

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАКОНЦОВОК С ПРОДОЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В СОЕДИНЕНИЯХ «МЕТАЛЛ — КОМПОЗИТ»

В настоящее время примерно 15% от структурной массы современного гражданского самолета составляют композиционные материалы (КМ), преимущественно изготовленные из углеродной пластмассы, армированной волокном. В запускаемом в настоящее время в производство новом поколении самолетов будет использовано до 50% конструкций из КМ и тенденция к увеличению объемов неметаллов в летательных аппаратах (ЛА) сохранится [1]. Это связано с высокими прочностными характеристиками при малой плотности материала. Однако несмотря на очевидные преимущества внедрение конструкций из КМ тормозится по ряду причин как технологических, так и конструктивных. Одним из таких слабых мест при производстве конструкций ЛА из КМ является вопрос соединения металла с КМ. Наиболее распространенные типы соединения металла и КМ являются болтовое, клееболтовое, клеевое, а также гетерогенное соединение (рис. 1), позволяющее воспринимать нагрузку по всему объему.

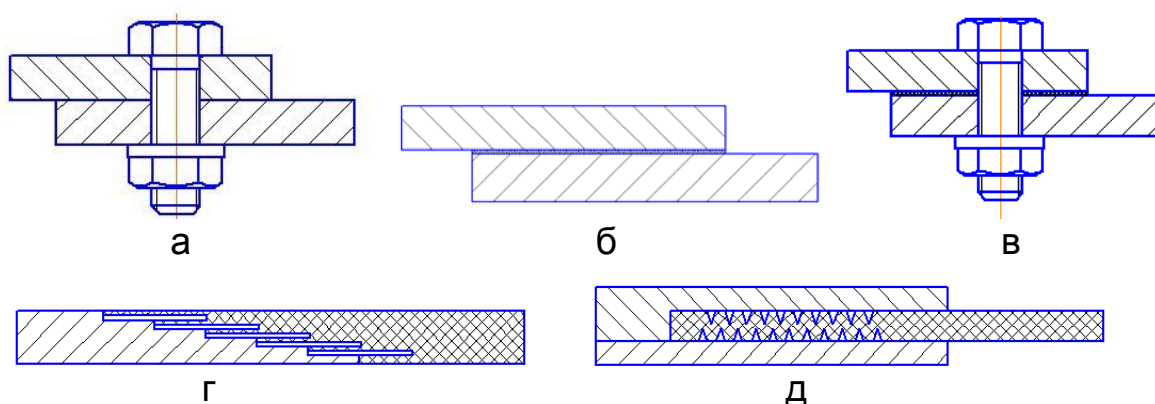


Рисунок 1 — Основные типы соединения металла и КМ:  
а — болтовое; б — клеевое; в — клееболтовое; г — гетерогенное с продольными элементами; д — гетерогенное с поперечными эле-

Гетерогенное соединение на сегодняшний день является наиболее перспективным, поскольку имеет высокие прочностные показатели (сравнительно с клеевым) и небольшую массу (по сравнению с болтовым), что позволяет эффективно использовать данный тип соединения для различных типов узлов, в том числе и для высоконагруженных [2]. Однако несмотря на ряд конструктивных преимуществ этого типа соединения остро стоит вопрос технологической реализации соединения в целом и изготовление металлической законцовки с продольными элементами и в частности. Данная задача условно разбивалась на две со-

ставляющие, а именно изготовление металлической заготовки и продольных элементов, соединение заготовок с продольными элементами. На этапе проектирования заготовок прежде всего стоял вопрос выбора материала, поскольку данное соединение проектировалось для высоконагруженных элементов, то в качестве металлической части была принята сталь 30ХГСА (ГОСТ 4543-71) с последующей термообработкой. В целях повышения несущей способности было принято решение увеличить площадь склеивания, для чего металлической заготовке необходимо было придать ступенчатую форму. Количество площадок и их глубина рассчитывались из условия равнопрочности композитной части и продольных элементов по следующей зависимости [3]:

$$\sigma_{B(КМ)} \cdot f_{(КМ)} = n \cdot \sigma_B \cdot f, \quad (1)$$

где  $\sigma_{B(КМ)}$  — предел прочности пакета КМ в продольном направлении;  $f_{(КМ)}$  — площадь поперечного сечения пакета КМ;  $\sigma_B$  — предел прочности продольного элемента;  $f$  — площадь поперечного сечения продольного элемента;  $n$  — количество продольных элементов.

Было изготовлено три партии по 5 образцов данных заготовок, которые отличались геометрией (табл. 1, рис. 2).

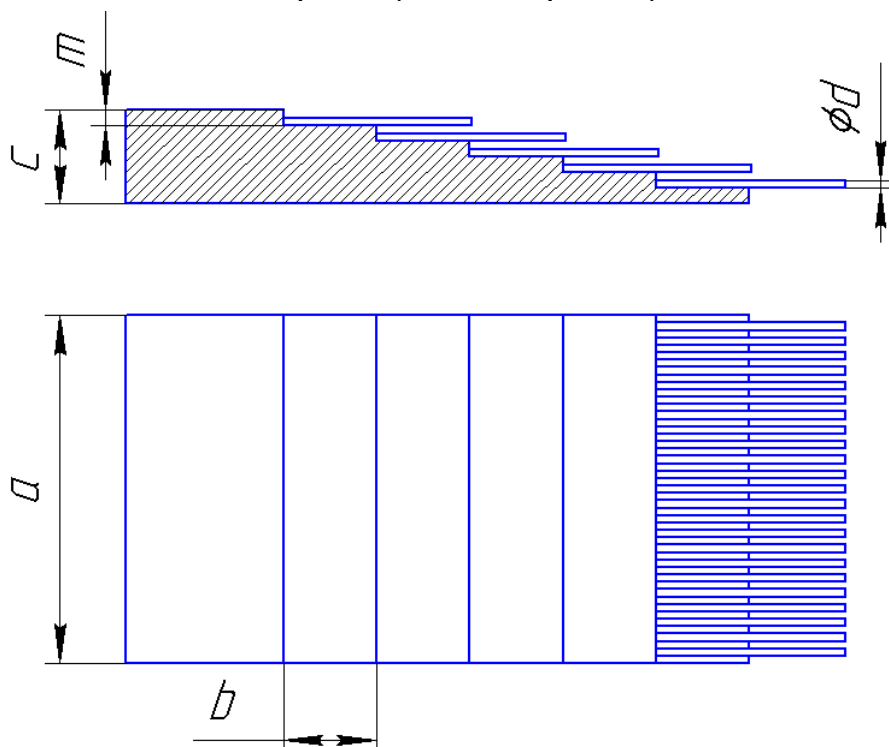


Рисунок 2 — Законцовка с продольными элементами

Все образцы были вырезаны из стального листа толщиной 8 мм, было выфрезеровано необходимое количество площадок заданной геометрии, после чего полученные образцы были подвержены термообра-

ботке (закалка в масле (температура 850°С) + низкотемпературный отпуск (температура 250°С)).

Таблица 1 — Геометрические параметры металлических заготовок

Номер партии	Ширина заготовки $a$ , мм	Глубина площадки $b$ , мм	Высота заготовки $c$ , мм	Диаметр продольного элемента $d$ , мм	Высота ступени $t$ , мм	Количество ступеней
1	60	8	8	0,3	0,5	16
2	60	10	8	0,4	0,6	12
3	60	12	8	0,5	0,7	10

В качестве продольных элементов для каждой партии образцов была выбрана стальная проволока марки 65Г, диаметр которой определялся в зависимости от количества и площади ступенек (табл. 2). Такой выбор материала и геометрических характеристик был обусловлен прочностными требованиями, а также совместимостью с материалом самой заготовки.

Таблица 2 — Зависимость диаметра и количества продольных элементов от геометрии ступени заготовки

Номер партии	Количество ступеней	Диаметр продольного элемента $d$ , мм	Количество элементов в ряду	Шаг установки элемента, мм
1	16	0,3	100	0,3
2	12	0,4	75	0,4
3	10	0,5	60	0,5

Для реализации соединения заготовки с продольным набором рассматривались различные варианты, а именно: механическое разъемное соединение, клеевое, сварное и паяное. Проработав предложенные варианты, были сделаны следующие выводы и приняты решения:

— механическое разъемное соединение для данного типа соединений, практически не реализуемое, вызовет множество проблем, связанных с технологией изготовления (образование отверстий под крепеж, а также надежное крепление продольных элементов), потребует больших затрат времени, а в случае серийного производства возникнут трудности с автоматизацией технологического процесса соединения продольных элементов с заготовкой;

— клеевое соединение не удовлетворяло требованиям по прочности, по этому от него пришлось отказаться;

— сварное соединение было отброшено из-за сложности реализации, поскольку возникает необходимость применения специального метода сварки и оборудования, кроме того, повышенные температуры в

зоне контакта проволоки и основания обязательно приведут к разупрочнению проволоки, а значит, к ослаблению соединения в зоне сварки;

— паяное соединение позволяет присоединять тонкие элементы к массивным основаниям и зачастую не требует специальных приемов, приспособлений и оборудования, кроме того, паяное соединение обеспечивало необходимую прочность между продольными элементами и заготовкой.

Проанализировав возможные методы пайки, была выбрана низкотемпературная пайка (ориентировочная температура пайки — 240°C), поскольку при такой температуре ни продольные элементы, ни заготовка не разупрочнялись, кроме того, низкотемпературная пайка не требовала дорогих припоев и специального оборудования. Хотя следует отметить, что высокотемпературная пайка, как правило, превосходит низкотемпературную по прочности соединения. В качестве припоя был выбран припой ПОС-61 (ГОСТ 21930-76) бессурьмянистый, который имел наименьшую температуру плавления из оловянно-свинцовых припоев и достаточную прочность на сдвиг. В то же время эта температура была выше температуры последующей термообработки соединения «металл — композит».

Одним из ограничений соединения продольных элементов пайкой было прежде всего глубина площадки, поскольку в случае недостаточной глубины пайки разрушение будет происходить не по продольным элементам, а по припою, что значительно снизит прочность соединения в целом. Минимальная длина шва припоя определялась из условия равнопрочности материала припоя и продольного элемента [4]:

$$\sigma_B \cdot F = K \cdot \tau_{сд} \cdot \frac{S}{2}, \quad (2)$$

где  $\sigma_B$  — предел прочности продольного элемента;  $F$  — поперечное сечение продольного элемента;  $K$  — коэффициент концентрации напряжений ( $K=2—3$ );  $\tau_{сд}$  — предел прочности материала припоя на сдвиг;  $S$  — площадь боковой поверхности продольного элемента.

Полученные минимальные значения длины шва припоя меньше, чем глубина площадок заготовок, следовательно, геометрические параметры заготовок удовлетворяют требованиям прочности данного паяного соединения.

Для реализации равномерности распределения напряжений по сечению с продольными элементами необходимо обеспечить равномерную установку продольных элементов по ширине площадки, для этого было решено изготавливать цельные гребенки из продольных элементов. В данном случае было изготовлено приспособление (материал приспособления должен быть нейтрален к припою и флюсу) в виде пласти-

ны с прорезанными по всей длине пазами с заданным шагом, глубина пазов равна диаметру продольного элемента. В пазы устанавливались продольные элементы, после чего они спаивались между собой, таким образом, получались заготовки в виде гребенок продольных элементов, после чего полученные гребенки можно было припаивать к площадкам заготовки.

Следующий этап — это образование законцовки с продольными элементами, для этого полученные гребенки прижимались к площадке заготовки с помощью пластины, наносился флюс, а затем гребенка припаивалась к основанию, после пайки заготовки промывались. Особенностью этого этапа является следующее: образование паяного соединения необходимо начинать с более тонкого конца заготовки из-за лучшего прогрева материала.

Таким образом, можно сказать, что представленная методика образования заготовок с продольными элементами для реализации гетерогенного соединения позволяет получить качественную законцовку с продольными элементами при минимальных затратах времени и средств. Кроме того, данная методика образования продольных элементов может быть автоматизирована и реализована в серийном производстве.

#### Список использованных источников

1. Официальный сайт Центра технологий металлообработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ctm-ural.ru> - 1.06.2012 г.

2. Карпов, Я.С. Соединение деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 359 с.

3. Карпов, Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов [Текст]: учебник / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 768 с.

4. Кузнецов, О.А. Прочность паяных соединений [Текст] / О.А. Кузнецов, А.И. Погалов. – М.: Машиностроение, 1987. – 112 с.

*Поступила в редакцию 20.09.2012.*

*Рецензент: канд. техн. наук, доц. И.М. Тараненко,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*