



УДК 628.517.2.699.844

**ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ
ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ**

Ю.В. СЫТЫЙ

кандидат технических наук

В.А. Сагомонова

В.И. Кислякова

В.А. Большаков

Март 2013

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Первая публикация статьи - в журнале «Авиационные материалы и технологии», №2, 2012 г.

Данная редакция (дополненная, переработанная) подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ», №3, 2013 г.

УДК 628.517.2.699.844

Ю.В. Сытый, В.А. Сагомонова, В.И. Кислякова, В.А. Большаков

ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ

Для уменьшения отрицательного воздействия вибрации на пассажиров, пилотов и микроэлектронику самолетов используются вибропоглощающие материалы. В ВИАМ выпускаются вибропоглощающие материалы на основе термопластов и термоэластопластов, обладающие высокими демпфирующими свойствами.

Ключевые слова: *вибропоглощение, шум, вибрация, вибропоглощающие материалы, коэффициент механических потерь, термоэластопласт.*

Y.V. Syty, V.A. Sagomonova, V.I. Kislyakova, V.A. Bolshakov

NOVEL VIBROABSORBING MATERIALS

The vibroabsorbing materials are used for decreasing the negative effect upon passengers, pilots and aircraft electronics. VIAM produces vibroabsorbing materials based on thermoplastics and thermoelastoplastics, possessing high damping properties.

Key words: *vibroabsorption, noise, vibration, vibroabsorbing materials, mechanical loss coefficient, thermoelastoplastic.*

В различных отраслях промышленности – космической, транспортной, автомобильной, строительстве большое внимание уделяется разработке новых эффективных средств борьбы с вибрациями и возбуждаемым ими шумом [1–6]. В особенности эта проблема актуальна в авиации, так как снижение вибрации и повышение акустической комфортности в кабине экипажа и пассажирском салоне является одним из факторов, определяющих конкурентоспособность самолетов.

Один из эффективных способов снижения уровня шума и вибрации в кабине экипажа и пассажирском салоне – применение вибропоглощающих материалов в виде покрытий, которые наклеиваются на внутреннюю поверхность панелей фюзеляжа, перегородки и другие конструкции самолета, испытывающие повышенный уровень виброакустических нагрузок.

Наиболее эффективными вибропоглощающими материалами (ВПМ) являются полимерные материалы, обладающие способностью к диссипации внешней акустической энергии, обусловленной особенностями их молекулярного и надмолекулярного строения. В основном, в авиации для демпфирования применяются каучуки, резины и слоистые материалы на их основе.

Для количественной оценки демпфирующих свойств полимерных материалов используют тангенс угла механических потерь ($\text{tg}\delta$), коэффициент механических потерь (η), компоненты комплексного модуля упругости – динамический модуль упругости (E') и динамический модуль механических потерь (E''). Эти характеристики связаны между собой соотношением $\text{tg}\delta=\eta=E''/E'$ [7].

Уровень вибропоглощения характеризуется коэффициентом механических потерь (или тангенсом угла механических потерь – $\text{tg}\delta$). основополагающими параметрами любого полимерного вибропоглощающего материала являются $\text{tg}\delta$ и температура, соответствующая максимальному значению этой характеристики ($T_{\text{tg}\delta_{\text{max}}}$). Известно также, что коэффициент механических потерь полимеров не является константой, он значительно зависит от температуры и частоты колебаний. В связи с этим значения $\text{tg}\delta$ принято приводить при определенной температуре и частоте.

Максимальные потери механической энергии ($\text{tg}\delta_{\text{max}}$) в полимерах проявляются в области перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое, т. е. в области размораживания сегментальной подвижности, положение которой на шкале температур определяется температурой стеклования. При частотах >1 Гц значения $T_{\text{tg}\delta_{\text{max}}}$, как правило, лежат выше T_c [8–12].

Кроме высокого коэффициента механических потерь, вибропоглощающие материалы, предназначенные для применения в авиации, должны иметь оптимальную поверхностную плотность, адгезию, стойкость к воздействию повышенной влажности и температуры, низкое водопоглощение, отвечать требованиям пожарной безопасности по горючести, а также быть экологичными и технологичными. Очевидно, что вышеперечисленные требования значительно сужают круг возможных исходных полимерных материалов для создания ВПМ авиационного назначения.

Существуют разнообразные подходы к созданию материалов, характеризующихся высоким вибропоглощением в широком диапазоне температур, на основе полимеров: сополимеризация, создание взаимопроникающих сеток (ВПС) и полу-ВПС, введение наполнителей и других добавок, структурирование и создание слоистых ВПМ.

В последние десятилетия ведется поиск новых вибропоглощающих полимерных материалов, способных заменить каучуки и резины. При исследованиях наибольшее внимание уделяется разработке ВПМ на основе термоэластопластов ввиду их высокой эластичности, в том числе при отрицательных температурах (до -60°C), и способности (в отличие от резин) перерабатываться литьем под давлением и экструзией как обычные термопласты.

В ВИАМ разработаны листовые вибропоглощающие материалы марок ВТП-1В и ВТП-2В на основе термоэластопластов и термопластов.

Вибропоглощающий листовый материал ВТП-1В получают методом экструзии расплава композиции на основе термоэластопласта со специальными добавками, по-

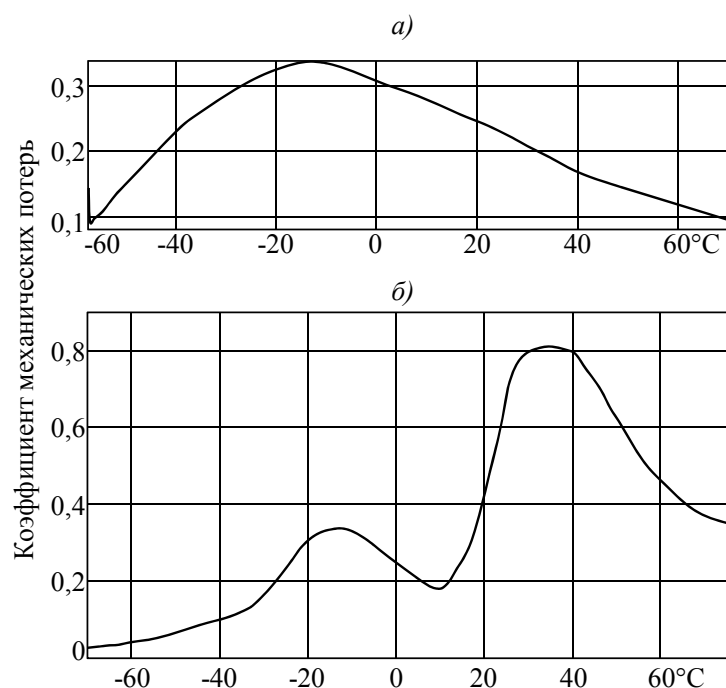


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента механических потерь вибропоглощающих материалов ВТП-1В (а) и ВТП-2В (б) в условиях сдвигового нагружения при частоте 100 Гц

вышающими атмосферостойкость и пожаробезопасность. Материал ВТП-1В рекомендуется для применения в качестве покрытий, эластичных имитаторов силовых элементов фюзеляжа и вибродемпфирующих прокладок, работающих в диапазоне температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$.

Слоистый вибропоглощающий листовый материал ВТП-2В состоит из слоя листового материала ВТП-1В, адгезионного слоя из модифицированного поливинилацетата ВПС-2,5 и армирующего слоя алюминиевой фольги, усиленной стеклотканью.

Материал ВТП-2В предназначен для работы в интервале температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$ и рекомендуется для применения в качестве покрытий панелей фюзеляжа в местах повышенной виброакустической нагрузки.

Коэффициент механических потерь вибропоглощающих материалов определяли на динамическом механическом анализаторе DMA/SDTA 861 фирмы «Mettler Toledo» в условиях динамического сдвигового нагружения в диапазоне температур от -60 до

+80°C при частоте 100 Гц, а также в условиях трехточечного изгиба комбинированных образцов ВПМ, наклеенных на металлическую подложку из алюминиевого сплава толщиной 1 мм. На рис. 1 приведены температурные зависимости коэффициентов механических потерь вибропоглощающих материалов ВТП-1В и ВТП-2В при частоте 100 Гц в условиях сдвигового нагружения. На рис. 1, *а* наблюдается один пик при температуре около -15°C, на рис. 1, *б* — два пика при температурах около -15 и +38°C.

Как уже было показано выше, полимерный материал обладает максимальными значениями механических потерь и соответственно максимальной способностью поглощать механическую энергию в температурном интервале $T_c - T_T$ (где T_c — температура стеклования, T_T — температура текучести). Из приведенных графиков следует, что введение поливинилацетата (ПВА) в состав материала ВТП-2В повышает диссипативные свойства материала в области повышенных температур. Такой эффект объясняется тем, что первый из пиков, лежащий в области отрицательных температур, соответствует температуре стеклования полиуретанового слоя (-25°C), а второй пик относится к области стеклования слоя на основе ПВА (28°C), за счет чего и повышается коэффициент механических потерь материала ВТП-2В в области повышенных температур. Таким образом, направленный выбор состава вибропоглощающего материала позволяет изменять не только температурную область эффективного вибропоглощения, но и влиять на величину коэффициента механических потерь.

Разработанные вибропоглощающие материалы ВТП-1В и ВТП-2В имеют водопоглощение <2%, являются грибостойкими, не вызывают коррозии алюминиевых сплавов и приклеиваются с помощью клеев холодного отверждения ПУ-2 и ВК-27. Свойства разработанных ВПМ в сравнении с аналогом (резина В-14 на основе нитрильного каучука) приведены в таблице.

Акустические испытания натурной панели фюзеляжа пассажирского самолета Ил-96 в камере АИ-3 (ФГУП «ЦАГИ»), проведенные ведущим научным сотрудником А.А. Ткачевым, показали, что применение вибропоглощающих материалов ВТП-1В и ВТП-2В в виде покрытий с поверхностной плотностью ~1,7 кг/м² позволяет повысить звукоизоляцию панели фюзеляжа на 2–9 дБ в диапазоне частот от 125 до 6300 Гц при комнатной температуре (рис. 2).

Сравнительные свойства вибропоглощающих материалов и резины В-14

Свойства	Значения свойств материалов		
	ВТП-1В	ВТП-2В	В-14
Коэффициент механических потерь в условиях сдвигового нагружения при комнатной температуре и частоте 100 Гц	0,2–0,25	0,35–0,40	0,14
Коэффициент механических потерь комбинированных образцов в условиях трехточечного изгиба при комнатной температуре и частоте 100 Гц	0,08–0,10	0,10–0,12	–
Температура эксплуатации, °С	-60÷+80		-40÷+80
Поверхностная плотность, кг/м ² , при толщине материала 1,5 мм	1,68	1,75	2,0
Горючесть	Самозатухающий		

Коэффициент механических потерь комбинированных образцов в условиях трехточечного изгиба ниже результатов испытания материалов в условиях сдвигового нагружения из-за влияния подложки из металла, который имеет низкий коэффициент механических потерь.

Вибропоглощающий материал ВТП-1В поставляется ВИАМ по ТУ 1-595-9-771–2004 в виде рулонов с толщиной материала от 0,5 до 5,0 мм и шириной 330 мм, а также в виде профилей прямоугольного сечения. Вибропоглощающий материал ВТП-2В поставляется по ТУ 1-595-9-884–2006 в виде листов размером 450×700 мм толщиной 1,5±0,2 мм.

В настоящее время вибропоглощающий материал ВТП-1В применяется на нескольких пассажирских самолетах Ту-214 и Як-42, в изделиях ОАО «Красноярский машиностроительный завод», а также проходит стендовые испытания на изделия Т-50 ОКБ «Сухого».

По мнению некоторых исследователей [13] одно из решений задачи снижения вибрации и шума металлических конструкций заключается во введении вибропогло-

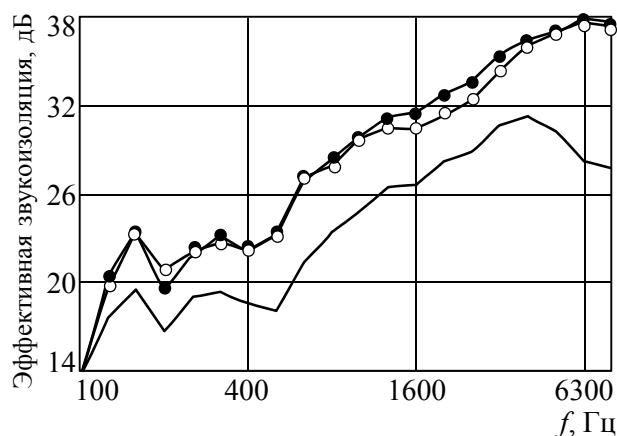


Рис. 2. Результаты акустических испытаний натурной панели фюзеляжа самолета Ил-96 с облицовкой из материалов ВТП-1В (○) и ВТП-2В (●); — необлицованная панель

щающего материала между слоями металла при выполнении вибрирующих частей конструкций.

Известны разнообразные вибропоглощающие материалы типа «сэндвич», состоящие из двух или более слоев металла с вязкоупругими прослойками различной толщины. Одним из примеров подобного материала для снижения структурного шума является листовой вибропоглощающий материал марки Antiphon MPM шведской фирмы «Antiphon АВ», состоящий из двух наружных листов металла (толщиной 0,4–3,0 мм) и внутреннего слоя (толщиной от 0,03 до 0,20 мм) на основе триблоксополимера полистирол-бутадиен-стирола с различными добавками. Однако, согласно данным производителя, Antiphon MPM неэффективен при отрицательных температурах.

В ВИАМ также проводятся исследования в области разработки слоистых вибропоглощающих материалов [14]. К ним относится, например, вибропоглощающий алюмотермоэластопласт, представляющий собой «сэндвич», состоящий из двух наружных листов алюминиевого сплава и внутреннего слоя термоэластопласта и предназначенный для изготовления демпфирующих шайб и прокладок для крепления панелей интерьера и бортовой электронной аппаратуры с целью снижения вибрации и шума в салоне и кабине пассажирских самолетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kim Y.K., Koo J.H., Kim K.S., Kim S.H. Suppressing harmonic vibrations of miniature cryogenic cooler using an adaptive tunable vibration absorber based on magneto-rheological elastomers //Review of Scientific Instruments. 2011. V. 82. №3. P. 0350103-035103-6.
2. Yan Qin, Shi Wei Zhao, Bi Fang Dai, Qi Lin Mei, Zhi Xiong Huang Studies on properties of epoxy resin base piezoelectricity damping carbon fiber composite materials //Key Engineering Materials. 2012. V. 508. P. 271–275.
3. Kang B., Okuma M., Segawa S. Preliminary research on damping material composed of flexible porous material and liquid //Journal of System Design and Dynamics. 2012. V. 6. №1. P. 81–87.
4. Weihua Li, Xianzhou Zhang, Haiping Du Development and simulation evaluation of a magneto-rheological elastomer isolator for seat vibration control //Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2012. V. 23. №9. P.1041–1048.
5. Wang H.Q., Jiang Z.G., Huang L., Yuan H.B., Li X.Y. Development of damping materials. Chinese Polymer Bulletin. 2006. №3. (электронная версия).
6. Rao M.D. Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes //Journal of Sound and Vibration. 2003. V. 262. P. 457–474.
7. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Фомин Н.Е. Вибропоглощающие композиционные материалы. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та. 2001. 95 с.
8. Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Надькин Е.А. Вибропоглощающие материалы экстра-класса. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та. 2007. С. 17–19.
9. Мясникова М.П., Позамонтир А.Г., Громов В.В. Методы регулирования вибропоглощающих свойств полимерных материалов /Материалы семинара «Вибропоглощающие материалы и покрытия и их применение». 1974. С. 41–45.
10. Сытый Ю.В., Кислякова В.И., Сагомонова В.А., Антюфеева Н.В. Перспективный вибропоглощающий материал ВТП-3В //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 47–49.
11. Смотровая С.А. Анализ вибропоглощающих свойств полимерных материалов с целью оценки возможного их применения в конструкциях демпферов и динамически подобных моделей //Пластические массы. 2002. №3. С. 39–45.
12. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. С-Пб.: ГНЦ РФ ЦНИИ им. А.Н. Крылова. 2000. 123 с.

13. Морозова Н.Н., Никонова О.М. Конструкционные вибропоглощающие материалы и их применение //Материалы семинара «Вибропоглощающие материалы и покрытия и их применение». 1974. С. 25–29.
14. Сытый Ю.В., Сагомонова В.А., Кислякова В.И., Большаков В.А. Новые вибропоглощающие материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 51–54.