

Сэндвич-панели из вспененного алюминия. Перспективы применения

Лепешкин И.А.
МГТУ «МАМИ»
luc-li@yandex.ru

Ключевые слова: композитные материалы, стеновые сэндвич-панели, сотовые сэндвич-панели, сэндвич-панели из вспененного алюминия.

Введение.

Сложные составные (композиционные) материалы всегда представляли большой интерес как для исследования, так и для промышленности. Они решают такие инженерные проблемы, с которыми обычным материалам справиться не под силу, и соединяют в себе такие характеристики, которые, на первый взгляд, не могут сочетаться. При этом любые попытки добиться в разрабатываемых конструкциях аналогичных комбинаций свойств стандартными методами приводят либо к резкому увеличению себестоимости продукта, либо к потере всей конструкцией каких-либо других важных свойств.

Наиболее распространенными на сегодняшний день композитными материалами являются сэндвич-панели. Наибольшую популярность они обрели в области строительства, однако их также используют и в машиностроении, авиации и аэрокосмической отрасли. Чаще всего сэндвич-панель представляет собой трехслойную структуру, состоящую из двух внешних панелей и внутреннего слоя. Иногда в состав может входить и большее количество слоев, но эти конструкции не имеют широкого распространения на рынке и производятся только для решения каких-то конкретных задач.

Материалы, из которых выполняют сэндвич-панели сегодня, достаточно разнообразны. Внешние панели чаще всего представляют собой листы гладкого цельного и достаточно прочного материала, играющего роль несущей структуры, а внутренний слой обычно выполняют из легких пенистых материалов, обеспечивающих изоляционные свойства сэндвич-панелей.

В последние десятилетия стали появляться особые металлоконструкции в виде сэндвич-панелей с металлическими наполнителями в форме сот. Такие сотовые панели могут воспринимать большие нагрузки при незначительном увеличении массы всей конструкции.

Недавно на рынке высокотехнологичных материалов появился новый «игрок» и постепенно стал внедряться в различные отрасли промышленности и сферы жизни людей. Название ему – вспененный алюминий. Конечно, на сегодняшний день он довольно дорог, и его промышленное производство налажено лишь на нескольких заводах в мире, но уникальная комбинация его характеристик и большой спектр возможного применения сулят ему большое будущее.

В результате проведенных исследований и вследствие необычных свойств вспененного алюминия ученые пришли к выводу, что одним из лучших способов использования данного материала, при котором он мог бы реализовать все свои положительные стороны, является применение его в качестве наполнителя в сэндвич-панелях.

В данной статье приводятся данные по различным типам сэндвич-панелей и обосновываются положительные качества сэндвич-панелей из вспененного алюминия в сравнении с остальными.

Стеновые сэндвич-панели.

Стеновые сэндвич-панели имеют достаточно длинную историю, которая началась в 30-е годы XX века благодаря знаменитому американскому архитектору и инженеру Фрэнку Ллойд Райту. Развил же его идею студент архитектурного университета Олден Доу, который провел собственные исследования и получил в результате первые трехслойные сэндвич-панели, которые по многим характеристикам превосходили другие строительные материалы. Однако, несмотря на все достоинства, сэндвич-панели имели также и серьезный недостаток –

производство занимало слишком много времени. Около 20 лет ушло на разработку и оптимизацию технологии их изготовления. И лишь к 1960 году эксперты компании Alside нашли подходящий вариант, и с того времени начался настоящий потребительский «бум» на этот материал [1].

Типовая стеновая сэндвич-панель, применяющаяся в строительстве, состоит из трех основных элементов: двух наружных панелей и среднего слоя (рисунок 1).

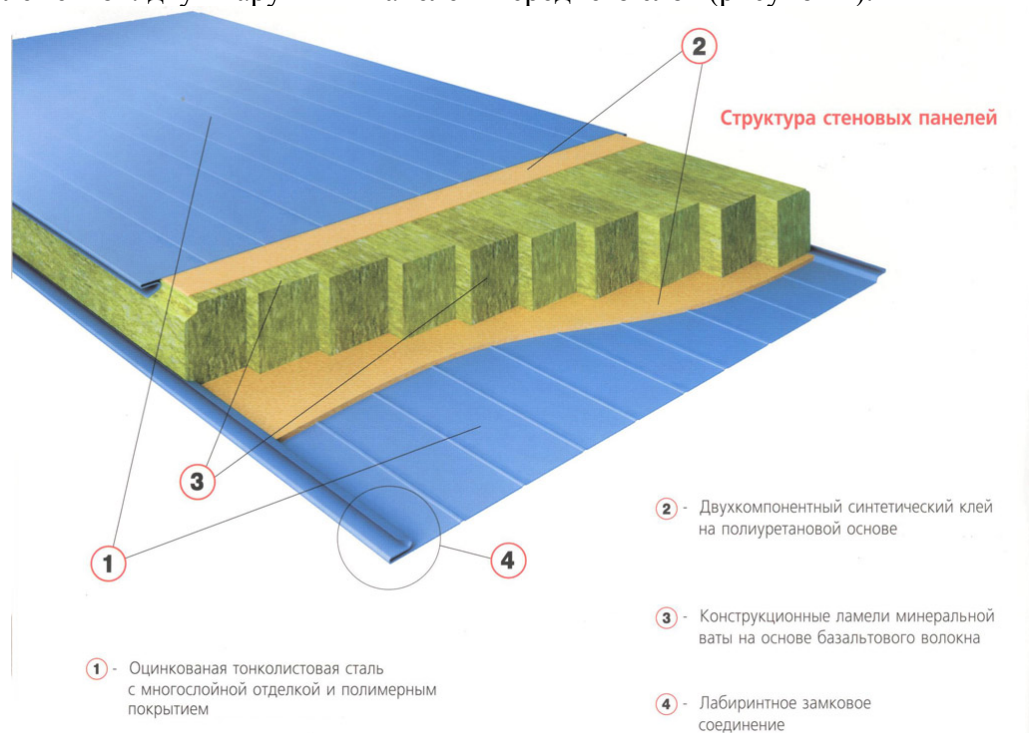


Рисунок 1 – Структура стеновых сэндвич-панелей (ВладСтальСнаб)

Внешние панели, как правило, выполнены из таких материалов, как оцинкованная сталь, алюминий, пластик или дерево. Основная их функция — защита от воздействия окружающей среды и придание сэндвич-панели необходимого внешнего вида [2].

Внутренний слой выполняет разные функции, имеет различную структуру и конструкцию и соответственно выполняется из различных материалов. Они как раз и определяют характеристики панели и, как следствие, сферы ее применения. Наиболее распространенный вид стеновых сэндвич-панелей в качестве среднего слоя использует различные виды утеплителя.

- Минеральная вата. Этот материал производится из базальтового расплава и представляет собой минеральное волокно с синтетическим связующим веществом. Этот тип уплотнителя достаточно широко распространен у нас в стране в связи с тем, что он удовлетворяет основным требованиям по пожарной безопасности.
- Экструдированный пенополистерол. Он значительно дешевле, прочнее, а коэффициент теплоизоляции лучше, чем у минеральной ваты. Однако по правилам пожарной безопасности пенополистирол, как правило, не подходит для возведения ограждающих конструкций на территории нашей страны. Тем не менее, пенополистирол является очень удобным строительным материалом, в связи с чем производители постоянно развивают технологии его производства с целью усовершенствования его огнестойких характеристик.
- Пенополиуретан. Этот материал получают путем вспенивания двух компонентов (полиол и изоцианат) и применяют, как правило, для строительства холодильных камер. Он является лидером по показателю сохранения тепла. В теле наполнителя содержится газ, зани-

мающий до 97% объема, который замещается воздухом с течением времени. Интенсивность замещения 1-2% в год [5].

Тип используемого утеплителя зависит от того, какой необходим результат, и от метода изготовления, а также от ожидаемой цены готовых сэндвич-панелей. Перед производством панели, как правило, проводится анализ возможных погрешностей, воспринимаемой нагрузки, метода скрепления сэндвич-панелей при транспортировке, а также метод крепления панели к основному каркасу сооружения.

По типу производства сэндвич-панели делятся на две категории: панели, получаемые на оборудовании «стендового» и «конвейерного» типа.

В первом случае сначала профилируются два внешних листа стали для придания жесткости, внешнего вида и устройства замка. Затем на один из листов вручную наносится клей и на него сверху в шахматном порядке укладывается утеплитель, который сверху также покрывается слоем клея и все это в итоге накрывается вторым слоем стали. Затем получившийся полуфабрикат укладывают под пресс с нагревательным элементом, где и происходит полимеризация уретанового клея. В завершении процесса подрезаются торцы панели, после чего панель приобретает товарный вид. После производства панель должна пролежать порядка двенадцати часов для окончания полимеризации клея.

Как правило «стендовые» производители производят сэндвич-панели небольшого размера, что связано с возможностями используемого оборудования.

Также к «стендовому» типу производства относятся и производство пенополиуретановых сэндвич-панелей методом вспенивания. Качество получаемых панелей напрямую зависит от оборудования, применяемых компонентов, соблюдения технологии вспенивания и, разумеется, человеческого фактора. Суть процесса заключается в том, что под прессом в тело панели заводится шприц, и по мере распыления компонентов происходит движение шприца в теле панели, либо движение самой панели по отношению к шприцу. К сожалению, скорость производства панелей методом вспенивания на порядок меньше скорости производства панелей методом склеивания и не исключает образования пустот в теле наполнителя.

При «конвейерном» производстве на поточную линию устанавливаются два рулона стали (верхний и нижний). Далее специальный захват забирает наполнитель с поддона и закладывает его в линию. Затем толкатели распределяют наполнитель по ширине будущей панели. Одновременно с нанесением и равномерным распределением клея происходит профилирование стали, и в результате сталь и наполнитель соединяются в одну безразмерную по длине панель. При профилировании металла на панель может наноситься защитная монтажная пленка. Получаемая панель поступает в зону действия валкового/гусеничного пресса, где под воздействием давления и температуры происходит начальная полимеризация двухкомпонентного уретанового клея. Скоростью начальной полимеризации клея в зоне пресса определяется производительность линии в целом. На выходе из пресса готовая безразмерная панель нарезается на элементы необходимой длины. После производства готовые панели так же, как и при других методах производства, должны порядка двенадцати часов пролежать на складе для окончания процесса полимеризации клея. При данном методе производства все операции технологического процесса, как правило, происходят без участия человека [5].

К достоинствам стеновых сэндвич-панелей относятся:

- быстрые сроки возведения или ремонта зданий в любое время года;
- высокие показатели теплоизоляции и звукоизоляции;
- экологичность, гигиеничность, безопасность для человека;
- отсутствие лишней нагрузки на фундамент постройки;
- легкость транспортировки;
- отсутствие необходимости в дополнительной отделке;
- невосприимчивость к воздействию агрессивных химических веществ или биологических факторов (плесень, грибок и т.д.).

Основными недостатками существующих строительных сэндвич-панелей являются:

- сэндвич-панели не могут взять на себя существенную дополнительную нагрузку;
- есть вероятность повредить полимерное покрытие или замять панель в процессе монтажа или эксплуатации. В таком случае необходима либо косметическая коррекция царапины, либо замена панели (если она была сломана или замята);
- возможны промерзания панелей в стыках или образование льда в зимнее время;
- возможно вздутие металла или деламинирование (расслоение) панели [1].

Алюминиевые композитные панели

Среди всех стеновых сэндвич-панелей особо выделяют алюминиевые композитные панели. Алюминиевая композитная панель – это материал, состоящий из двух алюминиевых листов и композитного (пластикового либо высокоминерального полимерного) наполнителя между ними толщиной от 2,0 мм до 5,0 мм (рисунок 2) [6].

В дополнение к общим достоинствам сэндвич-панелей, эксплуатационный срок алюминиевых композитных панелей составляет более 50 лет на открытом воздухе. Они устойчивы к коррозии, влажному климату. Зимой, в морозные дни, характеристики алюминиевых композитных панелей не изменяются. Также они имеют высокую огневую устойчивость, высокую устойчивость к воздействию ультрафиолетового излучения и обладают хорошими антивибрационными свойствами, что делает их незаменимым материалом при отделке фасадов зданий, расположенных в местах с высоким уровнем шума.



Рисунок 2 – Структура алюминиевой композитной панели (собственность компании «Армада»)

В процессе их производства используются современные технологии и материалы, позволяющие снизить вес алюминиевых композитных панелей. Например, алюминиевые композитные панели легче керамического гранита более чем в 4 раза и легче асбоцементного листа более чем в 3 раза. Также эти панели устойчивы к загрязнению. Для этого обычно их покрывают полиэфирным лаком. Это дает гарантию того, что фасад не выгорит на солнце, не изменит цвет под воздействием атмосферной пыли и солевых взвесей.

Алюминиевые композитные панели с легкостью обрабатываются с помощью специального оборудования: фрезерные и гибочные станки, а также профессионального ручного инструмента. С помощью резки, сверления, фрезеровки, сгибания, клепания, вальцовки и сварки алюминиевым композитным панелям можно придавать множество различных форм. Алюминиевые композитные панели имеют важное свойство, необходимое при монтаже на-

весного вентилируемого фасада и интерьерной отделке зданий, – это изменение листовой формы на радиусную форму без расслоения материала при сгибании. Алюминиевые композитные панели также допускают оклеивание водостойкой пленкой, штамповку стальными инструментами, лакировку акриловыми и полиуретановыми лаками.

Сотовые сэндвич-панели. Сотовые металлоконструкции

Еще одним типом наполнителей сэндвич-панелей, который стоит выделить особо, являются сотовые конструкции. Они представляют собой разновидность ячеистых структур конструкционного назначения, формируемых из тонколистовых материалов и представляющих собой множество смежных изолированных друг от друга каналов, по форме напоминающих пчелиные соты (рисунок 3).

Как и в случае с сэндвич-панелями со стандартным наполнителем, внешние слои выполняются чаще всего из стекловолокна, либо из любого материала со схожими свойствами, включая дерево, термопласты (к примеру, меламин) и листовые металлы, такие как алюминий или сталь. Сотовые же наполнители могут быть выполнены как из бумаги или картона для малонагруженных конструкций с низкой прочностью и жесткостью (например, для использования в конструкции дверей), так и из прочных сверхлегких материалов для использования в авиационных конструкциях.

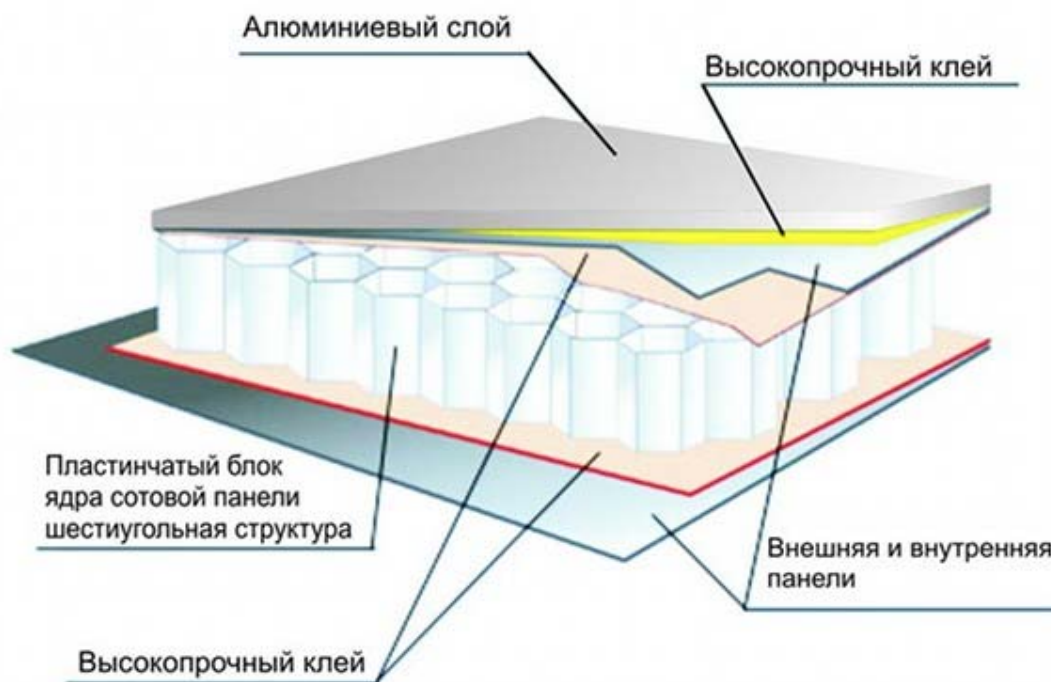


Рисунок 3 – Структура алюминиевой сотовой сэндвич-панели (УралСтройАльянс)

Из всех конструкционных материалов панели с сотовым наполнителем обеспечивают одно из самых высоких соотношений "прочность/масса" и "жесткость/масса". Наряду с этим, сотовый материал, состоящий до 95% из воздуха, обладает хорошей звуко- и теплоизоляцией, а также хорошо рассеивает энергию удара. В зависимости от вида материалов, панелям могут придаваться и другие требуемые свойства: металлические соты хорошо сохраняют тепло и термостойки, полимерные термопластичные соты легко формируются с приданием изделию нужной формы и пр. В некоторых ситуациях, сотовые наполнители могут быть обработаны для получения как плоских, так и криволинейных поверхностей без приложения излишних механических усилий и нагрева.

Термопластиковые сотовые конструкции обычно производят методом выдавливания, за которым следует разделение на слои для придания заготовке необходимой толщины.

Другие сотовые конструкции, выполненные, в частности, из бумаги (картона) или алю-

миния, изготавливаются методом многоэтапного процесса. В этом случае на большие тонкие листы материала (обычно размером 1200x2400мм) наносят с определенным шагом параллельные тонкие полоски клея, а затем эти листы складывают друг на друга и помещаются в нагретую прессовальную машину до тех пор, пока клей не схватится. Затем получившиеся слои растягиваются и получают лист с сотами в форме шестиугольника. Сотовая конструкция обычно поставляется потребителю в виде недеформированного цельного блока, а затем растягивается по форме листа прямо при сборке сэндвич-панели [4].

В случае с бумажными сотовыми конструкциями, пачка склеенных листов аккуратно растягивается, чтобы образовать блок сотовой заготовки шириной в несколько метров. Закрепленная в таком растянутом состоянии, эта непрочная бумажная конструкция погружается в резервуар со смолой, а затем, когда излишки смолы стекут с листов, всю конструкцию сушат в печи. Как только смола схватится, структура получает необходимую прочность для того, чтобы ее можно было разрезать на куски необходимой толщины.

В рассмотренных случаях, за счет изменения прилагаемой силы в процессе растягивания, могут быть получены различные по форме сечения ячейки: либо обычной шестигранной формы, либо четырехгранные (в случае сильно перетянутой шестиугольной ячейки, когда угол ее раскрытия равен 90 градусам), либо более сложные по форме, так называемые флексы-ячейки. Каждые из перечисленных видов сот наделяют панель различными механическими свойствами и характеристиками.

Свойства сотовых конструкций зависят от размера сот, толщины и прочности листового материала, из которого они были получены. Размеры листов могут находиться в диапазоне от 3 до 50 мм по толщине, а сами панели имеют размер примерно 1200x2400мм, хотя возможно произвести листы и размером до 3000x3000мм.

Одними из последних разработок в сфере сотовых сэндвич-панелей являются сотовые металлоконструкции. Разработки велись в течение последних 15 лет, а первыми исследованиями в этой области занимались финские учёные, которые проводили эксперименты с металлоконструкциями, используемыми в судопроизводстве. В подобных сэндвич-панелях все слои выполнены из листовой стали. Внешние панели выполняются из облегчённой стали, а между наружными листами находятся стальные соты. Эти панели можно разделить на три основных класса по структуре их среднего слоя:

- утеплитель с прямыми (вертикальными) ячейками;
- утеплитель с ячейками, расположенными под углом по отношению к наружному слою;
- утеплитель, в котором ячейки находятся под углом, а между ними и наружным слоем имеются перекрытия (многослойная конструкция) [3].

Данный вид сэндвич-панелей позволяет при сохранении прочности создать конструкцию на 30—50% легче обычных стальных конструкций. Однако, в зависимости от выбора класса наполнителя, сотовые конструкции будут иметь разные механические характеристики, то есть в диапазоне от 0 до 90 градусов относительно листа, и по-разному воспринимать нагрузки. Также, ввиду небольшой площади контакта сотового наполнителя с лицевыми поверхностями, такие сэндвич-панели должны изготавливаться либо с использованием высокотехнологичных клеев, такими как эпоксидные смолы, для получения необходимой адгезии, либо путем заполнения сот твердым вспененным материалом. Последний способ обеспечит необходимую площадь контакта с внешними поверхностями, повысит механические свойства сердцевины конструкции путем стабилизации стенок сот и повысит характеристики шумо- и теплоизоляции.

Аналогичные панели можно получить, используя алюминий вместо стали. Их относят к описанным ранее алюминиевым композитным панелям, средний слой которых представлен алюминиевым сотовым наполнителем (рисунок 3). Такие композитные панели обладают высокой жесткостью при еще более легком, чем у стальных конструкций, весе. Однако, в сравнении с другими алюминиевыми композитными панелями, у них есть ряд недостатков: они

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

хуже задерживают шум и тепло, легче деформируются (продавливаются), и, кроме того, они немного дороже из-за стоимости своего наполнителя.

Алюминиевые сотовые наполнители, вопреки их хорошим механическим характеристикам, в некоторых случаях должны применяться с осторожностью: к примеру, в больших корабельных конструкциях в связи с потенциальной возможностью появления коррозии при контакте с соленой водой. В таких ситуациях надо удостовериться, что сотовая конструкция не находится в прямом контакте с углеродистыми поверхностями, т.к. их электропроводность может усиливать гальваническую коррозию. Алюминиевые соты также имеют такой недостаток, как отсутствие «механической памяти». При столкновении сотовая конструкция деформируется необратимо, в то время как внешняя поверхность, если она выполнена из стеклопластика благодаря своей упругости вернется обратно в исходное положение. Это может привести к появлению зон, не связанных с внешней облицовочной поверхностью, со значительно сниженными механическими характеристиками.

Сэндвич-панели из вспененного алюминия

Самыми последними на рынке появились сэндвич-панели из вспененного алюминия. Они представляют собой два листа обычного алюминия, между которыми находится слой из вспененного алюминия.

Впервые вспененный алюминий появился примерно в 1950 году, практически в то же время, когда вспененные пластики, такие как полиуретановые пены, стали применяться в мебели и обивке салона автомобиля, а дутый полистирол фирмы Stygofoam стал основным материалом для производства стаканов для горячих напитков и упаковок для чипсов. Однако, как выяснилось, наполнить пластик большим количеством пузырей довольно просто, в то время как проделать ту же операцию с куском алюминия гораздо сложнее. Поэтому сэндвич-панели из данного материала сильно запоздали относительно своих конкурентов. Только к середине 1990-х годов ученым удалось освоить все тонкости получения вспененного алюминия и вывести его производство на уровень, близкий к промышленному. При этом прямых конкурентов у сэндвич-панелей с таким высокотехнологичным наполнителем, как вспененный алюминий на сегодняшний день нет, потому что в тех сферах, где предполагается его применение, не все конкуренты решатся попробовать свои силы [9].

В целом вспененные металлы являются довольно сложными системами как по макро-, так и по микроструктуре. Микроструктура и их механические свойства регулируются составом сплава, условиями вспенивания и охлаждения и возможной термической обработкой материала после вспенивания. Макроскопические морфологические характеристики, такие как размер пор или кривизна стенок ячеек, имеют явно выраженное влияние на механические свойства. Однако при всей возможной вариативности своих характеристик, вспененный алюминий всегда остается легким, прочным материалом, способным поглощать большое количество механической энергии, электромагнитное излучение, обладающий завидной тепло- и шумоизоляцией и, что особенно важно в наше время при борьбе за экологию, – практически полной перерабатываемостью.

Однако следует отметить, что ни одна характеристика пенометалла не является чем-то особенным – большинство из них доступны и в других материалах. Коммерческий интерес к металлическим пенам в целом – и к алюминиевым пенам в частности – лежит в уникальной комбинации этих характеристик, которой нет ни у одного другого материала. Материалы из вспененных металлов становятся наиболее конкурентоспособными в тех случаях, когда задействуются не одно, а два или даже большее количество их свойств.

Как только данный материал попал на рынок, им заинтересовались разные отрасли и за счет своих физических свойств он смог найти себе применение в различных областях. Вспененный алюминий сегодня применяется в основном в качестве структурного материала для создания легковесных конструкций, материала для поглощения энергии в случае аварии, а также в качестве изоляционного материала. Однако сам по себе вспененный алюминий не

является оптимальным решением инженерных задач и проблем. Оптимизация жесткости такого материала как раз и привела к созданию сэндвич-панелей с прочными внешними листами из того же металла, что и сама пена, а не к простым панелям из вспененного материала.

Производство сэндвич-панелей стало возможным благодаря тому, что учеными однажды было предложено добавить один дополнительный этап в технологический процесс производства вспененного алюминия. Т.е. вместо непосредственного вспенивания расплавленного металла, они получали полуфабрикат, содержащий в себе равномерно распределенный порофор (вещество, которое содержит большое количество газа и выделяет его при нагреве). Порофор подбирают так, чтобы он выделял газовую составляющую при температуре солидус-ликвидус выбранного сплава. Образование же пенной структуры происходило на втором этапе при плавлении заготовки, в процессе чего внутри заготовки выделялся газ, и образовывавшиеся пузырьки многократно увеличивали объем, занимаемый металлом. Преимущество данной технологии заключается в том, что можно производить детали сложной формы за счет того, что их литейные формы целиком заполняются пеной при ее расширении. Вспениваемые заготовки могут быть изготовлены тремя способами: уплотнением порошковой смеси в твердом состоянии, приданием порошковым смесям необходимой формы заготовки при помощи тиксотропного отлива, а также за счет добавления порошка порофора в расплав и последующего резкого охлаждения, дабы избежать преждевременного разложения частиц порофора.

Самый простой – порошковый метод получения заготовки – начинается со смешивания металлических порошков – простых металлических порошков либо порошков различных сплавов или смесей – со вспенивающим веществом (порофором), после чего смесь уплотняется для получения плотной заготовки, чтобы при вспенивании выделяющийся газ просто не улетучился бы из материала.

Уплотнение может быть достигнуто холодным прессованием порошковой смеси с последующей холодной экструзией, либо за счет проката металлического порошка. Трение между частицами в процессе этих операций разрушает оксидную пленку на частицах и соединяет их вместе. Производство заготовки должно осуществляться очень тщательно, вследствие возможности возникновения остаточной пористости или любых других дефектов, которые могут привести к неудовлетворительным результатам при дальнейшей обработке.

В качестве альтернативы порошковая смесь может быть спрессована с подогревом до температуры ниже той, которая может вызвать разложение порофора. В некоторых случаях возможно спрессовать порошки и при температуре выше температуры разложения вспенивающего вещества, т.к. его порошок оказывается зажат между частицами металла, нагретыми до температуры, не превышающей температуру их плавления, и разложение порофора сдерживается высоким давлением. Структура пор получаемых из этих заготовок пеноматериалов сильно зависит от температуры прессования, температуры и длительности спекания и типа используемых сплавов, а также незначительно зависит от скорости, при которой заготовка нагревается на втором этапе производства [8].

Метод горячего прессования используется в основном для производства пен из алюминия, а в качестве вспенивающего агента используется гидрид титана (TiH_2), бикарбонат натрия ($NaHCO_3$) или карбонат кальция ($CaCO_3$) в количестве от 0.5 до 1% от общей массы. Этот метод используется на рынке компанией Alulight International для производства пен из различных алюминиевых сплавов с пористостью в диапазоне от 63 до 89% и размером пор примерно в миллиметр, что проиллюстрировано на рисунке 4. Эта технология и легла в основу создания сэндвич-панелей из вспененного алюминия, благодаря тому что этот метод позволяет легко получить заготовку, имеющую изначально листовую форму.

Технология производства таких сэндвич-панели начинается с плакирования (совместная прокатка) двух обычных листов металла с листом вспениваемого материала, размещенного между ними. Затем заготовку формуют с применением обычных штамповочных опера-

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

ций, в результате чего можно получить поверхность практически любой кривизны, что является неоспоримым преимуществом данного метода перед такими конкурирующими материалами, как сотовые или вафельные конструкции. Последним этапом является нагрев детали до температуры, когда смесь алюминиевого порошка с порофором превращается в пену. При этом вспениваемый средний слой увеличивается в размерах, а наружные панели фактически свариваются с пеной, что и приводит к образованию сэндвич структуры.

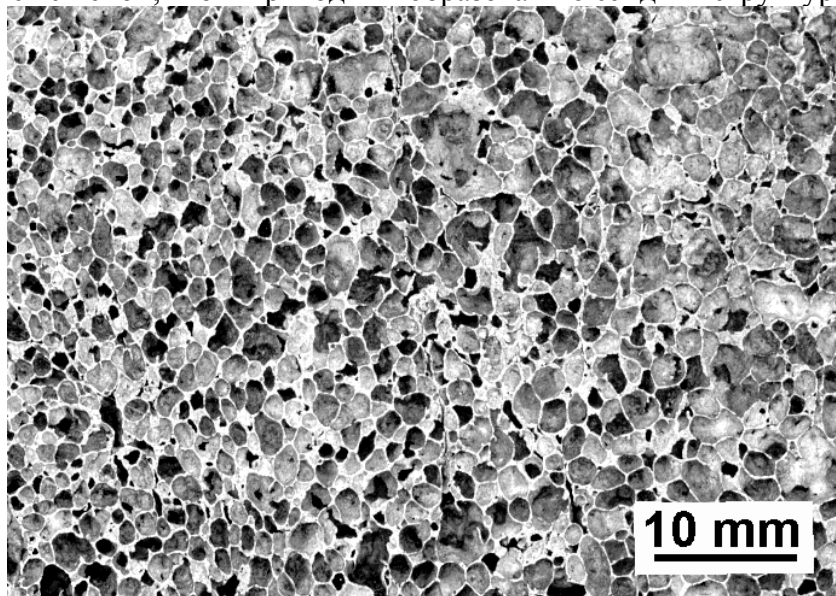


Рисунок 4 – Пена, полученная при двухэтапном процессе из вспениваемой заготовки, полученной из металлических порошков и последующего их спекания

Эта технология была разработана в 1994 году фирмой Fraunhofer-IFAM в Бремене совместно с немецким автопроизводителем Karmann GmbH и носит название AFS – Aluminium Foam Sandwich. На рисунке 5 лицевая поверхность сэндвич-панели загнута для того, чтобы можно было увидеть пористую внутреннюю структуру. Стоит отметить, что сила соединения между лицевой поверхностью и вспененной сердцевиной больше, чем сила, связывающая сам вспененный материал.

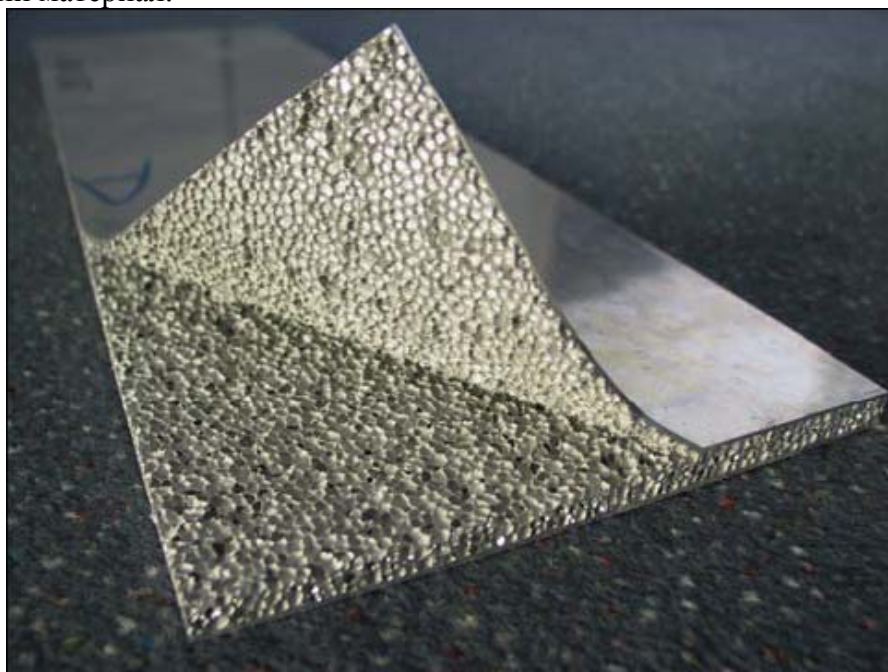


Рисунок 5 – Сэндвич-панели из вспененного алюминия (AFS), произведенные фирмой Karmann, Osnabruck (Германия) (собственность Karmann GmbH)

Данный материал обладает высокой удельной жесткостью, малой термической и электрической проводимостью, отличной звукоизоляцией, не горит и хорошо подходит для поглощения и демпфирования энергии удара, а также снижает вес выполненных из него конструкций. Сделанные по технологии AFS панели на 50% легче и на 10% жестче аналогичных стальных. Кроме того, сэндвич-панели стойки к механическим воздействиям и могут быть полностью переработаны после окончания срока службы.

Примеры использования сэндвич-панелей из вспененного алюминия

Такие панели могут быть использованы в авиастроении в качестве деталей фюзеляжа, что позволит создавать самолеты с лучшими показателями по потреблению топлива, грузоподъемности и безопасности. Кораблестроители также заинтересованы в подобных материалах, особенно для надпалубных конструкций на высокоэффективных военно-морских судах. Экономия веса позволит увеличить скорость корабля, а более легкие палубные строения делают его более стабильным – ведь чем меньше вес выше ватерлинии, тем меньше корабль стремится опрокинуться. За счет уникальных несущих способностей сэндвич-панелей, в сочетании с их изоляционными свойствами, из них планируют производить внутренние и внешние перегородки и полы в пассажирских железнодорожных вагонах и вагонах метро.

В сочетании с новыми конструктивными принципами AFS может заменить стандартные штампованные стальные детали в автомобиле и привести к значительному снижению его веса. В то же время они могут снизить число деталей в раме автомобиля, облегчить конструкцию и, следовательно, снизить стоимость со значительным улучшением рабочих характеристик, потому что сэндвич-панели, кроме того что легки, еще и поглощают вибрацию. AFS-панели могут быть соединены друг с другом при помощи алюминиевых деталей (профилей) различными методами сварки, что облегчит их применение в кузове автомобиля.

Для демонстрации этого немецкая фирма Karmann спроектировала опытный кузов AFB (Aluminum Foam Body) и представила данный автомобиль в 1998 году на автосалоне в Детройте (рисунок 6). Наружные панели кузова AFB сделаны по сэндвич технологии, а силовым элементом является пространственная алюминиевая рама. Жесткость кузова удалось увеличить на 30%. Руководитель проекта Вольфганг Туров отмечает, что подобным образом можно сделать кузов любого автомобиля — от кабриолета до минивэна. Специалисты полагают, что в ближайшие годы алюминиевые сэндвич-панели смогут вытеснить до 20% кузовных элементов [10].



Рисунок 6 – Автомобиль, кузовные панели которого выполнены из сэндвич-панелей из вспененного алюминия (собственность Karmann)

Недавно Advanced Light-Weight Materials (ALM) – дочерняя компания фирмы Karmann, занимающаяся вспененными металлами, сконструировала оригинальный подъемный кран с ремонтной платформой, установленный на небольшом грузовичке (рисунок 7).

Целью работы было увеличение максимальной высоты подъемника с 20 до 25 метров при сохранении массы грузовика до 3,5 тонн, т.к. в противном случае он попадал бы в другую категорию. Это повлекло бы за собой необходимость получения специального водитель-

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

ского удостоверения персоналом и вылилось бы в большую себестоимость работ, выполняемых данным грузовиком. Расчет элементов подъемника показал, что сварные конструкции на основе алюминиевых деталей не в состоянии выдержать вес платформы, в то же время стальная конструкция будет весить как минимум на 80кг больше, чем дозволено техническим заданием. Для решения данной задачи с успехом были использованы AFS панели. Решение заключалось в использовании плоских AFS панелей, сваренных методом МИГ-сварки (рисунок 7). Общий вес конструкции составил 105кг, что было вполне допустимо. Вертикальное усилие в поворотной точке крана составило 65кН, момент в основании крана был равен 85кНм. Элементы конструкции были протестированы на постоянных и циклических нагрузках (до 8000 циклов), и не было обнаружено ни малейшего повреждения. В данный момент осуществляется мелкосерийное производство деталей для подобной подъемной системы фирмой Teupen GmbH Gronau (Германия) [7].



Рисунок 7 – Основание подъемного крана выполненного из AFS-панелей фирмой Advanced Light-weight Materials GmbH из Saarbtucken, Германия (собственность ALM)

В дополнение ко всем приведенным выше применениям на транспорте сэндвич-панели из вспененного алюминия могут применяться и в стандартной для всех сэндвич-панелей области – в строительстве. Несущая способность описанных панелей намного выше стандартных композитных, и поэтому они могут использоваться не только в качестве облицовки, но и непосредственно в качестве легкого строительного материала. Их можно применять для строительства магазинов, киосков, выставочных стендов, внутренних и внешних фасадов, перегородок, потолков и стен зданий и сооружений повышенной безопасности, например пешеходных галерей [12].

Сэндвич-панели можно использовать в качестве электромагнитных экранов в виде настенных плит, защищающих от проникновения излучения электромагнитных волн частотой от 0,1 до 1000 МГц, а также в виде ограждения сооружений, создающих электромагнитные поля (трансформаторы, ЛЭП, РЛС). С целью снижения шума, сэндвич-панели из вспененного алюминия можно использовать в качестве шумозащитных экранов, например, на МКАДе. Аналогичные панели уже применяются в Японии для облицовки внутренних поверхностей туннелей [9, 11]. Вспененный алюминий дает приглушенный звук внутри туннелей, а за счет способности алюминия противостоять коррозии, панели получаются очень долговечными. Также сэндвич-панели из вспененного алюминия применяют в качестве тепловых экранов в различных цехах либо на транспорте.

Резюме

Сэндвич-панели из вспененного алюминия по своим качествам значительно превосходят другие типы сэндвич-панелей и имеют намного более широкий спектр применения. Вспененный алюминий сочетает в себе уникальные свойства: высокую удельную жесткость,

возможность поглощать большое количество энергии, низкую плотность; высокий уровень энерго- и звукопоглощения; хорошую теплоизоляцию и устойчивость к огню; низкую гигроскопичность; широкий диапазон рабочих температур; а также хорошую рециркулируемость. В комбинации с цельнометаллическими внешними листами мы получаем практически идеальный современный материал.

В отличие от сотовых материалов, сэндвич-панели из вспененного алюминия могут одинаково воспринимать нагрузку, направленную под разными углами к конструкции. В отличие от стандартных сэндвич-панелей, они могут образовывать конструкции не только не уступающие по своим характеристикам конструкциям, выполненным из стандартных материалов, но еще и наделять эти конструкции новыми качествами.

Недостатком любой стандартной сэндвич-панели является то, что все ее три основных слоя склеены друг с другом, и при повышенных нагрузках они склонны к расслоению. Сэндвич-панели из вспененного алюминия не обладают этим недостатком, т.к. в процессе их производства наружные панели спекаются с алюминиевой пеной, образуя почти единый, монолитный материал. Вдобавок ко всему, панелям можно придать почти любую объемную форму, деформируя заготовку перед вспениванием. В сравнении с алюминиевыми композитными панелями с неметаллическим наполнителем, которые тоже можно формовать, качество, диапазон и точность получаемых поверхностей несравнима с тем, что можно получить, используя в качестве наполнителя вспененный металл.

За счет использования подходящих металлических порошков можно получить широкий спектр сплавов, а при выборе необходимых термических обработок в процессе вспенивания можно добиться такой структуры пор, которая даст необходимые механические характеристики.

Основным недостатком технологии порошковой металлургии, а следовательно, и производства сэндвич-панелей из вспененного алюминия, является относительная дороговизна их производства, связанная с необходимостью получать, смешивать и обрабатывать мелкозернистые металлические порошки. Из-за своей стоимости, как уже отмечалось, вспененный алюминий рационально использовать так, чтобы было одновременно задействовано как можно больше его положительных свойств.

Работа в направлении дальнейшего развития сэндвич-панелей может позволить получить новые технологии и новые типы материалов и сэндвич-панелей, которые помогут решить разнообразные проблемы, стоящие сегодня перед инженерами.

Литература

1. Сэндвич-панель, <http://ru.wikipedia.org/>
2. What Is a Sandwich Panel, <http://www.sandwichpanels.org/>
3. Сэндвич-панели сегодня, <http://www.arlift.ru/>
4. Core Materials in Polymeric Composites, The "AZo Journal of Materials Online", www.AZoM.com
5. Производство сэндвич-панелей, <http://www.arlift.ru/>
6. Алюминиевые композитные панели, <http://www.e-plastic.ru/>
7. John Banhart Aluminium foams for lighter vehicles. International Journal of Vehicle Design, 2003 – 1
8. Two-stage process: Use of a foamable precursor, Dave Curran <http://www.msm.cam.ac.uk/mmc/people/old/dave/method12.html>
9. Michael Judge Foam sweet foam. magazine «New Scientist» issue 2101, 1997.
10. Вместо стали — алюминиевый сэндвич. АвтоРевю, № 8 (171), 1998
11. Применение пеноалюминия в транспорте. Л.А. Лебедева, В.И. Лебедев, Е.И. Старовойтенко, В.И. Комов, ОАО «ВИЛС»
12. Цукров С. Вспененный алюминий. Московское представительство ОАО "НУМЗ".