



Doctoral Thesis

Damping technologies for automotive panel structures

Author(s):

Liu, Yi

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006849811> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DAMPING TECHNOLOGIES FOR AUTOMOTIVE PANEL STRUCTURES

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
YI LIU
Master of Science
born on September 20, 1981
citizen of People's Republic of China

accepted on recommendation of
Prof. Dr. P. Ermanni, examiner
Prof. Dr. F. Gandhi, co-examiner
Dr. M. Mantovani, co-examiner
Dr. M. Zogg, co-examiner

2011

Abstract

Nowadays, particular attention is devoted to the vibroacoustic comfort of vehicles in automotive industry. Various panels in the automobile, which are liable to vibration problems, are often treated with damping measures. A prevalent method is to attach viscoelastic materials (VEM) on the surfaces of the panels. Nevertheless, this approach has some drawbacks like marked weight and limited effective range in frequency domain.

This thesis targets developing novel damping approaches for these automotive panel structures with competitive damping performance, while regarding the strict demand on weight-cost efficiency. At the beginning, screening tests were performed from a wide approach spectrum based on various physical principles. The focus was then concentrated to several interesting approaches and finally to an unique approach. The project can be divided into four phases.

In the first phase of the thesis, 35 configurations based on 7 principal damping categories were investigated experimentally on an aluminum beam with the dimension of $200 \times 40 \times 1 \text{ mm}$. A test rig was developed for the measurement in time domain. The results were compared considering the specific damping-weight performance in low frequency ranges. According to the results, the investigation range was diminished to three approaches for the second phase: Interface damping (ID) attains damping with the special arrangement of common VEM at the joint interface. Active constrained layer damping (ACLD) employing piezoelectric elements together with VEM provides a possibility of lightweight damping with high loss factors. Particle damping (PD) exhibits reliable damping with a simple and cost-efficient configuration.

In this second phase, the three approaches were further assessed with a more realistic configuration composed of panel and periphery. Another test rig enabling measurements in a wide frequency range was developed and utilized. The specimen was extended from a beam to an aluminum plate with the dimension of $400 \times 300 \times 1 \text{ mm}$. The results were compared with respect to the damper type and specimen resonance origins. The sectional damper ACLD and PD show some similar characteristics. They are efficient for some specific plate modes by achieving composite loss factors up to 5%. Some local modal loss factors of the sectional dampers are higher than ID of 2.7-3.6% at these plate modes, while their average damping for all modes is inferior to ID. Conversely, ID accomplishes a better universal damping at every eigenmode in a wide frequency range with loss factors of 2.7-4.2% in comparison to ACLD and PD of 1.3-3.1%. Moreover, extraordinary benefits for the real application can be reaped by ID: The global modes at which substantial vibration is transmitted from periphery

to the plates can be well attenuated with ID.

Thus, ID was selected as the most interesting approach and further characterized in the third phase. Instead of experiments, the influence of the interface's material and geometry properties on the system vibration behavior was systematically analyzed by means of simulation. It can be concluded that a soft and highly viscoelastic interface with great thickness-width ratio is superior in terms of attenuation. 16 different interface concepts were designed and evaluated on beams in the simulation. Remarkable potential of damping can be envisioned by saving considerable VEM weight concurrently.

Lastly, the feasibility of ID in real environment is exhibited with the simulation on a real vehicle panel: a spare wheel pan (SWP) made of glass mat reinforced thermoplastic (polypropylene) with the volume of ca. $623 \times 657 \times 73$ mm. Butyl rubber ID and four commercial adhesives were applied on the SWP with a periphery frame under same boundary conditions. The vibration behavior of the SWP doesn't vary significantly with different soft and stiff adhesives, where no pronounced damping can be perceived. Only the butyl ID suppresses the resonances notably with the amplitude decay of 4-12 dB at all modes. A compromised option, which provides acceptable performance for damping and mechanical requirements, is to combine both structural adhesives and butyl ID at the interface.

Zusammenfassung

Der Bedarf nach akustischem Komfort im Fahrzeug ist in den letzten Jahrzehnten ständig gewachsen und hat die Aufmerksamkeit der Automobilindustrie in steigendem Masse auf sich gezogen. Zu Schwingungen neigende Paneele im Automobil werden mit verschiedenen Methoden gedämpft. Eine geläufige Methode ist es, viskoelastisches Material (VEM) auf die Oberflächen dieser Paneele anzubringen. Dieser Ansatz bringt allerdings einige Nachteile mit sich, wie deutliche Gewichtszunahme und eingeschränkter effektiver Frequenzbereich.

Diese Arbeit befasst sich mit den Untersuchungen innovativer Dämpfungsverfahren für Paneelestrukturen mit hohem Dämpfungsgrad unter der Berücksichtigung von strikten Leistungsanforderungen bezüglich des Gewicht-Kostenverhältnis. Zahlreiche Methoden, die auf einem weiten Spektrum von unterschiedlichen physikalischen Prinzipien basieren, wurden am Anfang des Projekts untersucht. Drei interessante Verfahren wurden entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit ausgesucht und vertieft erforscht. Schliesslich wurde auf eine einzige Methode fokussiert. Die Arbeit kann in vier Hauptphasen gegliedert werden.

In der ersten Phase des Projekts wurden 35 Konfigurationen aus sieben Hauptdämpfungsarten mit Experimenten an einem Aluminiumbalken mit den Abmessungen von $200 \times 40 \times 1 \text{ mm}$ aufgegriffen. Ein Prüfstand für die Messung in Zeitbereich wurde entwickelt. Die Ergebnisse wurden im niedrigen Frequenzbereich miteinander verglichen. Angesichts der spezifischen Dämpfung-Gewichtseffizienz, wurde der Untersuchungsumfang auf drei Verfahren reduziert: Schnittstellendämpfung (ID) verringert die Vibration durch die spezielle Anordnung von VEM an der Schnittstelle von Paneel zu Umgebung. Active constrained layer damping (ACLD) erreicht einen hervorragenden Verlustfaktor für die Leichtbaustruktur mithilfe kombinierter Anwendung von VEM und Piezoelementen. Partikeldämpfung (PD) bietet zuverlässige Dämpfung mit einfacher und kostengünstiger Bauform.

Diese drei Ansätze wurden in der zweiten Projektphase unter realitätsnahen Randbedingungen mit Paneel und Peripherie weiter untersucht. Ein zweiter Prüfstand für die Messung bei höheren Frequenzen wurde entwickelt und eingesetzt. Die Probe wurde von einem Balken zu einer Aluminiumplatte mit den Dimensionen von $400 \times 300 \times 1 \text{ mm}$ erweitert. Die Resultate wurden in Anbetracht des Dämpfertyps und der Resonanzquelle verglichen. Die partiellen aufgebrachtten Dämpfer ACLD und PD besitzen etliche ähnliche Eigenschaften. Sie sind beide effizient für gewisse Plattenmodes und erreichen einen strukturellen Verlustfaktor von bis zu 5 %. Ihre lokalen Modal-Verlustfaktoren sind

höher als ID (2.7-3.6%) bei diesen Plattenmodes, wobei der durchschnittliche Dämpfungsgrad für alle Modes kleiner ist. Demgegenüber leistet ID eine bessere gemittelte Dämpfung mit den Verlustfaktoren von 2.7-4.2% in einem breiten Frequenzspektrum im Vergleich zu ACLD und PD (1.3-3.1%). Zusätzliche Vorteile ergeben sich durch den Einsatz von ID, indem die globalen Modes, bei welchen die wesentlichen Schwingungen von der Peripherie herrühren und zum Paneel übertragen werden, mit ID gedämpft werden können.

Aus diesen Gründen wurde ID als die vielversprechenste Methode ausgewählt und in der dritten Phase vertieft. Anstatt des Experiments wurden die Einflüsse von Werkstoffeigenschaften bzw. Geometrie der Schnittstelle auf das Schwingungsverhalten des kompletten Systems durch eine systematische parametrische Studie mit Simulationen bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine weiche Schnittstelle mit hohem Verlustfaktoren und mit einem grossen Dicke-Breiteverhältnis vorteilhaft für die Dämpfung ist. 16 neuartige Schnittstellengestaltungen wurden konzipiert und in der Simulation an Balken evaluiert. Grosses Potential kann mit der besten Variante erwartet werden. Gleichzeitig kann das Gewicht von VEM bei dieser Anordnung beachtlich reduziert werden.

In der letzten Phase wurde die Anwendbarkeit von ID durch seine Verwendung an einer reeller Struktur nachgewiesen. Dies wurde anhand einer Reserveradmulde (SWP), welche aus mit Glassmatten verstärktem Thermoplasten (Polypropylen) besteht und ein Volumen von ca. $623 \times 657 \times 73 \text{ mm}$ besitzt, durchgeführt. Vier kommerziell erhältliche Klebstoffe und ID mit Butylkautschuk wurden an der SWP zusammen mit einem Aluminiumrahmen appliziert und unter gleichen Randbedingungen ausgewertet. Die Vibrationskonstellation an der SWP ändert sich nicht gravierend mit den verschiedenen weichen oder steifen Klebern. Keine merkbare Dämpfung ist vorhanden mit lediglich nachgiebiger Schnittstelle. Jedoch unterdrückt ID mit Butylkautschuk alle Resonanzen in Amplitudenbereich um 4-12 *dB*. Um die mechanische sowie Schwingungsanforderungen zu erfüllen, eine Kompromisslösung ist es, die strukturellen Klebstoffe und Butylkautschuk ID an der Schnittstelle zu kombinieren.