

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МАЛОГАБАРИТНОЙ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

М. Н. Письмаров, А. С. Анашкин, А. А. Куфтин, Д. В. Ларичев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Развитие военной техники, связанное с увеличением скоростей и мощностей современных машин и механизмов, приводит к значительному возрастанию вредных вибраций, что повышает опасность разрушения деталей, когда колебания системы проходят через резонанс вследствие усталости. Статистика показывает, что около 80 % поломок и аварий в приборостроении являются следствием резонансных колебаний.

Одним из основных требований при разработке малогабаритной бортовой аппаратуры (МБА) является обеспечение минимальных массогабаритных характеристик. Учитывая это, наиболее оптимальной конструкцией МБА будет та, которая обеспечивает, кроме всего прочего, защиту от механических воздействий.

Разработка устройств защиты от вибрационных воздействий МБА, сочетающих высокую демпфирующую способность с повышенными механическими и хорошими технологическими свойствами, является сейчас одной из самых актуальных задач.

Решение данной задачи возможно при применении в конструкции корпусов или других несущих элементов МБА сплавов высокого демпфирования (СВД). Их использование становится одним из основных способов эффективного снижения вредных вибраций. Благодаря высокой демпфирующей спо-

собности материала, свободные колебания в изготовленных из него деталях быстро затухают, значительно снижаются амплитуды вынужденных резонансных колебаний, резко падают напряжения от ударного воздействия.

В [1] В. С. Постниковым предложено все материалы разделить на три класса по индексу демпфирования (рис. 1):

- менее 1 – низкодемпфирующие материалы (например, деформируемые алюминиевые сплавы);
- от 1 до 10 – среднедемпфирующие материалы (хромистая сталь типа 1Х13, 2Х13 и т.д. и сплавы на основе спеченного порошка алюминия типа САП);
- от 10 до 100 – высокодемпфирующие материалы (магний и его сплавы с цирконием, кремнием и марганцем; сплавы системы Cu – Mn, никель; сплавы Co – Ni; серый чугун; сплавы на основе соединений NiTi (нитинолы); сплавы на основе железа (Fe-Cr-Al)).

В основном механизм высокого демпфирования металлов и сплавов обусловлен внутренним (структурным) рассеянием энергии механических колебаний в материале и контактным рассеянием, благодаря наличию в таких материалах сложных слоистых систем, состоящих из металла и высокомолекулярных соединений [1].

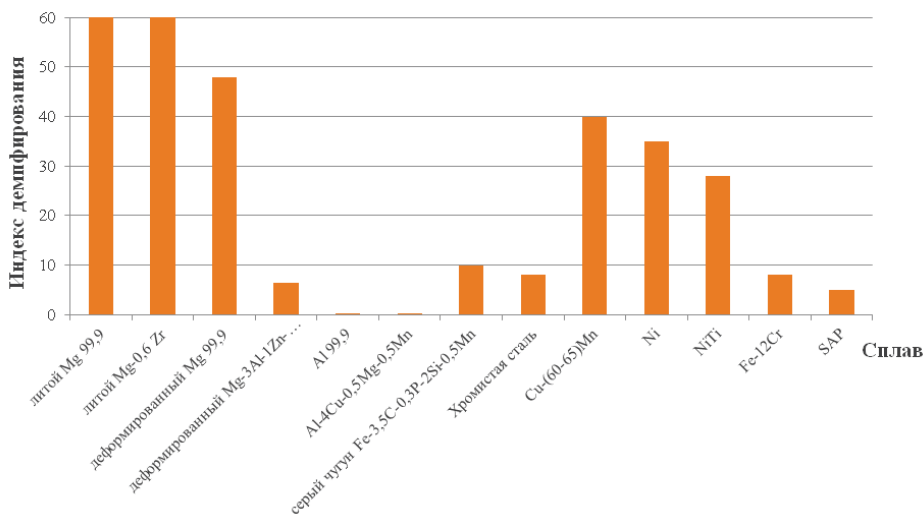


Рис. 1. Индекс демпфирования металлов и сплавов

Большая часть материалов (металлов и сплавов) с высоким индексом демпфирования (магний и его сплавы; сплавы марганца; сплавы системы Cu – Mn, никель; сплавы Co – Ni) являются достаточно экзотическими, с высокой стоимостью, плохой обрабатываемостью и низкими прочностными свойствами.

Стоимость материалов и их прочностные свойства являются определяющими при выборе СВД для применения в составе МБА. Так как СВД в составе МБА предполагается применять в несущих элементах конструкций приборов (корпуса, основания), то материал должен обладать низкой стоимостью, соответствующей технологичностью и конструкционной прочностью не хуже деформируемых алюминиевых сплавов (Д16, В95, АМг6).

Этому требованию отвечают такие материалы как: серый чугун СЧ20 ГОСТ 1412-85, стали 20ХНЗА ГОСТ 4543-71, 40Х ГОСТ 4543-71, 30Х13 ТУ 14-1-3957-85, 30ХГСА ГОСТ 4543-71, сплав 12Х18Н10Т ГОСТ5632-72.

В работе проведены исследования на определение демпфирующих свойств образцов металлических пластин (в количестве 4 шт. каждая, рис. 2) из названных выше материалов по методике и на установке, разработанных в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (рис. 3) [2].

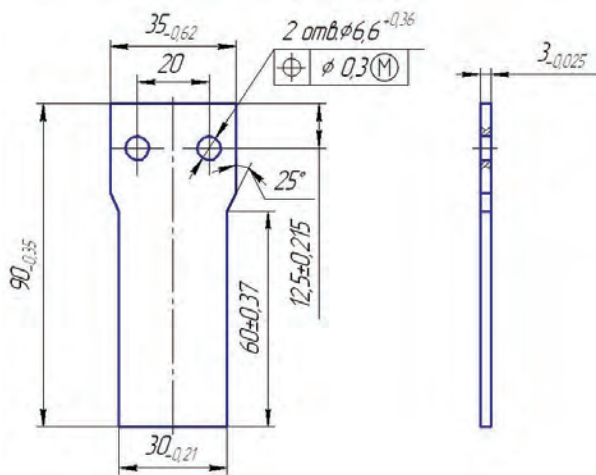


Рис. 2. Металлическая пластина

В ходе исследований установлено, что с увеличением амплитуды механического воздействия демпфирующие свойства материалов увеличиваются. Отмечено, что на результаты испытаний влияет плоскостность граней кронштейна и момент затяжки крепежных элементов. Кронштейн для различных образцов пластин отличается. Также для предотвращения «свободного хода» образцов пластин следует обеспечить их закрепление как можно ближе к краю грани, на которой они размещаются.

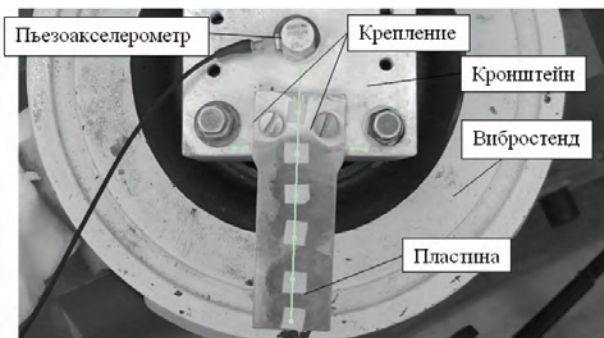


Рис. 3. Размещение пластины на установке

Коэффициенты механических потерь металлических образцов пластин представлены на рис. 4.

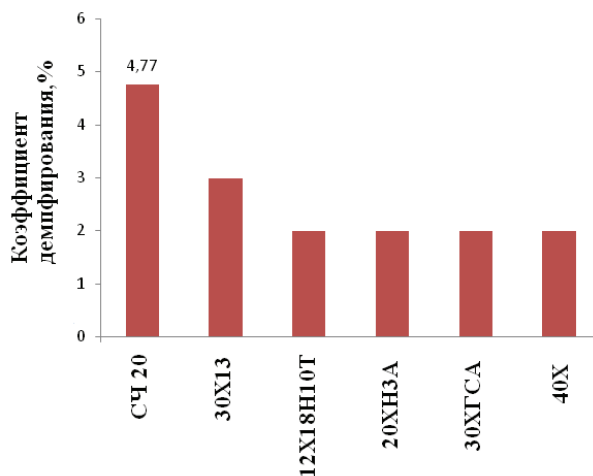


Рис. 4. Величина коэффициента механических потерь металлических пластин при механическом воздействии с амплитудой $A = 2,2 \text{ м/с}^2$

Наибольшими демпфирующими свойствами обладает материал серый чугун СЧ20 ГОСТ 1412-85 с коэффициентом механических потерь 4,77 %.

При этом широкое использование серого чугуна в МБА ограничивает то, что его основным компонентом является железо. Как следствие, детали из него имеют большую массу, что неприемлемо для МБА. Поэтому, несмотря на то, что применение серого чугуна для изготовления корпусов (как основной несущей детали аппаратуры) наиболее эффективно для рассеивания энергии механических воздействий, применение его для МБА нецелесообразно.

Необходимо проведение исследований для определения оптимальных элементов конструкции (крепежные втулки основания, втулки для крепления функциональных модулей (ФМ)), не увеличивающих (критично) массу МБА и снижающих при этом динамичность конструкции (рис. 5 и 6).

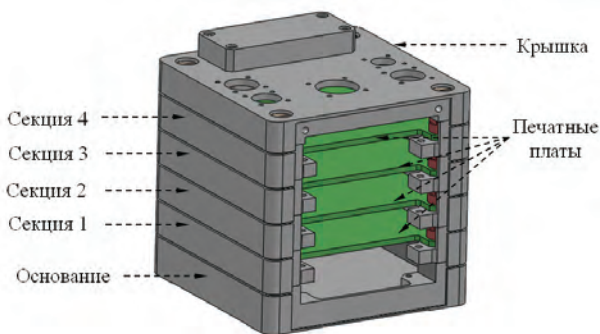


Рис. 5. Внешний вид макета

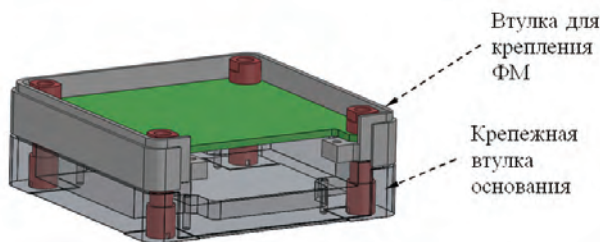


Рис.6. Расположение втулок (показана нижняя часть макета)

Перспективным также является исследование слоистых и многослойных материалов, которые можно отнести к разновидности композиционных. Электролитические покрытия оловом, хромом, серебром, кадмием и другими металлами оказывают существенное воздействие на рассеяние энергии колебаний деталью конструкции, на которую эти покрытия нанесены. Увеличение демпфирования в результате нанесения гальванических покрытий объясняется природой электролитического покрытия и потерями в пограничном слое между покрытием и основой [3].

Максимальный эффект роста демпфирующих характеристик обнаружен А. П. Васильевой и Ю. К. Фавстовым [4] при хромировании – для сталей 12Х13 и 30Х13 декремент колебаний возрос в 2 раза, для стали 30ХМА – в 6–10 раз. Для пружинной бериллиевой бронзы БрБНТ1,9 максимальное демпфирующее воздействие оказывает гальваническое покрытие палладия по подслою серебра. При этом увеличение толщины и старение покрытия всегда повышает его демпфирующее действие.

Дальнейшие перспективы в выявлении возможности применения СВД в конструкциях МБА разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» представляются в исследовании «пакетов» склеенных металлических пластин (рис. 7), нанесении на пластины покрытий Хим.Н15.тв и Х9.тв, исследовании сплавов на основе NiTi, а также изготовлении и внедрении крепежных втулок из материала СЧ 20 ГОСТ 1412-85.

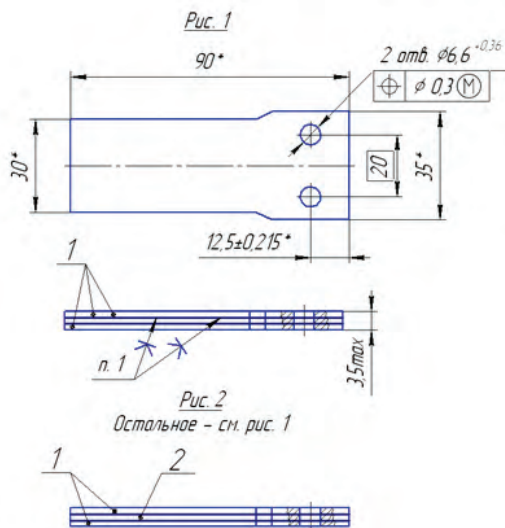


Рис. 7. Металлический пакет: 1 и 2 – материалы согласно спецификации

Литература

1. Головин С. А., Пушкар А., Левин Д. М. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов. М.: Металлургия, 1987.
2. Пат. 2628737 РФ. Установка для определения динамических характеристик низкомолекулярных полимерных материалов / А. В. Иванов, В. Н. Савин, А. А. Куфтин, С. И. Смирнова, С. Д. Литвинов, В. В. Скрипка. // Приоритет. 2017.
3. Фавстов Ю. К., Шульга Ю. Н., Рахштадт А. Г.; под ред. Рахштадта А. Г.. Металловедение высокодемпфирующих сплавов. М.: Металлургия, 1980.
4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник – Киев: Наукова думка, 1971.