

УДК 534.833

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫХ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ С ТОНКИМ АРМИРУЮЩИМ СЛОЕМ

В. Ю. Кирпичников, А. П. Кошечев, А. И. Сятковский*

Крыловский государственный научный центр, 196158 Санкт-Петербург, Россия

* ОАО "Пластполимер", 195197 Санкт-Петербург, Россия

E-mails: sotnik26@bk.ru, kapet1@rambler.ru, nauka@plastpolymer.com

Представлены результаты экспериментального исследования эффективности армированных вибропоглощающих покрытий, содержащих тонкий вязкоэластичный полимерный слой с высокой демпфирующей способностью и армирующие слои различной толщины. Проведены измерения вибровозбудимости стальных пластин в отсутствие или при наличии вибропоглощающего покрытия на их поверхности. Показано, что нанесение исследуемого покрытия позволяет значительно уменьшить вибрацию и звукоизлучение пластинчатых элементов конструкций.

Ключевые слова: вибропоглощение, вибровозбудимость, армирующие покрытия, резонансные частоты, вязкоупругий слой.

DOI: 10.15372/PMTF20200609

Введение. Одним из основных способов улучшения акустических характеристик транспортных средств и механизмов является облицовка пластинчатых элементов их корпусных и внутрикорпусных конструкций (далее — пластин) вибропоглощающими покрытиями (ВПП). Наиболее широкое применение находят армированные ВПП, состоящие из диссипативного слоя вязкоупругого материала и армирующего металлического слоя. Введение полимеров с высокими диссипативными свойствами в состав такого покрытия способствует быстрому затуханию возникающих в демпфируемой пластине вибрационных процессов и снижению амплитуды колебаний в частотных областях резонансов. Изучение влияния геометрических параметров трехслойных структур металл — полимер — металл на их вибродемпфирующие характеристики показало, в частности, что увеличение толщины вязкоупругого слоя не всегда приводит к улучшению диссипативных свойств всей конструкции, которые определяются более общим параметром — соотношением толщин вязкоупругого и армирующего слоев [1, 2]. Кроме того, эффективность вибродемпфирования пластин, покрытых полимерным слоем с фиксированными геометрическими размерами, зависит от материала и толщины армирующего слоя. Коэффициент потерь в облицованных ВПП пластинах пропорционален жесткости армирующего слоя [3, 4].

В то же время в покрытиях с тонкими металлическими армирующими слоями (типа алюминиевой фольги), как правило, используются вязкоупругие слои достаточно большой толщины ($1,5 \cdot 10^{-3} \div 3,0 \cdot 10^{-3}$ м), поскольку в этом случае имеют место наибольшие потери колебательной энергии [4]. Однако эти результаты относятся к армированным по-

крытиям, в которых в качестве вязкоупругого слоя используются полимерные связующие с относительно малым коэффициентом механических потерь (например, полимербитумные связующие с коэффициентом механических потерь порядка 0,6 [3]).

В последнее время для уменьшения толщины и массы армированных ВПП и увеличения их эффективности в качестве вязкоупругого материала применяется полимерная пленка на основе поливинилацетата производства ОАО “Пластполимер”, коэффициент механических потерь которой при температуре максимального вибродемпфирования равен $2,0 \div 3,0$ [5]. Армирующий слой изготавливается из металлических листов, толщина которых соизмерима с толщиной демпфируемой конструкции, вследствие чего, как правило, затруднено придание покрытиям криволинейной формы.

Вместе с тем во многих случаях возникает необходимость использования тонких эффективных покрытий, имеющих малую массу и способных после нанесения “повторять” криволинейную форму демпфируемой конструкции. Целью настоящей работы является исследование возможности создания эффективных тонких вибропоглощающих покрытий, содержащих вязкоупругие слои из материалов с большим коэффициентом внутренних потерь. Проводится обобщение результатов экспериментальных исследований эффективности армированных ВПП, обладающих указанными свойствами.

Эксперимент. Исследованы ВПП с армирующим слоем в виде стального листа толщиной $1,2 \cdot 10^{-4}$ м (ВПП 1), алюминиевой фольги толщиной 10^{-5} м (ВПП 2), 10^{-4} м (ВПП 3), $2 \cdot 10^{-4}$ м (ВПП 4), $3 \cdot 10^{-4}$ м (ВПП 5) и фольма-ткани П280, представляющей собой алюминиевую фольгу толщиной $2 \cdot 10^{-5}$ м, одна из поверхностей которой упрочнена стеклотканью (ВПП 6). В качестве вязкоупругого материала покрытий использовалась пленка ВПС-2,5 из поливинилацетата толщиной $5 \cdot 10^{-4}$ м.

Эффективность покрытий определялась по разности уровней входной вибровозбудимости находящейся в воздухе стальной пластины в отсутствие и при наличии покрытия на одной из поверхностей. Под входной вибровозбудимостью A/F понимается уровень виброускорения $A = 20 \lg (aF_0/(a_0F))$, где $a_0 = 10^{-6}$ м/с² — пороговое значение ускорения a в точке возбуждения пластины с помощью миниатюрного вибромолотка; F — сосредоточенная поперечная сила, Н; $F_0 = 1$ Н — амплитуда изменения силы F . Измерения проводились в диапазоне, содержащем низшие резонансные частоты изгибных колебаний испытываемой пластины.

Результаты исследования. Испытания шести указанных выше ВПП проведены с использованием пластины с размерами $0,520 \times 0,380 \times 0,003$ м, закрепленной на монтажной рамке (рис. 1). ВПП 2–6 наносились на пластину после демонтажа предыдущего покрытия и очистки ее поверхности. Масса пластины составляла 4,62 кг. Размеры покрытий в плане равны $0,38 \times 0,29$ м, а их площадь приблизительно равна 56 % площади пластины.

На рис. 2 приведены узкополосные ($\Delta f = 0,25$ Гц) спектры входной вибровозбудимости пластины в отсутствие и при наличии ВПП 1. Измерения выполнены в точках, находящихся в зонах пучностей форм изгибных колебаний четырех низших резонансных частот. На рис. 2 указаны значения частоты, при которых достигаются максимальные значения входной вибровозбудимости A/F . Отношение μ массы данного ВПП к массе пластины приблизительно равно 4 %.

Анализ полученных результатов показал, что облицовка пластины ВПП 1 приводит к уменьшению максимумов в спектрах входной вибровозбудимости на величину, приблизительно равную 25 дБ. На пяти низших резонансных частотах $f = 154, 244, 322, 398, 435$ Гц коэффициент потерь колебательной энергии в пластине в среднем увеличился от значения $\eta = 3 \cdot 10^{-3}$ до значения $\eta \approx 0,04$.

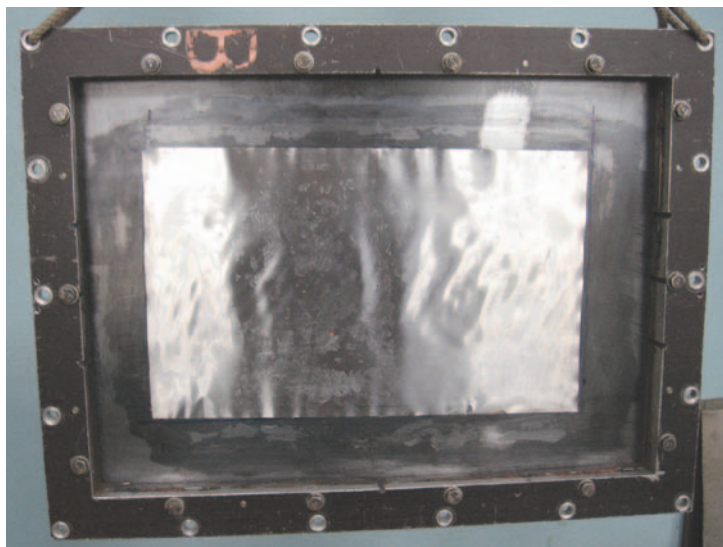


Рис. 1. Закрепленная на монтажной рамке стальная пластина, используемая для измерения вибровозбудимости ВПП

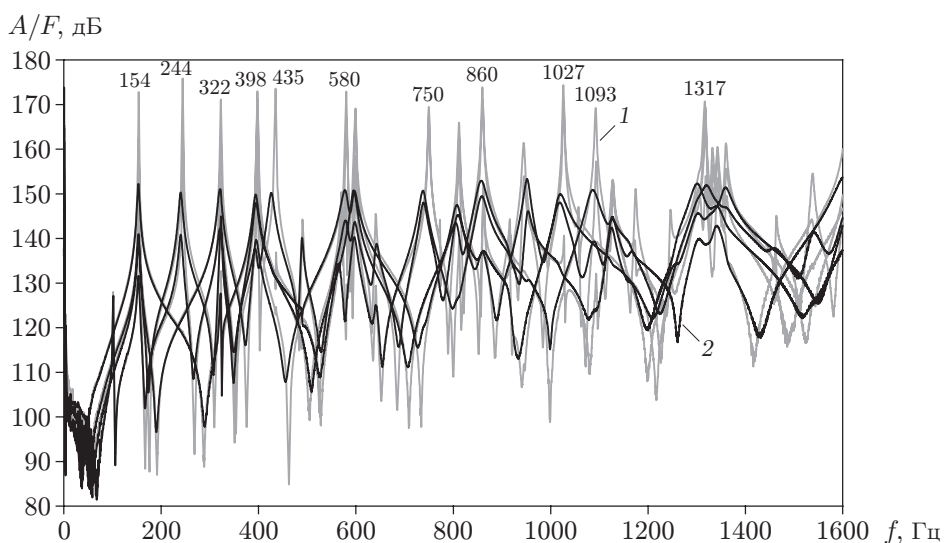


Рис. 2. Узкополосные спектры входной вибровозбудимости пластины в отсутствие (1) и при наличии (2) ВПП 1

При определении эффективности ВПП 2–5 с алюминиевой фольгой в качестве армирующего слоя получены следующие результаты:

— в случае облицовки пластины ВПП 2 с толщиной фольги 10^{-5} м ($\mu = 1,6$ %) значение входной вибровозбудимости пластины уменьшается на величину $1 \div 3$ дБ;

— в диапазоне резонансных частот $f = 0 \div 1600$ Гц уменьшения наибольших уровней A/F для ВПП 3 ($\mu = 2,2$ %) и ВПП 4 ($\mu = 2,9$ %) в среднем оказались практически одинаковыми и были меньше, чем в случае ВПП 1, приблизительно на 2 дБ; наиболее существенное (до 5 дБ) различие значений A/F для ВПП 3, 4 и ВПП 1 зарегистрировано на трех низших резонансных частотах;

— эффективность ВПП 5 с фольгой толщиной $3 \cdot 10^{-4}$ м ($\mu = 3,6$ %) практически такая же, как эффективность ВПП 1.



Рис. 3. Зависимости уменьшения входной вибровозбудимости (1) и звукового давления (2) от частоты для ВПП 6

Эффективность покрытия с фольма-тканью в качестве армирующего слоя (ВПП 6) определялась с использованием двух стальных пластин, имеющих размеры в плане $1,00 \times 0,75$ м и толщину $7 \cdot 10^{-4}$ м [6]. Сравнивались виброшумовые характеристики пластин без покрытия и с армированным ВПП.

На рис. 3 приведены зависимости уменьшения входной вибровозбудимости и звукового давления в третьоктавных полосах от частоты для ВПП 6. Средние по 27 третьоктавным полосам со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 25 Гц до 10 кГц величины уменьшения входной вибровозбудимости пластины в ее геометрическом центре и звукового давления на расстоянии 1 м от ее поверхности составили приблизительно 12 и 7 дБ соответственно.

На завершающем этапе работы были испытаны армированные ВПП с диссипативным слоем на основе полимербитумных связующих марок StP Aero и StP Aero Plus толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ и $3 \cdot 10^{-3}$ м соответственно. Относительная масса покрытий μ составляла 6,3 и 9,4 % соответственно. При существенно больших толщине и массе этих покрытий их эффективность не превышает эффективности ВПП 3, 4 с полимерной пленкой из поливинилацетата.

Закключение. Полученные в работе результаты свидетельствуют о возможности значительного уменьшения низкочастотной вибрации и звукоизлучения пластинчатых элементов конструкций за счет использования более тонкого по сравнению с существующими покрытиями армированного ВПП, состоящего из вибропоглощающей полимерной пленки типа ВПС-2,5 на основе поливинилацетата и армирующего слоя с небольшой изгибной жесткостью, изготовленного, например, из алюминиевой фольги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hujare P. P., Sahasrabudhe A. D. Effect of thickness of damping material on vibration control of structural vibration in constrained layer damping treatment // Appl. Mech. Materials. 2014. V. 592–594. P. 2031–2035.
2. Zhon X. Q., Yu D. Y., Shao X. Y., et al. Research and applications of viscoelastic vibration damping materials: A review // Composite Structures. 2016. V. 136. P. 460–480.

3. **Selvakumar G., Sampathkumar N.** Passive viscoelastic constrained layer damping for beams // GRD J. Engng. 2017. V. 21, N 2. P. 14–17.
4. **Авдонин В. В.** Вибропоглощающие композиционные покрытия: Дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2015.
5. **Алексеев С. А., Сятковский А. И.** Вибродемпфирующие свойства полимерных пленок // Судостроение. 2015. Вып. 6. С. 45–46.
6. **Кирпичников В. Ю., Сятковский А. И., Дроздова Л. Ф., Шашурин А. Е.** Экспериментальные исследования эффективности вибропоглощающего покрытия // Безопасность жизнедеятельности. 2019. Вып. 2. С. 33–39.

*Поступила в редакцию 4/III 2020 г.,
после доработки — 19/III 2020 г.
Принята к публикации 30/III 2020 г.*
