control

Doctoral Thesis

Author(s):

Ginés, Rebekka

Publication date:

2015

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010587636>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 22825

Material Development for Friction Based Vibration Control

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

REBEKKA GINÉS

MSc Mat. Sc., ETH Zurich

born on 18.03.1984

citizen of Hottwil (Aargau) & Spain

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. P. Ermanni, examiner
Prof. Dr. M. Motavalli, co-examiner
Prof. Dr. A. R. Studart, co-examiner
Dr. A. Bergamini, co-examiner

2015

Abstract

In this doctoral thesis the improvement of the damping capacity of an electrostatic tuneable friction damper is investigated by designing the properties of a newly developed dielectric material exhibiting a high permittivity with enhanced tribological properties. The presented semi-active damper consists of a lamella and a dielectric layer which are implemented into a light-weight structure, thus providing intrinsic mitigation to their inherent vibrations. A dielectric layer with an electrode is integrated into a structure while a reinforcing layer (carbon fibre reinforced lamella) is placed on top. Their reversible connection is achieved by an electric field between electrode and lamella. As the maximum shear stress is exceeded due to vibration, friction occurs between dielectric material and lamella resulting in a semi-active dissipative mechanism.

To increase the performance of such a semi-active damper the properties of the dielectric material are optimised through a careful design of its micro-structure to meet the requirements set by its engineering application, like permittivity, breakdown strength, static coefficient of friction and wear. The challenge in the optimisation lies in the contradictory nature of the desired properties. By increasing the permittivity of a material normally the breakdown strength is reduced. Similar behaviour is experienced for the tribological behaviour. The materials resistance to wear is reduced if the coefficient of friction is increased, reducing its lifetime. The resulting micro-structure addresses this complex trade-off, ultimately resulting in a new material with previously unavailable characteristics.

In the first part of this thesis the development of a device to measure the static coefficient of friction between two thin laminae is presented, as no commercial available apparatus exists addressing the specific requirements of the damper. The device's performance with mechanically applied loads and under electric fields was tested for different polymer foils. The characterisation of the static coefficient of friction forms part of a set of characterisation methods for comparison in the development of a new dielectric layer in the intended application.

The second part of this thesis is devoted to the design of the micro-structured material combining dielectric and tribological properties, two fields that have not been combined previously to the authors knowledge. A systematic approach exploring the effects of different particles in a polymeric matrix, with high and low concentrations is followed. In addition to processing difficulties it is demonstrated how a two phase composite is not capable to fulfil both set of properties. To address the trade-off shown by the dielectric and tribological properties a multifunctional material is designed. It is specifically developed to overcome the penalties in abrasion resistance resulting from adding a ceramic phase to a polymeric matrix to increase its permittivity, by the addition of a third phase, which is comprised by ceramic platelets aligned out-of-plane.

In the last stage of this thesis the new developed composite material is implemented in a structure demonstrating that the improved properties lead to a superior damping performance compared to a commercial polymer foil. A comparison between the commercial benchmark (i.e. PVDF) and the novel material is carried out gluing foils onto the flanges of an I-beam. The effectiveness of the developed material is assessed by studying the variation of the structure's eigenfrequencies under different electric fields. A similar stiffening effect for an increasing field could be observed for both materials, where lower levels of electric field were required by the new material highlighting its increased applicability. Additionally, comparable or higher values for the damping ratio are achieved with the new composite material.

The properties of a dielectric material developed in this work have been improved leading to a reduction in working voltages in an electro-

static tuneable friction damper. This allows for a much wider applicability of this damping mechanism. Moreover, the lower electric field levels allows for this material to be implemented cheaply in civil engineering structures increasing their safety.

Zusammenfassung

Die vorliegende Doktorarbeit befasst sich mit der Optimierung der Dämpfungsfähigkeit eines elektrostatisch veränderbaren Reibdämpfers. Die Optimierung wird durch die Entwicklung eines neuen dielektrischen Materials mit einer hohen Permittivität und verbesserten tribologischen Eigenschaften erreicht. Der dieser Arbeit zugrundeliegende semi-aktive Dämpfer besteht aus einer Lamelle und einer dielektrischen Schicht, welche in eine Leichtbaustruktur eingebaut werden um dessen Schwingungen zu reduzieren. Eine dielektrische Schicht mit Elektrode wird fest eingebaut, die Lamelle (karbonfaserverstärkter Kunststoff) wird hingegen nur auf das Dielektrikum gelegt. Eine reversible Verbindung zwischen Lamelle und dielektrischer Schicht wird mittels eines elektrischen Feldes zwischen Lamelle und Elektrode erzeugt. Sobald die maximal übertragbare Schubspannung zwischen Lamelle und Dielektrikum durch Schwingungen der Struktur überschritten wird, wird durch Reibung Energie dissipiert.

Um die Leistung eines solchen semi-aktiven Dämpfers zu erhöhen, werden die Eigenschaften der dielektrischen Schicht gemäss den Anforderungen der Anwendung optimiert. Diese Anforderungen sind insbesondere die Permittivität, Durchschlagsfestigkeit, statischer Reibkoeffizient sowie Abrieb. Die Herausforderung hierbei liegt in den widersprüchlichen Eigenschaften welche es zu optimieren gilt. Mit der Erhöhung der Permittivität wird im Allgemeinen die Durchschlagsfestigkeit herabgesetzt. Die tribologischen Eigenschaften zeigen ein ähnliches Verhalten, da die Abriebfestigkeit mit der Erhöhung des Reibkoeffizienten reduziert

wird, was sich auf die Lebensdauer des Materials auswirkt. Die sich aus diesem Konflikt ergebende Mikrostruktur resultiert in einem Material mit bisher unerreichten Merkmalen.

Der erste Teil dieser Dissertation beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Gerätes zur Bestimmung des statischen Reibkoeffizienten zwischen zwei dünnen Schichten aufgrund eines fehlenden kommerziellen Messapparates mit den entsprechenden Anforderungen der dieser Arbeit zugrunde liegenden Dämpfers. Die Funktionsfähigkeit des entwickelten Messapparates wurde mittels kommerziellen Polymerfolien unter mechanischen Lasten sowie elektrischen Feldern überprüft. Die Bestimmung des statischen Reibkoeffizienten bildet einen Teil einer Reihe Charakterisierungsmethoden für den Vergleich der neuen dielektrischen Schichten.

Der zweite Teil dieser Arbeit widmet sich der Entwicklung eines mikrostrukturierten Materials, welches die dielektrischen sowie auch tribologischen Eigenschaften verbindet. Diese zwei Felder wurden, soweit bekannt, bisher noch nicht kombiniert. Die resultierenden Effekte durch die Zugabe unterschiedlicher Partikel in tiefen sowie hohen Konzentrationen in eine polymere Matrix wurden untersucht. Nebst Herstellungsschwierigkeiten, wird auch gezeigt, dass ein zwei Phasen Verbundwerkstoff nicht ausreicht um beiden Eigenschaftsfeldern zu genügen. Erst die Entwicklung eines multifunktionalen Materials wird dem widersprüchlichen Verhalten gerecht. Um die Permittivität zu erhöhen, wurden keramische Partikel hinzugefügt. Die dadurch entstandenen Einbussen in der Abriebfestigkeit werden durch eine dritte Komponente, durch aus der Ebene ausgerichtete Plättchen überwunden.

Im letzten Teil dieser Arbeit wird das neu entwickelte Material in eine Struktur implementiert indem Folien aus dem Verbundwerkstoff auf den Flansch eines Kragbalkens geklebt werden. Die verbesserten Eigenschaften der dielektrischen Folie werden anhand einer erhöhten Dämpfleistung im Vergleich zu einer kommerziell erhältlichen Polymerfolie demonstriert. Die Leistungsfähigkeit des entwickelten Materials wird durch die Untersuchung der Änderung der Eigenfrequenzen der Struktur unter unterschiedlich angelegten elektrischen Feldern gemessen. Bei beiden Materialien wurde mit zunehmendem elektrischem Feld ein Versteifungs-

effekt beobachtet. Im Vergleich zu PVDF wurde dieser Effekt beim neuen multifunktionalen Material bei tieferen elektrischen Feldern gemessen, was dessen Anwendbarkeit erhöht. Überdies wurden mit dem neuen Verbundwerkstoff vergleichbare oder höhere Dämpfungsgrade erreicht.

Durch die optimierten Eigenschaften des in dieser Arbeit entwickelten dielektrischen Materials, kann die Arbeitsspannung im elektrostatisch veränderbaren Dämpfer reduziert werden. Dies ermöglicht eine breite Anwendbarkeit dieses Dämpfungsmechanismus. Darüber hinaus ermöglichen diese tieferen elektrischen Felder einen kostengünstigen und sichereren Einbau im Bauwesen.