

УДК 629.7.023

О.А. Карпикова, В.И. Сливинский, Г.В. Ткаченко
**СОТОВЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Аннотация. Рассмотрены возможности изменения физико-механических характеристик сотов от геометрических параметров ячейки и свойств материала. Получены аналитические зависимости плотности, пределов прочности и модулей упругости при сдвиге для сотового заполнителя с ячейкой обобщенной формы.

Ключевые слова: сотовый заполнитель, трехслойная сотовая конструкция, физико-механические характеристики, ячейка обобщенной формы.

В ряде отраслей промышленности широкое применение получили трехслойные конструкции с сотовым заполнителем (СЗ). Применение таких конструкций – эффективное весовое совершенствование изделий.

В связи с этим создание СЗ с регулируемыми физико-механическими характеристиками (ФМХ) является актуальным.

В изделиях преобладают СЗ с ячейкой в виде правильного шестигранника [1-3]. Такая форма ячейки имеет фиксированное соотношение модулей сдвига в ортогональных направлениях, т.е. $G_{xz}/G_{yz} = \text{const}$ (G_{xz} и G_{yz} – модуль сдвига в сильном и слабом направлениях соответственно).

В [4] приведен сотовый заполнитель с ячейкой, отличной от шестигранной формы, имеющий одинаковую прочность на сдвиг в направлениях главных осей.

Жесткая фиксация соотношений модулей сдвига в ортогональных направлениях снижает возможности регулирования несущей способности сотовых конструкций (СК) при различных спектрах силовых воздействий.

Проведены исследования по созданию СЗ с ячейкой обобщенной формы, позволяющей регулировать соотношения его сдвиговых характеристик в широком диапазоне.

На рис.1 показана ячейка обобщенной формы, где a_s – размер стороны ячейки; k , c – коэффициенты формы ячеек; δ , δ_k – толщина материала СЗ и толщина клея; β – угол раскрытия ячейки.

Придавая различные численные значения параметрам a_s , k , c , δ , δ_k , β можно в широких пределах регулировать (изменять) ФМХ СЗ в соответствии с эксплуатационными воздействиями на СК.

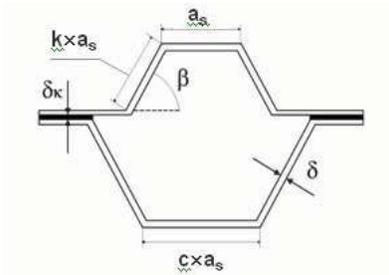


Рисунок 1 - Ячейка обобщенной формы

С целью определения влияния формы ячейки СЗ на его ФМХ из фольги АМг2-Н толщиной 30 мкм изготовлены образцы трех типов ячеек (рис.2).

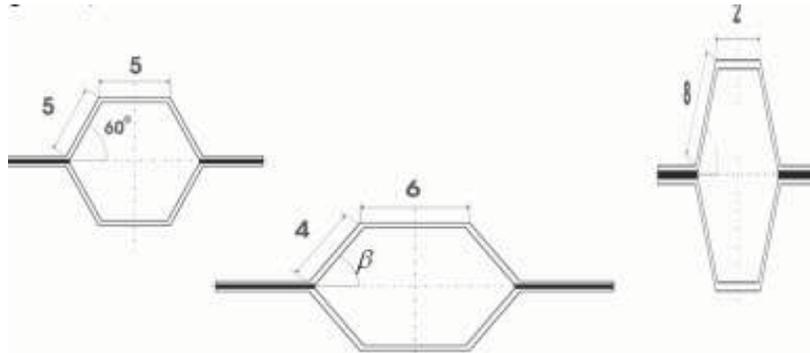


Рисунок 2 - Ячейки 3-х типов: I – правильный шестигранник; II – шестигранник с удлиненной двоянной гранью; III – шестигранник с удлиненной одинарной гранью.

Форма ячейки I получена в результате нанесения на рулонную фольгу методом глубокой печати полос клея шириной a с шагом t , последующего набора длиномерного материала в пакет со смещением на половину шага полос клея в шахматном порядке (рис. 3).

С целью получения СЗ минимальной массы определен оптимальный угол раскрытия ячейки по формуле

$$\beta_{opt} = \arccos \frac{\sqrt{(1+c)^2 + 32k^2} - (1+c)}{8k}. \quad (1)$$

В случае правильного шестигранника $\beta_{opt}=60^\circ$ и коэффициенте формы ячейки $k=1$.

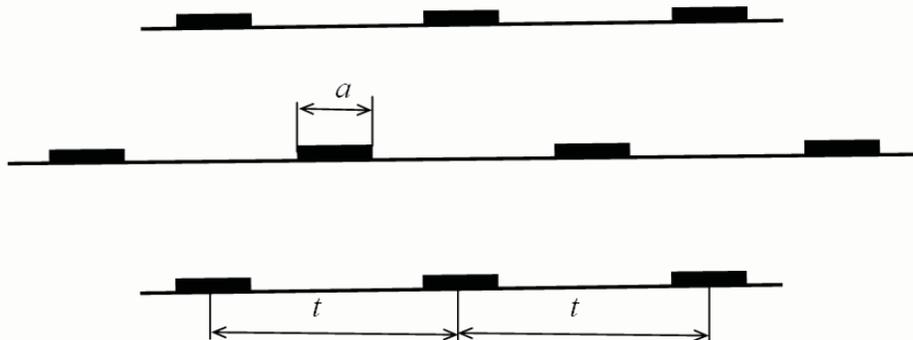


Рисунок 3 - Формирование сотопакета

В таблицах 1, 2 приведены абсолютные и удельные ФМХ СЗ для ячеек трех типов.

Таблица 1

Абсолютные физико-механические характеристики СЗ

Тип ячейки	Плотность γ , кг/м ³	Прочность при сдвиге, МПа		Модуль упругости при сдвиге, МПа	
		τ_{xz}	τ_{yz}	G_{xz}	G_{yz}
I	27,0	0,5	0,4	103	84
II	34,0	0,8	0,4	184	105
III	21,5	0,3	0,3	83	51

Таблица 2

Удельные физико-механические характеристики СЗ

Тип ячейки	Плотность γ , кг/м ³	Удельная прочность при сдвиге, км		Удельный модуль упругости при сдвиге, км	
		τ_{xz}/γ	τ_{yz}/γ	G_{xz}/γ	G_{yz}/γ
I	27,0	1,63	1,33	382	311
II	34,0	2,22	1,11	536	307
III	21,5	1,95	1,23	385	235

Анализ результатов, приведенных в таблицах 1, 2, показал, что изменяя соотношение между размерами склеенных и одинарных граней ячейки можно увеличить плотность сотов на 26% (тип ячейки II) или уменьшить ее на 20% (тип ячейки III). Базовыми для

сравнения объемной массы и механических характеристик служат ячейки I типа.

Следует отметить, что изменения геометрических параметров рассмотренных ячеек позволяют варьировать прочностью при сдвиге τ_{xz} – от -29,6% до +71,1%; τ_{yz} – от -26,2% до +5,8%; модулем упругости при сдвиге G_{xz} – от -19,6% до +77,1%; G_{yz} – от -39,98% до +24,3%. Соотношения G_{xz}/G_{yz} изменяются от 1,23 до 1,75, а соотношения τ_{xz}/τ_{yz} – от 1 до 2.

Проведенный эксперимент демонстрирует возможности регулирования (изменения) ФМХ СЗ за счет изменения соотношения между двойными (сдвоенными) и одинарными гранями ячейки.

Кроме того, изменять ФМХ СЗ можно варьируя размером ячейки, коэффициентом формы ячейки k , толщиной и маркой материала основы СЗ.

Получены аналитические зависимости для СЗ с ячейкой обобщенной формы от геометрических параметров ячейки СЗ, толщины материала и его свойств. ФМХ СЗ от входящих параметров выражены формулами (1) – (5):

$$G_{yz} = 0,75 \frac{k \delta G \sin \beta}{a_s (1 + k \cos \beta)}; \quad G_{xz} = 0,75 \frac{\delta G (1 + k \cos^2 \beta)}{k a_s \sin \beta (1 + k \cos \beta)}; \quad (2) \quad (3)$$

$$\tau_{yz} = 0,3 \frac{\delta \sigma}{a_s (1 + k \cos \beta)}; \quad \tau_{xz} = 0,3 \frac{\delta \sigma (1,15 + k \cos \beta)}{k a_s \sin \beta (1 + k \cos \beta)}; \quad (4) \quad (5)$$

где G , τ – прочность и модуль при сдвиге материала СЗ, σ – прочность при растяжении материала СЗ.

Плотность (γ) СЗ – одна из важнейших весовых характеристик.

В аналитической зависимости плотности СЗ с ячейкой обобщенной формы реальный наполнитель заменяется на условный, эквивалентный по массе реальному, представляющий собой сплошное по объему ортотропное тело.

Такой подход позволяет получить зависимость плотности СЗ с ячейкой обобщенной формы от свойств исходных материалов, геометрических и технологических параметров.

$$\gamma = \frac{\delta \rho (1 + k)}{k a_s \sin \beta (1 + k \cos \beta)}, \quad (6)$$

где ρ – плотность материала СЗ.

Плотность СЗ является функцией угла раскрытия ячейки $\gamma=f(\beta)$ и имеет минимум (рис. 4).

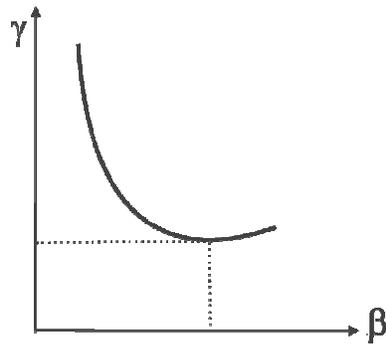


Рисунок 4 - Зависимость плотности СЗ от угла раскрытия

На рис.5 приведена серия графиков для определения оптимального угла раскрытия ячейки β_{opt} от коэффициентов формы ячейки k и c , изменяющихся в пределах: k – от 1 до 4; c – от 1 до 7.

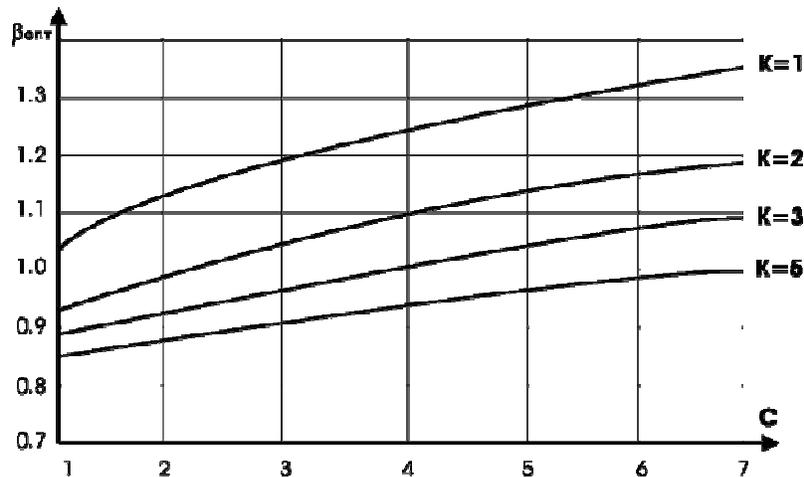


Рисунок 5 - Номограмма зависимости оптимального угла раскрытия ячейки от коэффициентов формы ячейки

Выводы

Проведенные исследования показали возможность регулирования ФМХ сотов из фольги за счет изменения соотношения одинарных и склеенных граней ячеек.

Показана возможность изменения в нужном направлении в СЗ упругих характеристик, плотности, соотношений G_{xz}/G_{yz} и τ_{xz}/τ_{yz} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с заполнителем: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
2. Иванов А.А., Кашин С.М., Семенов В.И. Новое поколение сотовых заполнителей для авиационно-космической техники. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 436 с.
3. В.Т. Astrom. Sandwich Manufacturing: Past, Present and Future/ Ed. J.R. Vincon: Rubl. Company-Stockholm, 1999. – 198 p.
4. Пат. №3563840 США, МКИ В 32 В 3/12 Honeycomb heving equal shear strength properties/Walter E. Stine.