

ближайшего большего целого числа и получаем уточненное значение количества слоев $n_{\text{КМ}}^y$, затем производим уточненный расчет толщины сплошного слоистого композита:

$$h_{\text{КМ}}^y = n_{\text{КМ}}^y \cdot h_{\text{КМ}}^1 \quad (6)$$

Поверхностную плотность сплошного композита $\gamma_{\text{КМ}}$ возможно определить по требуемому количеству слоев $n_{\text{КМ}}^y$ и поверхностной плотности для одного слоя композита $\gamma_{\text{КМ}}^1$, определенной в свою очередь также путем соответствующих измерений:

$$\gamma_{\text{КМ}} = n_{\text{КМ}}^y \cdot \gamma_{\text{КМ}}^1 \quad (7)$$

Итак, получив все исходные данные, вычисляем по формуле (1) искомое относительное изменение поверхностной плотности $\gamma\%$.

По результатам исследований получили следующие граничные значения для относительного изменения (снижения) поверхностной плотности в результате применения СК вместо сплошного композита при использовании для сплошного композита и внешних слоев СК ткани с поверхностной плотностью:

- 280 г/м² (по два слоя с каждой стороны в СК) – до 30%;
- 110 г/м² по одному слою с каждой стороны в СК – до 130%.

Естественно, на полученные результаты влияют два основных фактора: структура материалов (компонентный состав, их соотношения) и метод получения как СК, так и сплошного композита, поэтому результаты применимы только к экспериментальным образцам, полученным в лабораторных условиях.

На предприятиях по производству изделий из полимерных волокнистых композитов часто относительно ограниченный ассортимент тканей, компонентов для матричных композиций и заполнителей, а также парк технологического оборудования для получения как сплошного композита, так и СК. Поэтому проведение комплекса исследований различных комбинаций компонентов для СК позволит создать на предприятии собственную базу для оперативного обоснованного выбора между сплошными композитами и СК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А. Я., Бородин М. Я., Павлов В. В. Конструкции с заполнителями из пенопластов – Москва, 1962. – 186 с.

Значения поверхностных плотностей зависят как от поверхностных плотностей компонентов СК (волокнуистого наполнителя и заполнителя) в исходном состоянии, так и от технологии совмещения компонентов.

В связи с этим поверхностную плотность СК $\gamma_{СК}$ для каждой комбинации компонентов определяли экспериментальным путем.

Определяли также экспериментальным путем модуль упругости внешних слоев.

Для оценки жесткости при изгибе будем применять расчеты для сплошного композита и испытывать образцы СК по трехточечной схеме нагружения.

Жесткость при трехточечном изгибе для СК можно также определить расчетным путем по экспериментально определенным характеристикам: отдельно для внешних слоев и внутреннего слоя-заполнителя. Однако, суть этих экспериментов так же сводится к испытаниям на изгиб СК.

Итак, жесткость при трехточечном изгибе для «сэндвич»-конструкции, вычисляемая по результатам испытания по трехточечной схеме нагружения:

$$D_{СК} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot f}, \quad (2)$$

где F – прикладываемое усилие; L – расстояние между опорами; f – прогиб.

Для сплошного композита жесткость при изгибе вычисляется как произведение модуля упругости E_{KM} на осевой момент инерции сечения $I_{KM} = b \cdot h_{KM}^3 / 12$, тогда:

$$D_{KM} = E_{KM} \cdot b \cdot h_{KM}^3 / 12. \quad (3)$$

Выразив из (3) значение толщины сплошного композита h_{KM} и, приравняв обе жесткости по формулам (2) и (3), получим:

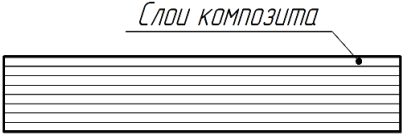
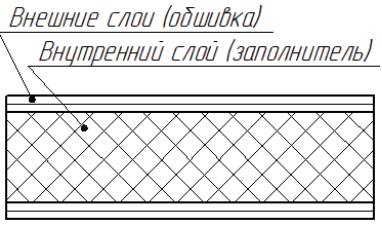
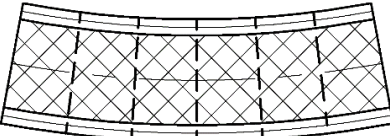
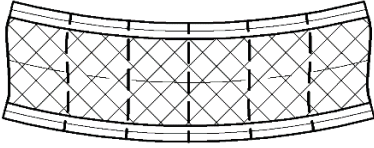
$$h_{KM} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot D_{СК}}{E_{KM} \cdot b}} \quad (4)$$

Определяем количество слоев для набора h_{KM} , зная путем измерения толщину одного слоя композита h_{KM}^1 , применяемого как для внешних слоев (обшивок) СК, так и для составления сплошного композита:

$$n_{KM} = h_{KM} / h_{KM}^1 \quad (5)$$

При необходимости, округляем полученное значение n_{KM} до

Таблица – Деформированное состояние слоистых композитных панелей различной структуры

Состояние	Сплошной композит	«Сэндвич»-конструкция
До деформирования		
После деформирования (изгиб)	 Поперечные сечения остаются плоскими	С жестким заполнителем  Поперечные сечения остаются плоскими
		С податливым заполнителем  Происходит депланация поперечных сечений

В данном случае оценку эффективности применения СК для снижения массы изгибаемых панелей из сплошного композита целесообразно производить по относительной разности ($\gamma\%$) поверхностных плотностей (отношение массы панели к площади ее поверхности) для образцов из СК ($\gamma_{СК}$) и сплошного слоистого композита ($\gamma_{КМ}$), составленного из материала для внешних слоев СК и который по жесткости был бы эквивалентен СК:

$$\gamma_{\%} = \frac{\gamma_{КМ} - \gamma_{СК}}{\gamma_{КМ}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Для проведения исследований изготовили образцы СК: внешние слои – на основе терморепактивного матричного полимера и стеклянных тканей с поверхностной плотностью от 110 до 280 г/м² (уложены по одному или по два слоя); заполнитель – пористый полимерный волокнистый материал толщиной 1,5 мм.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ «СЭНДВИЧ»-КОНСТРУКЦИЙ В ИЗГИБАЕМЫХ ПАНЕЛЯХ

Один из способов повышения эффективности использования ряда изделий – снижение их массы их составных частей с сохранением требуемых эксплуатационных характеристик.

В работе рассматриваются панели, подверженных при эксплуатации изгибу, а, следовательно, основные требования к ним – обеспечение условий прочности и жесткости при изгибе. В этой связи естественно стремление использовать для таких панелей материалы с высокой удельной жесткостью и прочностью (здесь под удельными характеристиками подразумевается отношение соответственно модулей упругости или опасных напряжений к объемной или поверхностной плотности материала). Достигается это, например, применением полимерных волокнистых композиционных материалов, чаще – слоистой структуры. Также известно, что для изгибаемых плоских или оболочковых элементов конструкций ввиду характера распределения напряжений по их толщине (на противоположных поверхностях – максимальные растягивающие и сжимающие напряжения, в срединной (обычно) плоскости – напряжения равны нулю) не всегда целесообразно применять однородный по толщине (сплошной) композит. Поэтому часть слоев волокнистого композиционного материала из срединной части заменяют, например, заполнителем (вспененные, сотовые материалы, волокнистые нетканые полимерные материалы и т.п.) со значительно меньшей плотностью, получая таким образом «сэндвич»-конструкцию (СК). Необходимо отметить, что толщина панели при этом может несколько увеличиться.

Цель работы – сформировать методику оценки эффективности применения «сэндвич»-конструкции для снижения массы изгибаемых панелей вместо панелей из сплошного композита.

Заполнитель обеспечивает совместную работу наружных слоев и препятствует их местной потере устойчивости. При этом поведение при изгибе СК и сплошного композита отличаются (см. таблицу) [1].

Одним из критериев работоспособности панелей из СК выступает соблюдение условий жесткости при изгибе, т. е. жесткость панели из сплошного композита и из СК должны быть равными.