

УДК 629.735.33.023

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КМУ

Ю.А. Воробьев

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

Изложены результаты экспериментальных исследований величины и характера распределения радиального натяга как основного критерия качества заклепочных соединений образцов из углепластика, выполненных различными способами клепки.

* * *

Викладено результати експериментальних досліджень величини і характеру розподілу радіального натягу як основного критерію якості заклепувальних з'єднань зразків із вуглепластика, виконаних різними способами клепання.

* * *

The results of experimental researches of magnitude and character of distribution of a radial tightness are explained as basic criterion of quality of rivet joints is model from a carbon composite executed by different methods of riveting.

В соответствии с существующими особенностями процесса клепки деталей из композиционных материалов к качеству заклепочных соединений из КМУ предъявляют следующие требования [1-5]:

- расположение заклепок в швах, минимальные перемычки, прямолинейность швов, тип и материал заклепок и шайб должны соответствовать чертежам и техническим условиям;
- закладные головки заклепок и шайбы под ЗГ должны прилегать всей поверхностью к материалу пакета;
- после клепки зазоры между деталями в местах их постановки не допускаются; местные зазоры в пакетах между заклепками не должны превышать 0,1...0,15 мм в зависимости от толщины листа (однако не более 15 % заклепок шва);
- на поверхности деталей из КМУ не допускаются: врезание или вмятие ЗГ и шайб на глубину более 0,15 мм; зарубки, царапины и подсечки, нарушающие целостность композиции; удаление царапин, зарубок, подсечек и других повреждений с помощью зачистки наждачной бумагой, кроме мест, указанных в чертежах;
- не разрешается клепать КМУ стальными и титановыми заклепками без специальной доработки и без шайб под ЗГ. Допускается выполнять соединение без шайбы при наличии в пакете под ЗГ металлического листа толщиной не менее 1,5 мм, имеющего σ_b не менее 690 МПа;

тановыми заклепками без специальной доработки и без шайб под ЗГ. Допускается выполнять соединение без шайбы при наличии в пакете под ЗГ металлического листа толщиной не менее 1,5 мм, имеющего σ_b не менее 690 МПа;

- радиальный натяг в соединении должен быть распределен равномерно по толщине пакета и иметь значение менее 0,8...1,2 % [2] для предотвращения разрушения связующего.

В исследованиях был принят общепризнанный критерий ресурса и герметичности – величина радиального натяга и характер его распределения, которые определяют качество заклепочных соединений.

В связи с этим целью работы являлись сравнительные исследования величины и характера распределения радиального натяга у заклепочных соединений КМУ, выполненных титановыми заклепками с шайбой с использованием прессы, пневматических многоударного и импульсного молотков.

Исследования проводили для заклепок диаметром $d=4$ мм и $d=3$ мм с плоскоскругленной головкой из титанового сплава ВТ16 (ОСТ 1 34008-86) с шайбой под ЗГ из того же сплава (ОСТ 1 34503-86). Толщина пакета из КМУ составляла $S=1,85d$; $2d$.

Подбор длин заклепок осуществляли по технологическим рекомендациям [3]. Форма ЗГ – плоская, а для импульсной клепки – плоская и полукруглая.

Отверстия под заклепки выполняли в два перехода: сверление с охлаждением водой на стационарном сверлильном станке с частотой вращения 65 с^{-1} и последующим развертыванием вручную до размера $d_0=4,1H9$ или $d_0=3,1H9$ соответственно. Для каждого отверстия проводили контроль перпендикулярности его оси плоскости пакета, визуальный контроль отсутствия трещин по кромкам отверстий, отслоений и выкрашивания связующего на стенках отверстий.

Клепку выполняли на прессе мод. КП-204М; многоударным молотком мод. КМП-25 (метод клеп-

ки – прямой, поддержка с плоской рабочей частью массой $m_n=3d$, где d – диаметр заклепки, мм, m_n – масса поддержки, кг [5]); пневмоимпульсным клепальным молотком мод. МПИ-90М (поддержки с плоской рабочей частью и с лункой по форме закладной головки заклепки массой $m_n=d$; обжимки с плоской рабочей частью и со сферическими лунками $R_{сф}=d$, $h=0,3d$ и $R_{сф}=1,25d$, $h=0,22d$ при $d_{max}=1,42d$ массой 0,14 кг).

Радиальный натяг в соединении определяли по типовой методике. Перед клепкой индикаторным нутромером измеряли диаметр отверстия d_0 в четырех сечениях $h/S=15; 35; 65$ и 85% , где h – расстояние от поверхности пакета со стороны закладной головки заклепки до измеряемого сечения (рис. 1).

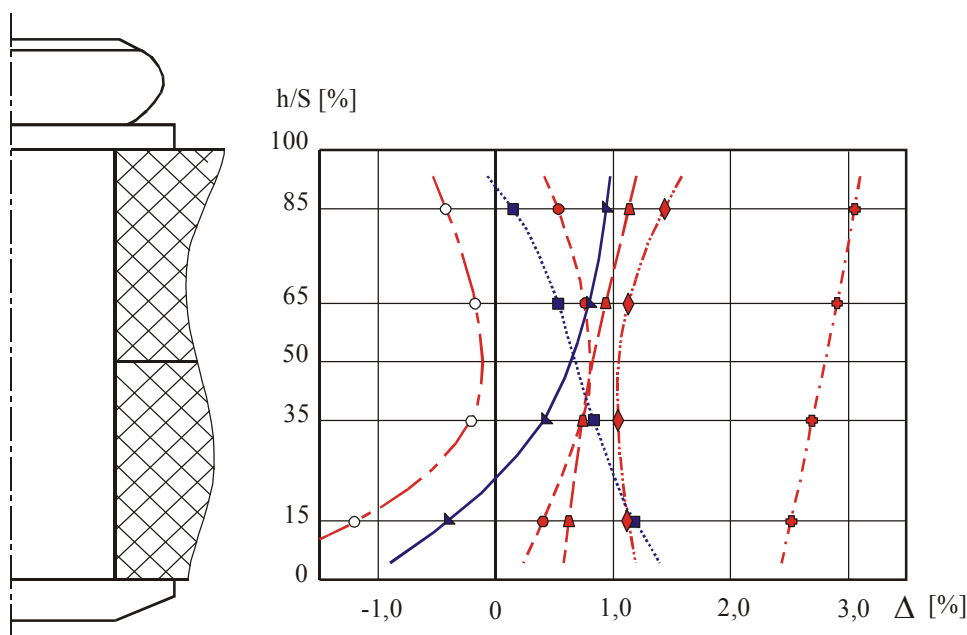


Рис. 1. Графики распределения радиального натяга по толщине пакета для различных способов клепки:

- ▲— — прессовая клепка;
- — многоударная клепка;
- — импульсная клепка (обжимка и поддержка с плоской рабочей частью);
- — импульсная клепка (обжимка с плоской рабочей частью, поддержка с лункой по форме закладной головки заклепки массой $m_n=d$);
- ◆— — импульсная клепка (обжимка со сферической лункой $R_{сф}=d$, поддержка с плоской рабочей частью массой $m_n=d$);
- ◇— — импульсная клепка (обжимка со сферической лункой $R_{сф}=1,25d$, поддержка с плоской рабочей частью массой $m_n=d$);
- ▲— — импульсная клепка (обжимка со сферической лункой $R_{сф}=1,25d$, поддержка с лункой по форме закладной головки заклепки массой $m_n=d$);

Величину радиального натяга Δ в каждом сечении определяли по формуле

$$\Delta = \frac{d_3 - d_0}{d_0} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Высота и диаметр ЗГ заклепок в соответствии с технологическими рекомендациями [3] составляли соответственно для плоских ЗГ

$$h_{3г}=(0,375\pm 0,025)d \text{ и } D_{3г}=(1\pm 0,05)d; \quad (2)$$

для полукруглых ЗГ

$$h_{3г}=(0,425\pm 0,025)d \text{ и } D_{3г}=(1,2\pm 0,05)d. \quad (3)$$

По результатам измерений были построены графики распределения натяга по толщине пакета для различных способов клепки (см. рис. 1).

Анализ графиков позволяет выявить следующие закономерности:

1. При прессовой клепке натяг реализуется на 75 % толщины пакета в зоне ЗГ заклепки, со стороны закладной головки имеется зазор до $-1,3$ %. Многоударная клепка, наоборот, обеспечивает натяг до $2,7$ % под закладной головкой при незначительной зазоре под ЗГ. Импульсная клепка в зависимости от схемы деформирования и параметров процесса способна обеспечить широкий диапазон зазоров-натягов в соединении (рис. 2): обжимка с плоской рабочей частью, поддержка с лункой по форме закладной головки заклепки – зазор до $-0,83$ %; обжимка со сферической лункой $R_{сф}=d$, $h=0,3d$, поддержка с плоской рабочей частью – натяг до $3,37$ %. Клепка с использованием поддержки, имеющей плоскую рабочую поверхность, при образовании полукруглых ЗГ за счет повышения энергии деформирования (примерно на 25 % для $R_{сф}=d$) сопровождается значительной деформацией заклепки, что вызывает улучшение равномерности распределения натяга и его одновременное увеличение. Для $R_{сф}=d$ величина натяга превышает критическое для углепластика значение [2, 6, 7], что является причиной растрескивания матрицы композита, снижения статической прочности и усталостной долговечности. Применение при импульсной клепке поддержки с

лункой по форме закладной головки заклепки, ограничивающей деформацию последней, снижает величину радиального натяга по всей толщине пакета.

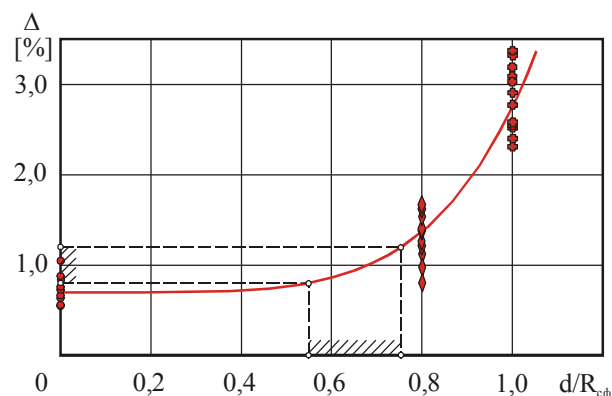


Рис. 2. Зависимость величины натяга в соединении от кривизны сферической лунки в обжимке при импульсной клепке (поддержка с плоской рабочей частью):

Результаты эксперимента:

- - импульсная клепка (обжимка с плоской рабочей частью);
- - импульсная клепка (обжимка со сферической лункой $R_{сф}=d$);
- ◆ - импульсная клепка (обжимка со сферической лункой $R_{сф}=1,25d$).
- - Аппроксимирующая кривая

2. Наиболее равномерно по толщине пакета распределен натяг при импульсной клепке с использованием поддержки с плоской рабочей поверхностью: при клепке плоской обжимкой диапазон изменения натяга в измеряемой зоне пакета в среднем не превышает $0,30$ %, при клепке обжимкой со сферической лункой $R_{сф}=d$ – $0,53$ %. Для остальных же способов клепки этот диапазон примерно одинаков и в среднем составляет: для импульсной клепки с использованием поддержки с лункой по форме закладной головки заклепки – $1,11$ и $0,66$ % для плоской обжимки и обжимки со сферической лункой $R_{сф}=d$ соответственно; $1,31$ % - для прессовой клепки и $1,09$ – для клепки многоударным пневмомолотком.

3. Наиболее высокая стабильность параметров соединения характерна для импульсной клепки обжимкой со сферической лункой: среднеквадратичное отклонение величины радиального натяга состав-

вило $s=0,36\%$ и $s=0,21\%$ (или $s/\Delta_{cp}=12,68\%$ и $s/\Delta_{cp}=16,82\%$, где Δ_{cp} – величина среднего натяга) для $R_{сф}=d$ и $R_{сф}=1,25d$ соответственно. При использовании плоской обжимки $s=0,12\%$ и $s=0,19\%$ (или $s/\Delta_{cp}=21,56\%$ и $s/\Delta_{cp}=30,50\%$) для поддержки с плоской рабочей поверхностью и с лункой по форме закладной головки заклепки соответственно. Как видно, с увеличением радиуса сферической лунки стабильность параметров соединения падает. Для прессовой клепки $s=0,14\%$ или $s/\Delta_{cp}=30,06\%$. Наибольший разброс параметров выявлен для многоударной клепки: $s=0,39\%$ или $s/\Delta_{cp}=60,19\%$.

Заключение

На основе выявленных закономерностей можно сделать следующие выводы:

1. Импульсная клепка в зависимости от схемы деформирования обеспечивает широкий диапазон величин радиальных натягов, способствует их стабильности, равномерности распределения по толщине пакета, предоставляет возможность управлять их величиной и характером распределения.

2. Варьирование $R_{сф}$ обжимки при использовании плоской поддержки позволяет получить требуемую величину натяга в соединении (см. рис. 2). При этом результаты эксперимента с достаточной точностью можно описать следующим полиномом:

$$\Delta = 2,1 \cdot \left(\frac{d}{R_{сф}} \right)^5 + 0,7, \quad (4)$$

где Δ - значение радиального натяга, %.

3. Из графика рис. 2 и формулы (4) видно, что рекомендуемые в качестве оптимальных величины радиальных натягов $\Delta=0,8...1,2\%$ можно обеспечить импульсной клепкой обжимкой со сферической лункой $R_{сф}=(1,5...1,8)d$ с использованием поддержки с плоской рабочей частью.

Литература

1. Технология выполнения высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений в конструкциях самолетов / А.И. Ярковец, О.С. Сироткин, В.А. Фирсов, Н.М. Киселев. - М.: Машиностроение, 1987.- 192 с.
2. Воробей В.В., Сироткин О.С. Соединения конструкций из КМ. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние. 1985.-168 с.
3. ТР 4115.10-86. Выполнение высокоресурсных заклепочных соединений в углепластиках заклепками из титанового сплава. НИАТ.
4. ПИ 1.4.1484-85. Контроль неразрушающий неразъемных соединений конструкций из КМ.
5. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. для вузов. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. - 516 с.
6. Воронов А.В. Исследование технологии и механизма формообразования заклепочных соединений, выполненных высокоскоростным магнитно-импульсным способом в конструкциях ЛА из КМ: Автореферат дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук. - М.: МАИ, 1981.- 22 с.
7. Кушнаренко С.Г., Воробьев Ю.А. Исследование технологии импульсной клепки авиаконструкций из КМУ высокопрочными заклепками // Труды второй международной конференции «Новые технологии в машиностроении». – Рыбачье, Харьк. авиац. ин-т, 1993. – С. 153-156.

Поступила в редакцию 12.02.03

Рецензенты: канд. техн. наук, старший научный сотрудник Тимченко А.М., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков; канд. техн. наук, доцент Чистяк В.Г., Харьковский Государственный экономический университет, г. Харьков.