

Краткий обзор многослойных листовых деформируемых материалов используемых для защиты от шума

к.т.н. доц. Типалин С.А., Сапрыкин Б.Ю., к.т.н. проф. Шпунькин Н.Ф.
Университет машиностроения
(495) 223-05-23 доб. 1113, ti@mami.ru

Аннотация. В статье описаны многослойные деформируемые материалы, способные снизить уровень шума. Оцениваются возможности формоизменения многослойных заготовок, обеспечивающих высокую шумозащиту и шумоизоляцию. Описаны примеры использования материала.

Ключевые слова: многослойные материалы, шум, шумозащита, шумоизоляция, деформация многослойных материалов

Возможность улучшить условия труда и жизни людей является очень актуальной задачей. Одним из важных направлений в данной области является применение шумозащитных и шумоизоляционных материалов, так как с ростом промышленного производства растёт число источников шума, что может приводить к ухудшению здоровья населения.

Шум подразделяется на два типа:

- а) воздушный – производится звуковыми волнами в виде колебаний воздуха;
- б) структурный – образуется в твёрдом теле, в котором скорость передачи звуковых волн в 10 раз выше, чем в воздухе. Создается в результате соприкосновения двух движущихся поверхностей различных деталей.

Избежать вредного воздействия шума на здоровье населения можно, снизив энергию воздействия звуковой волны. Это достигается двумя способами:

- а) снизить уровень шума его источника,
- б) установить преграды на пути звуковой волны.

Первый способ снижения воздействия звуковой волны возможен не всегда, поэтому наиболее доступным является второй способ.

В таблице 1 представленные ослабления энергии звуковой волны при прохождении через различные материалы [1].

Таблице 1

Ослабления энергии звуковой волны

Материал	Толщина, мм	Коэффициент ослабления, дБ
Оштукатуренная с одной стороны кладка в полкирпича	140	53
Сосновая доска	30	12
Войлок	50	12
Стекло 6 мм	6	30
Многослойное стекло 4.4.1	8,38	37
Стеклопакет с многослойным стеклом 3.3.1 – 12 – 6	24,38	39-45
Металл	-	~10

Как видно из приведенных в таблице данных, одним из самых эффективных способов защиты от шума является применение многослойных конструкций. Данные конструкции состоят из нескольких слоёв, на границе которых происходит отражение и рассеивание звуковой волны.

Многослойные конструкции можно разделить на два типа: конструкции, которые могут быть подвергнуты формоизменению, и конструкции, которые нельзя подвергнуть формоизменению.

Многослойные конструкции, которые нельзя подвергать формоизменению, как правило, применяются в строительстве – это различные перегородки, строительные панели, перекрытия, ограждения и т.д.

Большой интерес представляет второй тип конструкций в связи с возможностью их формоизменения [2, 3, 19-21].

Многослойные конструкции, которые можно подвергать формоизменению, применяются в разных областях от строительства до общего машиностроения.

Прокат с полимерным покрытием является ярким примером многослойной конструкции, способной подвергаться формоизменению (рисунок 1).

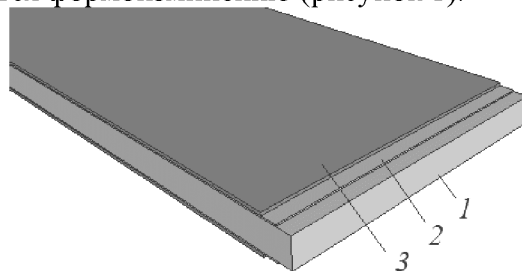


Рисунок 1 – Прокат с полимерным покрытием: 1 – прокат тонколистовой холоднокатаный; 2 – слой цинка; 3 – многослойное полимерное покрытие

Многослойность конструкции обеспечивают две составляющие – металл с полимерным покрытием. В качестве основы в большинстве случаев используют прокат тонколистовой холоднокатаный горячеоцинкованный, а также используют неоцинкованный прокат (прокат тонколистовой холоднокатаный). В качестве полимерного покрытия могут применяться различные материалы: обычное лакокрасочное покрытие, полиэстер, основой которого является полиэфирная краска, матовый полиэстер, полиуретан, PVDF (данное покрытие состоит из поливинилфторида и акрила). Полимерное покрытие может состоять из одного или нескольких слоёв. Толщина проката составляет от 0,2 до 1,2 мм [10], толщина слоя покрытия различается в зависимости от вида покрытия, в среднем составляет 25-50 мкм.

Данный прокат используется как исходный материал при производстве различных изделий, в частности изделий, получаемых путем обработки давлением (штамповкой, гибкой и т.д.): корпуса бытовых приборов; элементы стальных конструкций, лифты, двери, полки, стеллажи, профильные панели, металлочерепица и т.д.

В качестве примера можно привести технологию производства металлочерепицы.

Данный тип многослойной конструкции эстетичен, обладает хорошими пластическими свойствами, антикоррозийными свойствами, хорошим звукопоглощением по сравнению с однослойным металлическим листом, коэффициент ослабления звуковой волны равен примерно 26 дБ, что зависит от типа полимерного покрытия.

В таблице 2 приведены некоторые характеристики проката с полимерным покрытием фирмы Rautaruukki [4].

Алюминиевые композитные панели. Данный вид многослойных конструкций получил большое распространение в различных областях строительства. Структура данных конструкций состоит из листов алюминия, покрытых защитными покрытиями, соединенных между собой через клеевой слой наполнителем (рисунок 2). Чаще всего используют листы из алюминиевых сплавов АМГ и АМЦ толщиной от 0,05 до 0,5 мм. В качестве защитного покрытия применяют эмали РЕ и PVDF. РЕ-эмаль для панелей внутренней отделки, основой данной эмали является ароматическая полиэфирная смола, толщина слоя эмали составляет 35 мкм. PVDF-эмаль для фасадных панелей, основа данной эмали поливинилденфторидная смола в сочетании с акриловой полимерной смолой.

Таблица 2

Свойства проката Rautaruukki

Материал	Предел прочности Н/мм ²	Предел текучести Н/мм ²	Удлинение %
RAGAL 51F	480	300	22
RAGAL 280S	360	280	18
RAGAL 320S	420	320	17
RAGAL 550S	560	550	-
RACOLD 01F	410	280	28

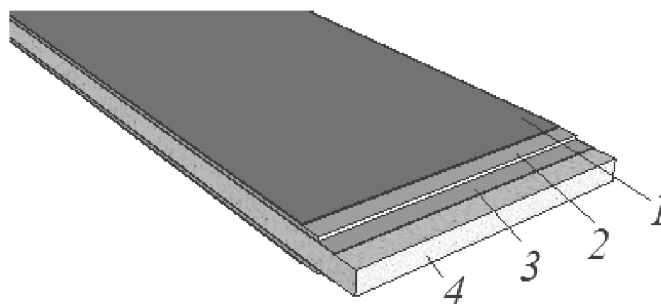


Рисунок 2 – Сочетание слоев влюминиевой композитной панели: 1 – защитное покрытие; 2 – алюминий; 3 – клеевой слой; 4 – наполнитель

Данные панели имеют малый вес и большую жёсткость по сравнению с однослойными аналогами. Обладают хорошей звукоизоляцией за счет поглощения звуковых волн.

Панели могут быть подвержены формоизменению без нарушения структуры конструкции – гибке, вальцовке. Также они могут подвергаться различной механической обработке – резке, фрезеровке, сверлению и т.д.

Характеристики данных многослойных конструкций различаются в зависимости от структуры (от того, что входит в данную многослойную конструкцию). В таблицах 3 [6] и 4 [8] приведены некоторые характеристики данных многослойных конструкций.

Таблица 3

Свойства панелей BILDEX BDX(F)

Предел прочности при растяжении	МПа	60
Предел прочности при изгибе	МПа	85
Модуль упругости при изгибе	МПа	2.0x10
Допустимое напряжение при изгибе	МПа	48
Удлинение при разрыве	%	6%
Коэффициент шумопоглощения	дБ	26

Таблица 4

Свойства панелей ALTEC толщиной 2 мм

Модуль эластичности	МПа	70000
Предел прочности накладок при растяжении	МПа	145 - 185
Предел текучести при растяжении	МПа	110 - 175
Коэффициент шумопоглощения	дБ	20

Применение многослойных листовых материалов с упругим или упруговязким демпфирующим слоем наиболее интенсивно развивается в авиастроении. Развитием данного направления стало создание многослойного материала из чередующихся слоев алюминиевого сплава и органостеклопластика. Данный материал выпускается сейчас как за рубежом (марки ARALL, GLARE), так и в нашей стране (марки АЛОП, СИАЛ) [5, 7].

Металлооргонопластики (АЛОП) изготавливаются двух основных видов: среднепрочные ($\sigma_e = 430 \div 550$ МПа) и высокопрочные ($\sigma_e = 650 \div 900$ МПа) с предельной деформацией $3 \div 3,5\%$.

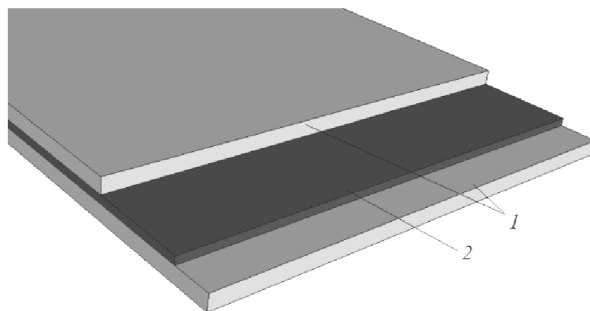
Металлостеклопластики способны деформироваться на $4 \div 5\%$ и выдерживают предельную нагрузку: среднепрочные ($\sigma_e = 500 \div 900$ МПа) и высокопрочные ($\sigma_e = 1100 \div 1200$ МПа).

Использование данных материалов в авиастроении целесообразно в обшивках носовой части крыла, для обшивок люков, дверей, предкрылка, части днища фюзеляжа и других деталей, подверженных воздействию виброакустических нагрузок от винтовентиляторных двигателей.

Металл-полимер-металл (МПМ). В качестве основных свойств данной конструкции можно выделить два: первое – это предотвращение распространения шумовых колебаний по структуре, и второе свойство – это замена обыкновенных листов, так как для достижения эффекта шумозащиты конструкции МПМ толщину обычного листа необходимо увеличивать,

а следовательно, возрастает и вес. Конструкция МПМ имеет большую шумозащиту, чем одинарный лист той же толщины. Примером данной конструкции является «antiphon МРМ» [9].

Основным элементом данной конструкции можно считать полимерный слой, который может быть различным, оптимальным для работы при температурах между $+5^{\circ}$ и $+125^{\circ}$ градусами. Толщина данной прослойки может быть от 0,03 до 0,2 мм. Листы, находящиеся сверху и снизу данного полимерного слоя, могут быть различными металлами и сплавами. Толщина данных металлических листов в конструкции может варьироваться от 0,4 до 3мм. Листы могут быть несимметричными, то есть разной толщиной в одной конструкции, но для лучшего затухания звуковых волн желательно использовать металлические листы одной толщины (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Многослойный материал (металл-полимер-металл):
1 – листовой металл; 2 – полимер**

При применении данной конструкции коэффициент звуковых потерь η достигает значения, равного 0,1. При сравнении с обычными стальными листами, у которых данный коэффициент может варьироваться от 0,001 до 0,01, это очень высокое значение (максимальное значение коэффициента потерь равняется 1). В таблице 5 приведены некоторые характеристики материала «antiphon МРМ»

Таблице 5

Характеристики материала типа «antiphon МРМ»

Модуль упругости	МПа	415
Предел прочности	МПа	360 - 380
Предел текучести	МПа	312
Коэффициент шумопоглощения	дБ	16

Отдельная группа многослойных материалов, способных выдерживать значительные деформации, выполняется из металлических листов, соединенных эластомерной средой [10]. Эластомеры – это полимерные материалы на основе резиноподобных материалов.

Данные материалы изготавливаются различными способами:

- соединение металлических листов с эластомером происходит в процессе вулканизации в пресс-форме;
- путем склеивания.

В процессе деформации таких листов эластомерный слой, находясь в упругом состоянии, способен выдерживать очень большие деформации ($30\div 50\%$) без разрушения. Эти материалы легче подвергаются сдвиговым деформациям, чем объемному сжатию.

Исходя из того, что для штамповки необходима постоянная толщина клеевой прослойки по всей поверхности склеивания, как правило, выбирают пленочные клеи ВК-25, ВК-25А, ВК-50, выпускаемые отечественной промышленностью. Они обладают повышенной стойкостью к виброакустическим нагрузкам.

Как показали испытания, проведенные в МГТУ «МАМИ», данные виды клеев выдерживают достаточно большие сдвиговые и сжимающие нагрузки [16-18, 22-23].

Выводы

Применение многослойных конструкций обусловлено несколькими факторами, одним из которых является шумозащита. Многослойные конструкции обладают более высокой шумозащитой, нежели однослойные аналоги. Чтобы добиться равного результата между ними,

однослойные материалы требуют применения дополнительных шумозащитных материалов, как правило, эластичных или покрытий.

Проблема сочетания размера, веса, шумозащитных свойств является одной из определяющей в отраслях общего машиностроения при создании кузова автомобиля, обшивки самолета, корпуса электродвигателя, различных бытовых корпусных приборов и т.д. Многослойные конструкции, которые могут быть подвержены формоизменению путём обработки давлением, позволяют в той или иной степени решить данную проблему. При их применении появляется возможность отказаться от использования дополнительных защитных материалов в кузове автомобиля или корпусе прибора, что позволяет снизить вес, габариты изделия, повысить шумозащитные и шумоизоляционные свойства. Ярким примером данного типа многослойных конструкций является МПМ (металл-полимер-металл), о котором говорилось выше. Данные конструкции имеют высокие характеристики формоизменения, что позволяет им придавать различную форму. Их можно подвергать вытяжке, гибке, разделительным операциям и т.д.

Очевидно, что и в дальнейшем будут проводиться исследования, связанные с изучением возможности формоизменения многослойных конструкции (МПМ). Эти исследования необходимы для лучшего понимания областей их применения и особенностей обработки. Это позволит расширить сферу использования данного материала, а также поможет оптимально подбирать оборудование и необходимые технологические режимы для его обработки.

Литература

1. www.tehnoluch.com - сайт компании «Технолуч»
2. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Чудин В.Н., Соболев Я.А. Изотермические процессы формообразования многослойных листовых конструкций. / Материалы третьей научно-технической конференции «Металлофизика, механика материалов, наноструктуры и процессы деформирования. Металлдеформ – 2009», 2009. Самара: СГФУ.Т. 2. с. 296-302.
3. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Чудин В.Н., Соболев Я.А. Формообразование и диффузионная сварка элементов конструкций. / Известия Тульского государственного университета. Серия: Технические науки. 2009. № 1-1. с. 76-85.
4. www.profil-co.narod.ru - сайт компании «Профиль»
5. Постнов В.И., Казаков И.А., Постнова М.В. Металлополимерные композиционные материалы в авиастроении. / Прогрессивные технологии, материалы и конструкции. Сборник научных трудов. Ульяновск 1999, с. 119-124.
6. www.bildex.ru – сайт компании «Билдэкс».
7. Жуков М.Б. Исследование процессов изготовления деталей летательных аппаратов гибкой листовых и профильных заготовок с дополнительным нагружением. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов», РГТУ «МАТИ», 2003, с. 150.
8. www.plasticsouz.ru – сайт компании «Пластиксоюз»
9. www.antiphon.se – сайт компании «Antiphon»
10. Мальков В.М. Механика многослойных эластомерных конструкций. Издательство С.-Петербургского университета, 1998, 320 с.
11. www.autocomplect.ru – сайт компании «Автокомплект»
12. www.nlmk.ru – сайт компании «Новолипецкий металлургический комбинат»
13. www.mmk.ru – сайт компании «Магнитогорский металлургический комбинат»
14. www.severstal.ru – сайт компании «Северсталь»
15. www.alluxe.ru – сайт компании «ALLUXE»
16. Типалин С.А. Гладков В.И., Власов А.И., Никитин М.Ю. Моделирование конструкции клапанной крышки двигателя на основе применения клеевых соединений. / Известия МГТУ "МАМИ". Научный рецензируемый журнал. - М., МГТУ "МАМИ", № 1 (5), 2008. с. 201-206.
17. Бовтало Я.Н., Филиппов Ю.К., Игнатенко В.Н. Влияние деформации и схемы напряженного состояния на механические свойства стали. / Известия Тульского государственного

- университета. Серия: Технические науки. 2010. № 4-1. с. 108-115.
18. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А., Гладков В.И., Никитин М.Ю. Исследование обтяжки с растяжением листового материала. / Известия МГТУ "МАМИ". Научный рецензируемый журнал. - М., МГТУ "МАМИ", № 1 (5), 2008. с. 206-212.
 19. Типалин С.А., Саприкин Б.Ю. Использование многослойных листовых конструкций для защиты от шума. / Сборник трудов международной научно-технической конференции. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) "Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров", посвященная 145-летию МГТУ "МАМИ", 2010. с. 146-147.
 20. Типалин С.А., Плотников А.С. Влияние клеевого соединительного слоя на процесс вытязки листового многослойного материала. / Автомобильная промышленность, 2012, № 6 с. 33-35.
 21. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Шаргунов М.В. Экспериментальное исследование осесимметричной формовки двухслойных заготовок с неотвержденным промежуточным слоем. / Прогрессивные технологии и оборудование при обработке материалов давлением. // Научные труды Всероссийского Совещания обработчиков давлением «Формирование механизмов совместной деятельности кафедр вузов России по подготовке специалистов, развитие научно-методической и издательской работы в области пластического формообразования деталей из поликристаллических и аморфных материалов. Ульяновск 2007. с. 43-46.
 22. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала. / Известия МГТУ «МАМИ», 2010. № 1. с. 166-170.
 23. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А., Никитин М.Ю. Листовой демпфирующий материал для кузовных деталей. Свойства при сдвиговой деформации. / Автомобильная промышленность, 2010, № 10, с. 39-40.

Исследование изгиба упрочненного оцинкованного листа

к.т.н. доц. Типалин С.А.

Университет машиностроения
(495) 223-05-23 доб. 1113, ti@mami.ru

Аннотация. Выполнено численное исследование изгиба упрочненного листа. Получено графическое распределение возникающих в процессе изгиба напряжений. Проанализирован характер изменения изгибающего момента, и проведена экспериментальная проверка полученных данных.

Ключевые слова: изгиб, распределение напряжений, изгибающий момент, оцинкованный лист, упрочненный материал

Изгиб листового металла является наиболее распространенным способом обработки металлов давлением. Поэтому данному процессу пластической деформации посвятили свои работы многие видные исследователи, которые рассматривали пластический изгиб, осуществляемый либо только моментом (чистый изгиб), либо под действием момента и окружной силы. В большинстве случаев работы рассматривали материал, который первоначально не был упрочнен, либо накопленная материалом деформация близка к нулевому значению. Деформации изгиба предварительно упрочненного листа практически не уделялось должного внимания.

Необходимость в решении данной задачи возникла при рассмотрении локализованного изгиба в области технологической канавки-концентратора (рисунок 1), которая применяется для обеспечения минимального радиуса изгиба и ограничения ширины изгибаемого участка.

Для выполнения исследований использовался лист малоуглеродистой оцинкованной стали 08кп толщиной 0,64 мм.