

УДК 620.1

## Испытание на динамический отказ заклёпки фюзеляжа самолёта

Москвитин Вячеслав Сергеевич, студент

Дорофеева Наталья Леонидовна, кандидат технических наук, доцент  
Иркутский национальный исследовательский технический университет

**Аннотация.** В данной статье были исследованы критерии отказа заклёпки, путем её нагружения, показывая, что нагрузка на растяжение и сдвиговое разрушение, очевидно, зависит от скорости загрузки. Соотношения между скоростью нагружения и средними предельными нагрузками на напряжение сдвига были выражены двумя логарифмическими функциями.

**Ключевые слова:** заклёпки, сдвиговое напряжение, нагрузка на растяжение, фюзеляж, динамические испытания.

Ударопрочность является одним из ключевых показателей безопасности в гражданской авиационной отрасли. Структура фюзеляжа играет важную роль в поглощении кинетической энергии во время аварии. Полномасштабное испытание методом сбрасывания конструкции секции фюзеляжа является самым прямым методом, но самым дорогим для оценки ударопрочности конструкции фюзеляжа. Понимание и объяснение тестовых данных обеспечивают основу для повышения эффективности использования авиационных компонентов. Поскольку при поглощении кинетической энергии аварии имеется высокая нелинейность, которая включает в себя геометрическую и материальную нелинейность, моделирование крушения и численный метод должны быть подтверждены результатами испытаний. Проверенная модель анализа сбоев может использоваться для оценки устойчивости к ударам в других условиях воздействия, что уменьшает потребность в обширных тестах на падение. Кроме того, валидированный метод моделирования также полезен в качестве основы для моделирования других аналогичных конструкций планера [1].

Большинство соединений секции фюзеляжа собраны вместе заклёпками, и исследования показывают, что динамическая разрушающая нагрузка заклёпок, связанная со скоростью загрузки, может влиять на режим деформирования удара и динамический отклик.

В данной работе для характеристики нелинейного поведения заклёпки использована изотропная упругопластическая модель. Для определения критерия разрушения заклёпки были проведены испытания на растяжение и разрушение при сдвиге с различными значениями скорости.

В современных исследованиях заклёпки моделировались как одномерный элемент с изотропной упругой пластической моделью. Нелинейное поведение и критерий отказа выражаются формулой:

$$\left[ \frac{N(\alpha)}{N_u} \right]^a + \left[ \frac{T(\alpha)}{T_u} \right]^b \leq 1 \quad (1)$$

где  $N(\alpha)$  и  $N_u$  - соответственно текущие и конечные компоненты растяжения, а  $T(\alpha)$  и  $T_u$  - соответственно текущие и конечные компоненты сдвига. Нагрузку  $F$  можно

разделить на две составляющие как функцию углового положения:  $N(\alpha) = F \cos \alpha$  и  $T(\alpha) = F \sin \alpha$ . Изменение углового положения приводит к различным конфигурациям нагрузки, например,  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ$  соответствуют условию чистого растяжения и чистого сдвига соответственно [2].

В этой статье  $a$  и  $b$  считаются равны в 2. Если критерий отказа, рассчитанный по токовой нагрузке и сдвиговой нагрузке, составляет менее 1,0, заклёпочное соединение может рассматриваться как жесткое соединение, когда текущий критерий отказа превышает 1,0, соединение заклёпки не получается, тогда жесткость между заклёпочными узлами устанавливается равной нулю.

Тип заклёпки для испытания - MS20470AD6, полная головная заклёпка, которая имеет диаметр 6/32 дюйма (1 дюйм = 25,4 мм) и выполнен из алюминиевого сплава 2117-T4.

Испытания проводятся при  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ$ , а максимальная скорость удара последнего проведенного испытания на падение фюзеляжа гражданской авиации составляет 9,13 м/с. Поэтому критерии отказа заклёпки характеризуются скоростью загрузки до 10 м/с, а скорости загрузки - квазистатические, 0,3; 1,0; 5,0 м/с и 10,0 м/с. Квазистатическое испытание выполняется с помощью сервогидравлической машины (модель INSTRON 8801-4). Динамический тест выполняется с помощью INSTRON VHS8800, который оснащен клапанами большой мощности, что позволяет создавать напряжение и скорость сжатия до 20 м/с.

Испытательное приспособление изготовлено из высокопрочного стального сплава, а динамическая нагрузка измеряется тензодатчиками, расположенными в нижней части зажимного приспособления. На рисунке 1 показана фотография квазистатической тестовой установки и типичных квазистатических кривых силы смещения, типичные динамические растяжения и поперечные силы в зависимости от времени показаны на рисунке 2. По меньшей мере, три эффективных испытания проводятся при каждой скорости сдвига и удлинения, а средние предельные нагрузки натяжения и сдвига при различных скоростях показаны в таблице 1.

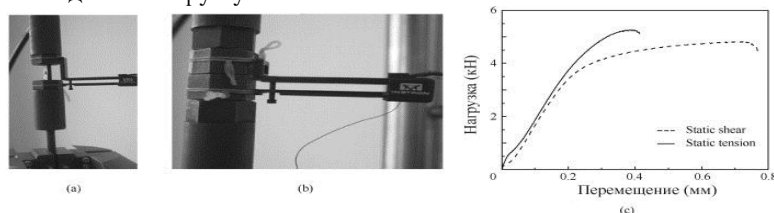


Рис. 1. Фотография испытаний на сдвиг и растяжение заклёпок (а – квазистатический тест на сдвиг, б – квазистатический тест на растяжение, с – типичные квазистатические кривые сил смещения)

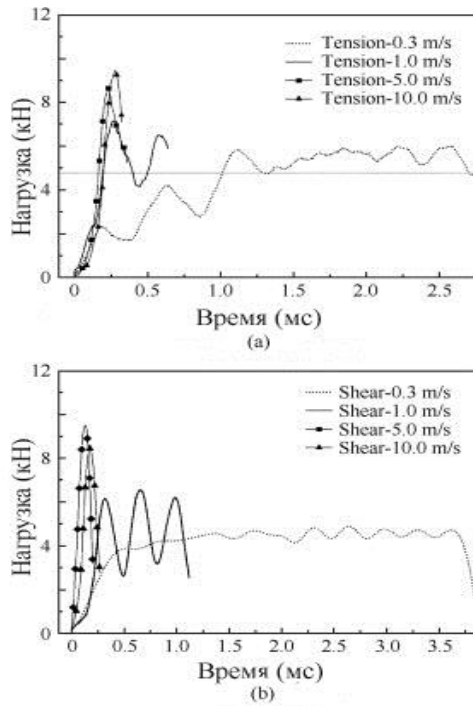


Рис. 1. Нефильтрованные кривые динамического растяжения (а) и сдвиговой нагрузки (б)

Таблица 1. Среднее предельное натяжение и сдвиговые нагрузки

Скорость (м/с)	Средняя предельная нагрузка на растяжение (кН)	Средняя предельная нагрузка на сдвиг (кН)
Квазистатическое	5,22	4,83
0,3	6,16	5,65
1,0	7,89	7,74
5,0	9,10	8,76
10,0	10,25	10,07

Непосредственно, связь между скоростью нагружения (м/с) и средней предельной нагрузкой напряжения (кН) может быть выражена логарифмической функцией:

$$N_u = 1,095 \ln v + 7,61 \quad (2)$$

Связь между скоростью испытательной загрузки и средней предельной нагрузкой на сдвиг может быть выражена формулой:

$$T_u = 1,155 \ln v + 7,27 \quad (3)$$

Результаты испытаний показывают, что предельные нагрузки на растяжение и сдвиг сильно зависят от скорости нагружения, а отношения между скоростью нагружения и предельной нагрузкой на разрушение выражаются в виде двух логарифмических функций.

**Литература:**

1. Гиммельфарб А. Л. Основы конструирования в самолетостроении: Учеб. пособие для высших авиационных учебных заведений/Ред. Л. В. Кожина.—2-е изд., перераб. II доп. — М.: Машиностроение, 1980. 367 с.
2. Беянин П. Н. Производство широкофюзеляжных самолетов в США — М.: Машиностроение, 1979.