

Дефекты формы ячейки сотового заполнителя, возникающие в процессе формообразования сотового пакета, и их регламентация

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Дальнейшее совершенствование конструкций авиационно-космической техники (АКТ) в целях снижения их массы неразрывно связано с применением новых материалов и реализующих их конструктивно-технологических решений (КТР). В числе эффективных КТР все более широкое применение находят трехслойные конструкции с сотовым заполнителем (СЗ), обеспечивающие при существенном снижении массы высокую несущую способность и обладающие рядом других полезных эксплуатационных характеристик [1].

Однако реализация преимуществ сотовых конструкций в значительной степени зависит в первую очередь от технологии производства СЗ, на всех стадиях которого неизбежны отклонения от номинальных параметров, в связи с чем возникла проблема нормирования полей допусков на эти отклонения и дефекты [2].

Методы нормирования ряда дефектов и отклонений от номинальных значений технологических и конструктивных параметров изложены в наших работах [3 - 5]. Настоящая статья посвящена анализу дефектов формы ячейки СЗ, возникающих в процессе формообразования сотового пакета, и их регламентации.

Дефекты формы ячейки являются следствием влияния следующих отклонений от своих номиналов:

- ширины клеевой полосы $a_c \pm \Delta a_c$, равной стороне грани сотовой ячейки;
- шага клеевых полос $t \pm \Delta t = 3(a_c \pm \Delta a_c) \pm \Delta t$;
- межцентрового расстояния между фиксирующими штырями, используемыми для формирования сотового пакета $l_1 \pm \Delta l_1$ (рис.1);
- размера от сборочной вертикальной базовой планки 1 до центра первого фиксирующего штыря $l_0 \pm \Delta l_0$ (рис. 1).

На рис. 1 показана схема сборки сотового пакета в простейшем фиксирующем приспособлении. Вертикальную базовую планку 1 устанавливает и фиксируют на основании сборочного приспособления, в котором имеются фиксирующие листы фольги и базовые штыри (см. ниже).

Предварительно фольгу нарезают на заготовки требуемой длины в специальной оснастке. Заготовки разделяют на две равные части (пакеты). Каждый пакет устанавливают в сборочную оснастку, торцуют по вертикальной базовой планке и фиксируют. На зафиксированный пакет устанавливают плоский шаблон с отверстиями под фиксирующие базовые штыри.

Для предварительного сверления отверстий в пакетах используют два шаблона. Отверстия в первом шаблоне просверлены на расстоянии $(l_0 + l_1)$ от левой базовой грани шаблона 1. Отверстия во втором шаблоне просверлены на расстоянии l_1 от левой стороны шаблона. Расстояние l_0 выбирают произвольно, но кратным $1,5a_c$. Размер l_1 равен $l_1 = 1,5a_c$. Таким образом,

$l_0 + l_1 = A \cdot 1,5a_c + 1,5a_c = 1,5a_c(1 + A)$, где A - целое число. Каждый из пакетов сверлят в фиксирующем приспособлении по своему шаблону.

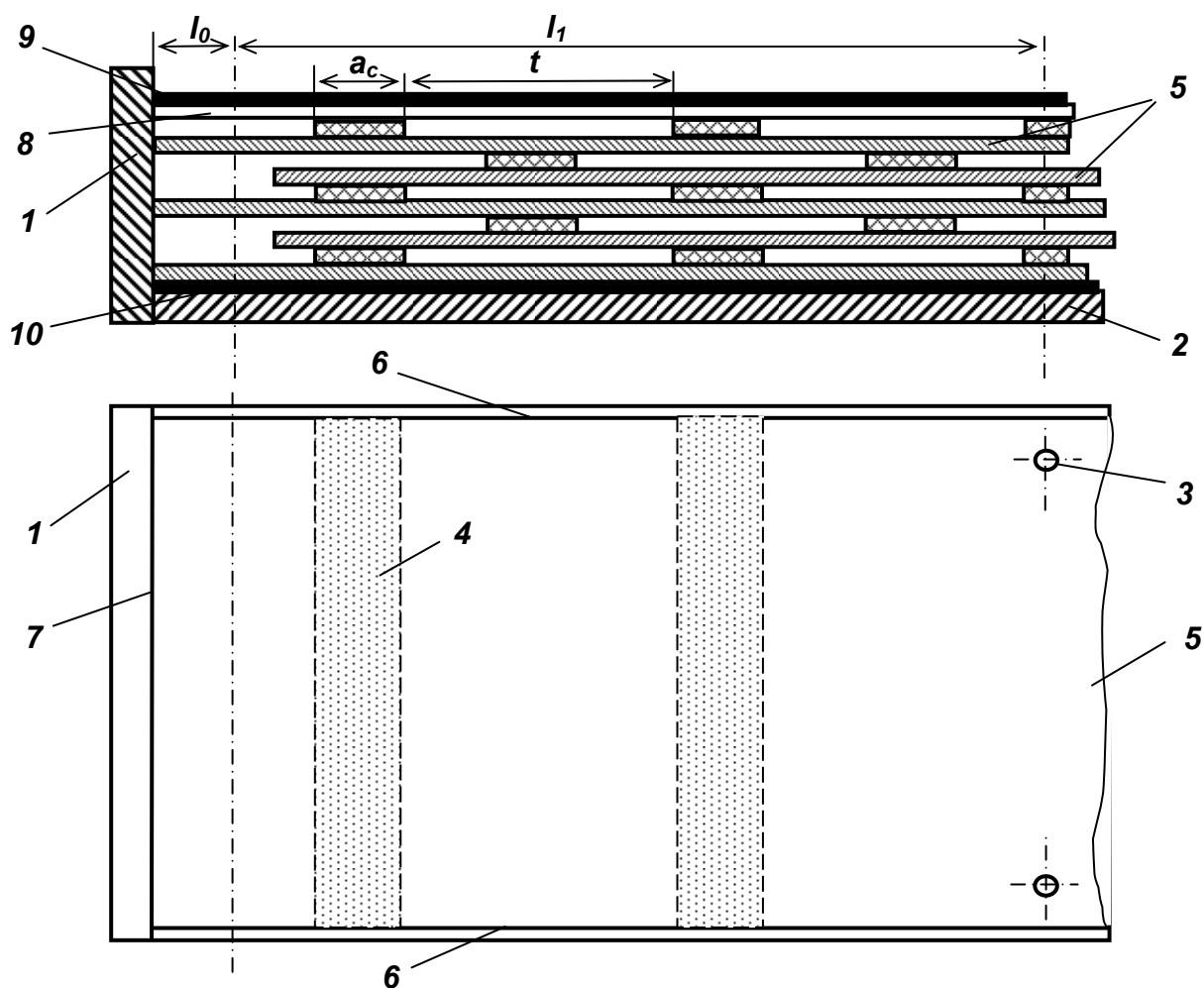


Рис. 1. Схема сборки сотопакета в фиксирующем приспособлении:
 1 – вертикальная базовая планка; 2 – основание сборочного приспособления;
 3 – фиксирующие базовые штыри; 4 – клеевые полосы; 5 – листы фольги; 6 – небазовые границы листов фольги; 7 – торец базовой границы листов фольги (вдоль рулона); 8 – верхний (замыкающий) лист фольги без клеевых полос; 9, 10 – верхние и нижние обкладные листы

В сборочном приспособлении (рис. 1) устанавливают четыре штыря 3. После этого производят набор сотопакета путем последовательной установки (фиксации отверстий штырями 3) листов фольги с отверстиями из первого и второго пакетов. Верхний лист обезжиренной фольги не имеет клеевых полос. Под нижней и на верхней поверхностях сотопакета подложены обкладные листы 9 и 10 (стеклоткань Э-3-100, вакуумная термостойкая резина толщиной 1 мм, полимерная бумага).

Приступим к анализу возможных (вероятных) размеров дефектов (отклонений от номиналов), перечисленных выше для обоснования их полей допусков. Та-

кие исследования проводили в работе [6], однако они не были доведены до обоснованного назначения полей допусков.

Допуск на ширину клеевой полосы $\pm \Delta a_c$ обеспечивается технологическими возможностями формирования ширины выступов и впадин клеенаносящего цилиндра в случае наиболее эффективного способа глубокой печати (рис. 2). Этот допуск составляет $\pm \Delta a_c = 0,1a_c$ [6]. Так как практически СЗ изготавливают со стороны грани $a_c \geq 2,5$ мм, то $\Delta a_c \geq 0,25$ мм. Влиянием изменения a_c за счет расширения клеевой пленки, связанного с давлением прижатия клеенаносящего цилиндра и высокой смачиваемостью обезжиренной фольги (растеканием клея), можно пренебречь, так как оно составит третий знак после запятой в Δa_c .

В работе [6] отмечено различие предельных значений Δa_c у разных авторов. Так, в [7] $\Delta a_c = \pm 0,05$ мм, в [8] $\Delta a_c = \pm 0,1$ мм независимо от a_c , что можно обосновать возможностями изготовления клеенаносящего устройства, принимаемыми равными для всех размеров a_c . Последний аргумент представляется вполне оправданным.

Допуск на шаг клеевой полосы Δt также рекомендуется различным: в [7] $\Delta t = \pm 0,05$ мм, в [8] $\Delta t = \pm 0,2$ мм.

Однако допуск Δa_c уже влияет на t :

$$t \pm \Delta t = 3(a_c \pm \Delta a_c) \pm \Delta t_n = 3a_c \pm 0,3 \pm \Delta t_n, \quad (1)$$

где Δt - полный допуск на шаг клеевых полос, учитывающий все виды погрешностей; Δt_n - независимая от Δa_c составляющая Δt , связанная с техническими возможностями изготовления клеенаносящего устройства Δt_{n1} и с самими операциями формирования сотового пакета Δt_{n2} :

$$\Delta t_n = \Delta t_{n1} + \Delta t_{n2}. \quad (2)$$

Принимая Δt_{n1} равным Δa_c вследствие равных технологических возможностей обеспечения точности размеров a_c и t , получим допуск $\Delta t_{n1} = \pm 0,1$ мм для ячеек СЗ малых размеров на стадии нанесения клеевых полос.

В процессе формирования сотового пакета возникают дополнительные погрешности, связанные с ΔI_0 и ΔI_1 , т.е. интегральными погрешностями, включающими в себя операции изготовления шаблона $\Delta_{ш}$, сверления сборочных отверстий по двум шаблонам в заготовках и по шаблону в основании сборочного приспособления Δ_{co} , а также погрешности диаметров фиксирующих штырей $\Delta_{фш}$.

Тогда

$$\Delta t_{n2} = \Delta_{ш} + \Delta_{co} + \Delta_{фш}. \quad (3)$$

Принимая в соответствии с рекомендациями [9] для аналогичных технологических операций самолетостроительного производства $\Delta_{ш} = \pm 0,05$ мм, $\Delta_{co} = \pm 0,3$ мм, $\Delta_{фш} = \pm 0,02$ мм, получаем $\Delta t_{н2} = \pm 0,37$ мм. С учетом изложенного выше $\Delta t = \pm(0,3+0,1+0,37)=\pm 0,77$ мм.

Наличие Δt вызывает искажение правильной формы шестигранной ячейки СЗ, предопределяемой операцией формирования сотопакета и проявляющейся на последней стадии его растяжки (рис. 2).

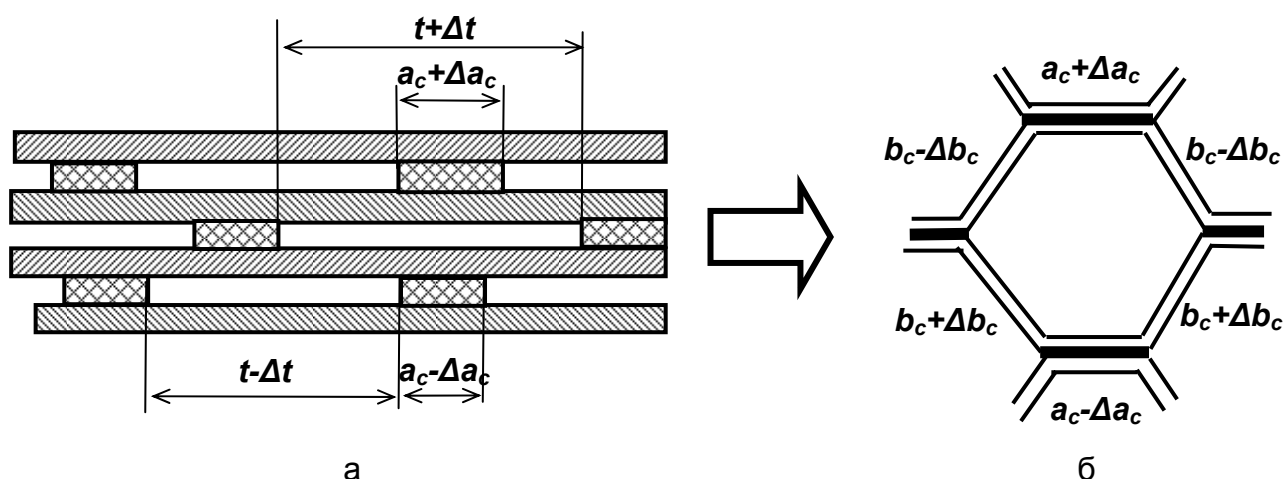


Рис. 2. Схема возможного искажения формы ячейки вследствие наличия отклонений Δt и Δa_c : а – операция формирования сотопакета; б – операция растяжки сотопакета

Для среднестатистической ячейки неправильной формы ($b_c \pm \Delta b_c$) можно записать (рис. 2):

$$2(b_c \pm \Delta b_c) = (t \pm \Delta t) - (a_c \pm \Delta a_c), \quad (4)$$

где b_c , a_c - номинальные параметры граней СЗ; $t = 3a_c$ - номинальный шаг.

Так как $b_c = a_c$, то из (4) следует

$$\pm \Delta b_c = \frac{\pm \Delta t \mp \Delta a_c}{2}. \quad (5)$$

При обоснованных выше полях допусков $\Delta t = 0,77$ мм и $\Delta a_c = 0,1$ мм получим $\Delta b_c = \pm 0,34$ мм.

Необходимо отметить, что изложенный выше анализ ориентирован на высокий уровень технологии производства СЗ для изделий АКТ.

Вследствие зависимости размеров a_c и b_c , которая вытекает из принятой гипотезы неизменности полупериметра ячейки, зависимыми являются и допуски Δa_c и Δb_c , т.е. из четырех предельных вариантов их сочетаний: Δa_c , Δb_c ; Δa_c , $-\Delta b_c$; $-\Delta a_c$, Δb_c ; $-\Delta a_c$, $-\Delta b_c$ реализуемы только два последних. Поэтому для анализа их относительного влияния на физико-механические характеристики (ФМХ) СЗ необходимо рассмотреть эти два варианта на основе отношений ФМХ СЗ, определяемых формулами [10]:

$$\bar{E}_{-z1} = \frac{E_{-z}(\Delta a_c, -\Delta b_c)}{E_{-z}^H} = \frac{0,75a_c(2a_c + \Delta a_c - \Delta b_c)}{[1,5a_c + (\Delta a_c - 0,5\Delta b_c)](a_c - \Delta b_c)}; \quad (6)$$

$$\bar{G}_{xz1} = \frac{G_{xz}(\Delta a_c, -\Delta b_c)}{G_{xz}^H} = \frac{1,33a_c[1,5a_c + (\Delta a_c - 0,5\Delta b_c)]}{(2a_c + \Delta a_c - \Delta b_c)(a_c + \Delta a_c)}; \quad (7)$$

$$\bar{G}_{yz1} = \frac{G_{yz}(\Delta a_c, -\Delta b_c)}{G_{yz}^H} = \frac{1,5a_c(2a_c - \Delta b_c)}{[1,5a_c + (\Delta a_c - 0,5\Delta b_c)](a_c + \Delta a_c)}; \quad (8)$$

$$\bar{\sigma}_{-ez1} = \frac{\sigma_{-ez}(\Delta a_c, -\Delta b_c)}{\sigma_{-ez}^H} = \frac{1,5a_c^2}{(a_c - \Delta b_c)[1,5a_c + (\Delta a_c - 0,5\Delta b_c)]}; \quad (9)$$

$$\bar{\tau}_{xz1} = \frac{\tau_{xz}(\Delta a_c, -\Delta b_c)}{\tau_{xz}^H} = \frac{0,9a_c[0,5(a_c - \Delta b_c) + 1,15(a_c + \Delta a_c)]}{[(a_c + \Delta a_c) + 0,5(a_c - \Delta b_c)](a_c - \Delta b_c)}; \quad (10)$$

$$\bar{\tau}_{yz1} = \frac{\tau_{yz}(\Delta a_c, -\Delta b_c)}{\tau_{yz}^H} = \frac{1,5a_c}{[(a_c + \Delta a_c) + 0,5(a_c - \Delta b_c)]}; \quad (11)$$

$$\bar{E}_{-z2} = \frac{0,75a_c(2a_c - \Delta a_c + \Delta b_c)}{[1,5a_c + (0,5\Delta b_c - \Delta a_c)](a_c + \Delta b_c)}; \quad (12)$$

$$\bar{G}_{xz2} = \frac{1,33a_c[1,5a_c + (0,5\Delta b_c - \Delta a_c)]}{(2a_c - \Delta a_c + \Delta b_c)(a_c - \Delta a_c)}; \quad (13)$$

$$\bar{G}_{yz2} = \frac{1,5a_c(2a_c + \Delta b_c)}{[1,5a_c + (0,5\Delta b_c - \Delta a_c)](a_c - \Delta a_c)}; \quad (14)$$

$$\bar{\sigma}_{-ez2} = \frac{1,5a_c^2}{(a_c + \Delta b_c)[1,5a_c + (0,5\Delta b_c - \Delta a_c)]}; \quad (15)$$

$$\bar{\tau}_{xz2} = \frac{0,9a_c [0,5(a_c + \Delta b_c) + 1,15(a_c - \Delta a_c)]}{[(a_c - \Delta a_c) + 0,5(a_c + \Delta b_c)](a_c + \Delta b_c)}; \quad (16)$$

$$\bar{\tau}_{yz2} = \frac{1,5a_c}{[(a_c - \Delta a_c) + 0,5(a_c + \Delta b_c)]}. \quad (17)$$

В формулах (6) – (17) учтено, что номинальные значения $a_c = b_c$, исключены параметры, входящие как в числитель, так и в знаменатель, а также принято, что угол раскрытия ячейки СЗ β не имеет приращения $\Delta\beta$. Как видно, ФМХ с индексом 1 (6) – (11) реализуют влияние $+\Delta a_c$ и $-\Delta b_c$, а с индексом 2 - (12) – (17) $+\Delta b_c$ и $-\Delta a_c$. Результаты расчета по этим формулам сведены в таблицу.

Из таблицы видно, что во всем рабочем диапазоне ячеек СЗ ($2,5 \leq a_c \leq 10$ мм) при положительном Δa_c и отрицательном Δb_c все ФМХ СЗ или растут, или практически остаются без изменения.

При отрицательном допуске Δa_c и положительном Δb_c имеют место допустимое значение снижения τ_{xz} и τ_{yz} и несколько завышенное уменьшение параметров E_{-z} (9% при $a_c = 2,5$ мм, снижающемся до 2% при $a_c = 10$ мм) и σ_{-ez} (14% при $a_c = 2,5$ мм и 4% при $a_c = 10$ мм).

Влияние допусков $\pm \Delta a_c$ и $\pm \Delta b_c$ на ФМХ СЗ

a_c , мм	$\Delta a_c = +0,1$ мм; $\Delta b_c = -0,34$ мм						$\Delta a_c = -0,1$ мм; $\Delta b_c = +0,34$ мм					
	\bar{E}_{-z1}	\bar{G}_{xz1}	\bar{G}_{yz1}	$\bar{\sigma}_{-ez1}$	$\bar{\tau}_{xz1}$	$\bar{\tau}_{yz1}$	\bar{E}_{-z2}	\bar{G}_{xz2}	\bar{G}_{yz2}	$\bar{\sigma}_{-ez2}$	$\bar{\tau}_{xz2}$	$\bar{\tau}_{yz2}$
2,5	1,12	0,99	1,83	1,18	1,15	1,02	0,91	1,01	1,46	0,86	0,95	0,98
10	1,03	0,98	1,95	1,04	1,03	1,00	0,98	1,00	2,04	0,96	0,96	0,99

Таким образом, обоснованные выше поля допусков на дефекты формы ячейки, возникающие в процессе формирования сотопакета, с учетом погрешностей операций нанесения клеевых полос практически обеспечивают регламентированные ФМХ СЗ.

Список литературы

1. Сливинский В.И., Ткаченко Г.В., Колоскова А.Н. Объективные предпосылки эффективного применения сотовых конструкций // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ «ХАИ». 2001. - Вып. 25(2). - С. 109-115.
2. Гайдачук В.Е., Мельников С.М. О проблеме допусков в технологической механике сотовых заполнителей и конструкций // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2004. - Вып. 39(4). - С. 35-48.
3. Мельников С.М. Дефекты, возникающие в процессе обезжиривания фольги при изготовлении сотового заполнителя // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2005. - Вып. 43(4). - С. 96-102.
4. Мельников С.М. Взаимосвязь полей допусков на прочность клея при неравномерном отрыве и его нанос на фольгу в производстве сотовых заполнителей // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2006. - Вып. 44(1). - С. 114-119.
5. Кириченко В.В., Мельников С.М. Факторы, определяющие технологическую погибь граней ячеек сотового заполнителя из металлической фольги и возможности ее нормирования // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2006. - Вып. 45(2). - С. 62-70.
6. Колоскова А.Н. Определение предельно допустимых отклонений изготовления сотового заполнителя // Космічна наука і технологія. – Додаток, 2004. – 10. - №1. – С. 83-86.
7. Ендогур А.И., Вайнберг М.В., Иерусалимский К.М. Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование. - М.: Машиностроение, 1986. – 200 с.
8. Панин В.Ф. Конструкции с сотовым заполнителем. - М.: Машиностроение, 1982. – 152 с.
9. Зернов И.А., Коноров Л.А. Теоретические основы технологии и процессы изготовления деталей самолетов. - М.: ГНТИ Оборонгиз, 1960. – 631 с.
10. Мельников С.М. Анализ влияния дефектов металлической фольги в состоянии поставки на физико-механические характеристики сотового заполнителя // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Х.: НАКУ «ХАИ», 2006. - Вып. 3(46).