

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЛЕНДАРНОГО ВРЕМЕНИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ БОЛТ-ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В авиационном машиностроении для скрепления листовых конструкций летательных аппаратов (ЛА) широко применяются болт-заклепочные соединения с применением заклепок, изготовляемых из деформируемых алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: болт-заклепочное соединение, долговечность, сопротивление усталости, срок хранения.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния календарного времени на осевой натяг в заклепочных соединениях и на их остаточные усталостные характеристики с использованием образцов поперечного многоточечного двухсреznego болт-заклепочного стыкового соединения [1].

Выполнение заклепочного соединения завершается образованием замыкающих головок посредством пластического деформирования хвостовика стержня заклепки с сопутствующим обжатием собираемого пакета в местах постановки крепежа. Снятие технологической нагрузки сопровождается упругим пружинением стержня и пакета, что приводит к существенно уменьшению усилия сжатия.

Принимая во внимание механические свойства материала алюминиевых заклепок и соизмеримость жесткостей крепежа и соединяемых деталей, также можно прогнозировать ослабление с течением времени заклепочного соединения вследствие релаксации усилий сжатия [2].

Образец (рис. 1) изготовлен из двух листов, соединенных встык накладками. Пластины и накладки вырезаны вдоль проката из листа алюминиевого сплава Д16АТ толщиной 6 и 3 мм соответственно. При сборке пакета использованы болт-заклепки из стали 30ХГСА в двух вариантах исполнения. В первом варианте крепежа профиль рифленной части стержня болт-заклепок имел упорную накатку (образцы типа У), во втором – трапецевидную (образцы типа Т).

Соединение выполнено с нормированным гарантированным осевым натягом по штатной заводской технологии.

Статические испытания при осевом растяжении образцов выполнены на гидропульсаторе ГРМ-1 при скорости нагружения 4 000 кгс/мин. Усталостные испытания при циклическом растяжении проведены также на этой установке.

Величина максимальной нагрузки цикла нагружения соответствовала 30 % от средней разрушающей нагрузки каждого типа образцов при статическом растяжении ($P_{\max}^Y = 4\,176$ кгс – для образцов типа У, $P_{\max}^T = 4\,155$ кгс – для образцов типа Т). Минимальная нагрузка цикла нагружения для всех типов образцов (700 кгс) выбрана по условиям стабильности режима нагружения и устойчивой работы гидропульсатора одностороннего действия вблизи нулевой нагрузки. Частота нагружения равна 330 циклов в минуту (6,6 Гц).

Градуирована испытательная машина по параметрам цикла нагружения с помощью тензометрирования. Во время испытаний до разрушения каждого образца режим нагружения контролировали по показаниям динамометров пульсатора и указателю вывода кулисы.

Исследовали влияние длительного срока хранения и термоэкспозиции на остаточную усталостную долговечность образцов.

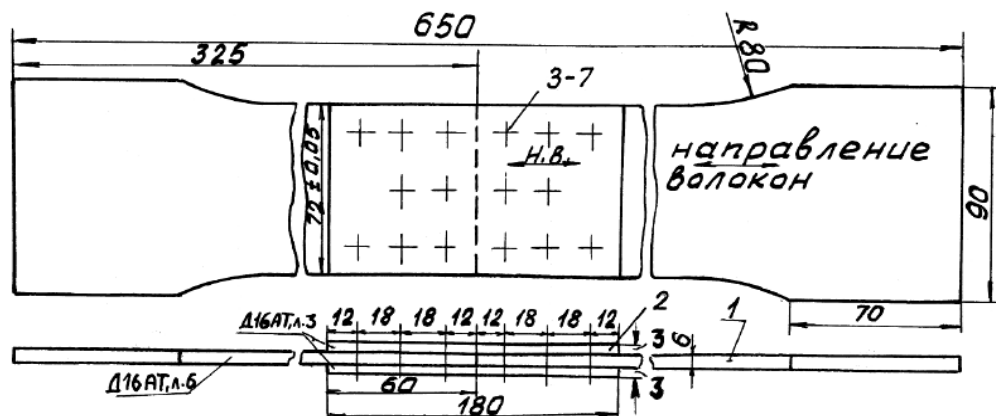


Рис. 1. Образец поперечного многоточечного двухсреznego болт-заклепочного стыкового соединения из сплава Д16АТ

Продолжительность выдержки образцов без нагрузки в лабораторных условиях при нормальной температуре составила 15 лет (131 500 ч).

После длительной эксплуатационной выдержки часть образцов перед циклическим нагружением прошла термоэкспозицию в течение 35 сут (840 ч) при температуре +120 °С в термостате конвективного теплообмена.

Разрушили образцы в 80 % случаев по внешнему ряду болт-заклепок и только в 20 % по накладкам – внутреннему ряду.

В исходном состоянии образцы типа У по долговечности в 1,63 раза превосходят образцы типа Т. Однако в результате 15-летней выдержки этот показатель у них стал одинаковым (рис. 2). Но долговечность образцов типа У упала в 1,79 раза, или на 44 %, а образцов типа Т снизилась на 8 %, или в 1,08 раза, по сравнению с исходными образцами. Относительные долговечности следующие (см. рис. 3): $\bar{N} = N_{15}/N_0$; $\bar{N}_Y = 0,56$; $\bar{N}_T = 0,92$.

Можно предположить, что резкое снижение долговечности образцов типа У через 15 лет связано с уменьшением осевого натяга за счет снижения усилия сжатия пакета (релаксации остаточных натягов в пакете) [3].

Остаточные напряжения сжатия со временем уменьшаются, релаксируют, но временной процесс длителен, поэтому для получения быстрой качественной оценки уровня снижения напряжений проведен эксперимент с форсированным моделированием процесса релаксации посредством предварительной выдержки образцов при повышенной температуре в течение определенного периода времени с последующими испытаниями на усталость.

Термоэкспозиция образцов была проведена после 15-летней выдержки в лабораторных условиях при нормальной температуре для оценки степени релаксации осевого натяга. Результаты испытаний партии

образцов, выдержанной в температурном поле при +120 °С в течение 840 ч (термоэкспозиции), показывают (рис. 4, 5), что долговечность образцов типа У снизилась на 28 %, или в 1,37 раза по сравнению с долговечностью исходных образцов с 15-летней выдержкой, а долговечность образцов типа Т не изменилась.

Отношения среднелогарифмических значений долговечности партий образцов после термоэкспозиции и исходных после «отдыха» в нормальных лабораторных условиях в течение 15 лет показаны на рис. 6.

Учитывая, что при сборке образцов использованы болт-заклепки, выполненные из стали 30ХГСА, а элементы пакета изготовлены из алюминиевого сплава Д16АТ, можно заключить, что основная доля снижения долговечности вследствие уменьшения осевого натяга обусловлена релаксацией усилия в стержне заклепки, а не в элементах пакета в зоне постановки крепежа (рис 7). Причем причина потери выносливости образцов типа У кроется в конструктивных особенностях втулки и профиля «односторонний зуб-упор» накатки пластического замка «алюминиевая втулка – стальной стержень болт-заклепки» [4].

Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод о преимуществе применения в качестве крепежа болт-заклепок с трапецевидной нарезкой, по сравнению с болт-заклепкой, выполненной с упорной нарезкой профиля стержня. Осевого натяга в образцах типа Т в течение 15 лет хранения и после термоэкспозиции при 120 °С в течение 840 ч (35 сут) не уменьшился, и запас прочности этих образцов достаточно велик, что обеспечивает стабильность усталостных характеристик соединения на весь срок эксплуатации. Однако при проектировании следует учесть заведомо более низкий исходный осевой натяг и, следовательно, более высокую податливость заклепочного шва, пониженную несущую способность и меньшую исходную долговечность соединения.

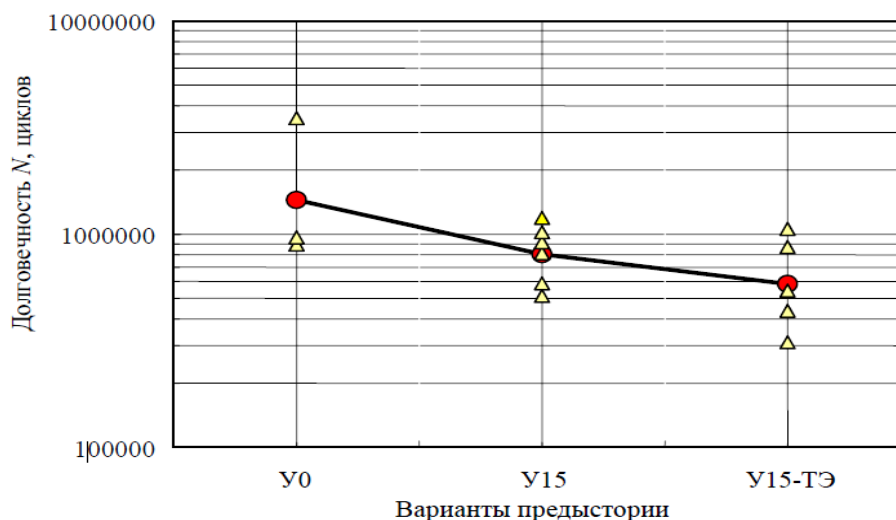


Рис. 2. Влияние «отдыха» (этапа хранения в лабораторных нормальных условиях в течение 15 лет) и последующей термоэкспозиции при $T = 120$ °С в течение 840 ч на усталостную долговечность образцов типа У поперечного многоточечного двухсрезного болт-заклепочного стыкового соединения, выполненного из сплава Д16АТ. Уровень нагружения $K = 0,3$ ($f = 6,6$ Гц)

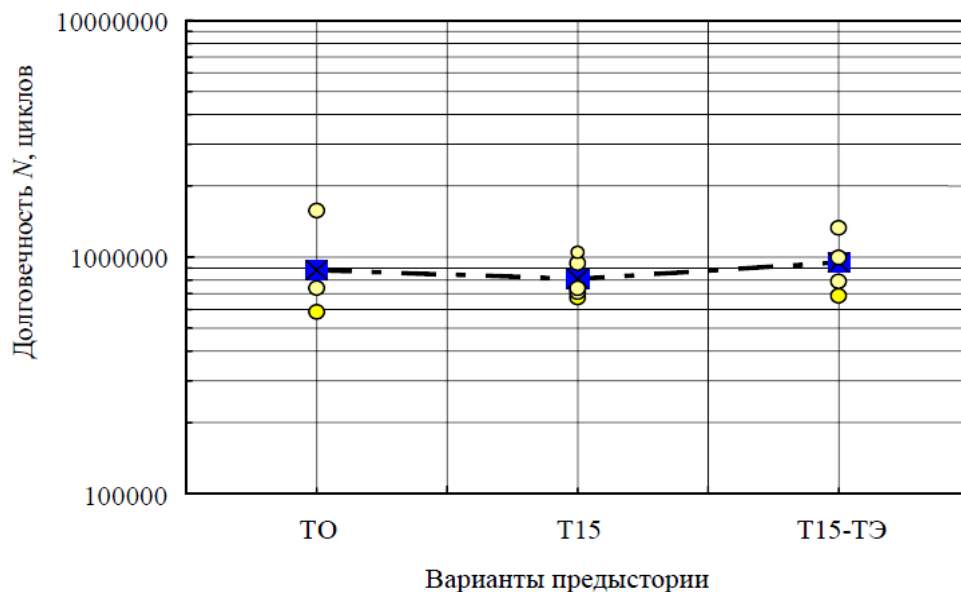


Рис. 3. Влияние «отдыха» (этапа хранения в лабораторных нормальных условиях в течение 15 лет) и последующей термоэкспозиции при $T = 120$ °C в течение 840 ч на усталостную долговечность образцов типа Т поперечного многоточечного двухсрезного болт-заклепочного стыкового соединения, выполненного из сплава Д16АТ. Уровень нагружения $K = 0,3$ ($f = 6,6$ Гц)

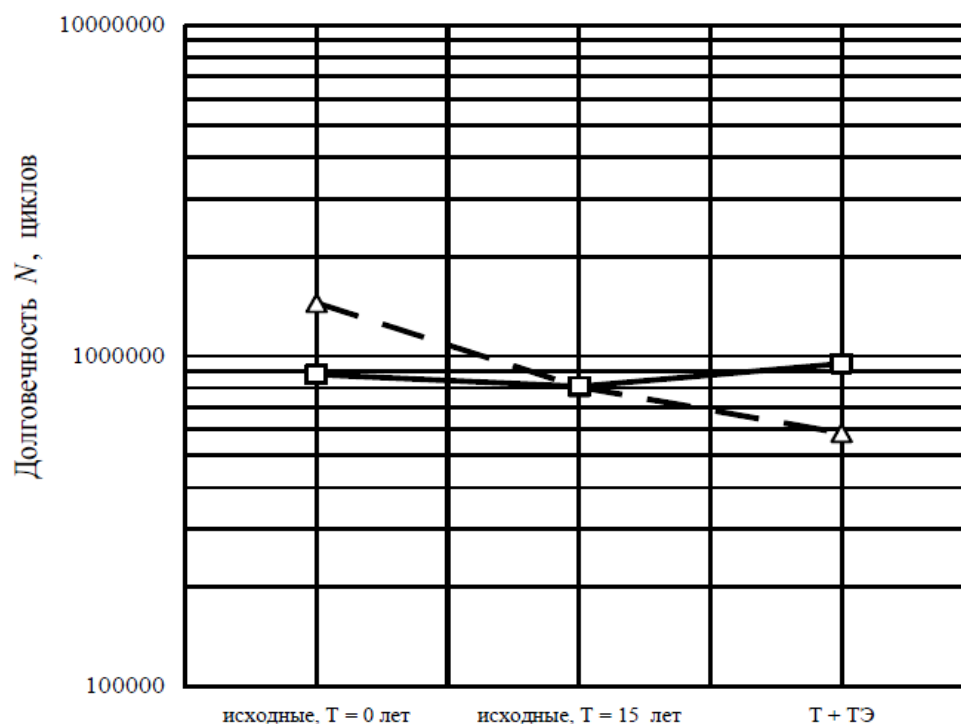


Рис. 4. Влияние «отдыха» (этапа хранения в лабораторных нормальных условиях в течение 15 лет) и последующей термоэкспозиции при $T = 120$ °C в течение 840 ч и варианта исполнения образца на усталостную долговечность образцов поперечного многоточечного двухсрезного болт-заклепочного стыкового соединения, выполненного из сплава Д16АТ: Δ – тип У; $\square$ – тип Т. Уровень нагружения $K = 0,3$ ($f = 6,6$ Гц)

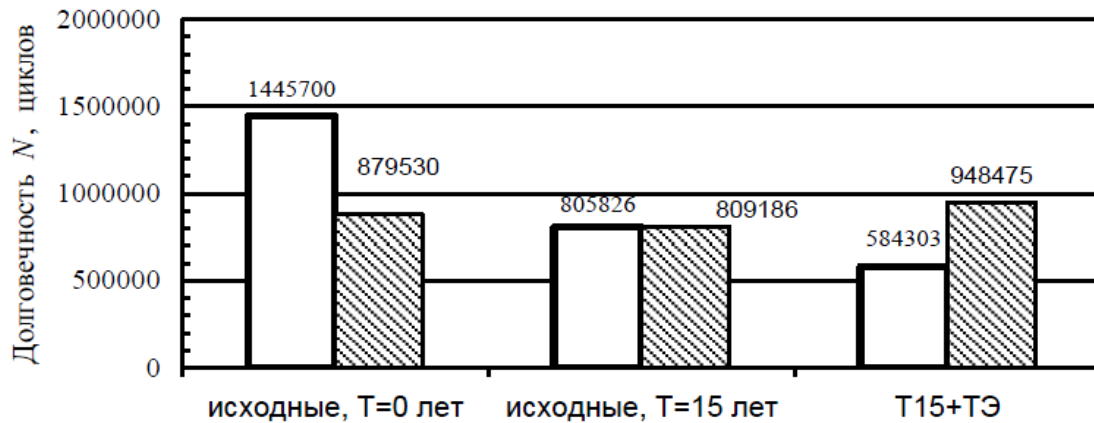


Рис. 5. Влияние «отдыха» (этапа хранения в нормальных лабораторных условиях в течение 15 лет) и последующей термоэкспозиции при $T = 120^\circ\text{C}$ в течение 840 ч и типа образца на усталостную долговечность образцов поперечного многоточечного двухсрезного болт-заклепочного стыкового соединения, выполненного из сплава Д16АТ: □ – тип Y, ▨ – тип T. Уровень нагружения $K = 0,3$ ($f = 6,6$ Гц)

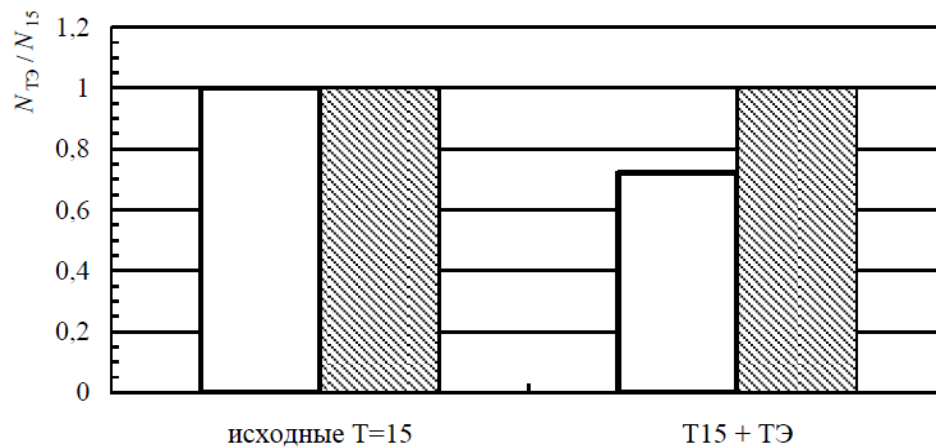


Рис. 6. Влияние термоэкспозиции и типа образца на относительную усталостную долговечность образцов поперечного многоточечного двухсрезного болт-заклепочного стыкового соединения, выполненного из сплава Д16АТ после 15-летней выдержки в нормальных лабораторных условиях: □ – тип Y; ▨ – тип T. Уровень нагружения $K = 0,3$ ($f = 6,6$ Гц)

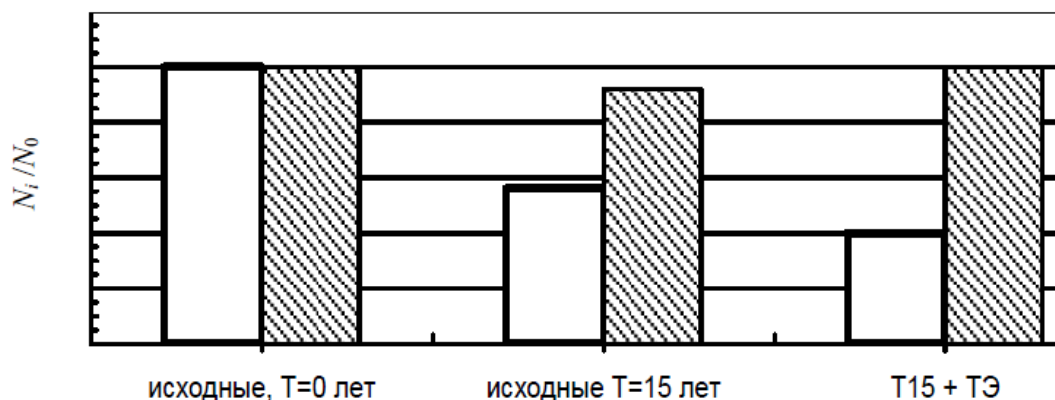


Рис. 7. Влияние предыстории и типа образца на относительную усталостную долговечность образцов поперечного многоточечного двухсрезного болт-заклепочного стыкового соединения, выполненного из сплава Д16АТ: □ – тип Y; ▨ – тип T. Уровень нагружения $K = 0,3$ ($f = 6,6$ Гц)

Таким образом, снижение усталостной долговечности образцов болт-заклепочного стыкового соединения с упорной накаткой в результате теплового воздействия, последовавшего после 15-летней выдержки в нормальных условиях, свидетельствует о том, что в соединении еще сохранился осевой натяг.

Библиографические ссылки

1. Sathiya Naarayan S, Pavan Kumar, Satish Chandra. Implication of unequal rivet load distribution in the failures and damage tolerant design of metal and composite civil aircraft riveted lap joints // Engineering Failure Analysis. 2009. Vol. 16. Is. 7. P. 2255–2273.

2. Кузнецов А. А., Алифанов О. М., Ветров В. И. Вероятностные характеристики прочности авиационных материалов и сортамента. М. : Машиностроение, 1970.

3. Модели технологического рассеяния усталостной долговечности / А. Г. Колосов, В. Г. Лейбов, В. Л. Райхер, А. Ф. Селихов // Прочность авиац. конструкций : сб. ст. // ЦАГИ. М., 1998. Вып. 2631. С. 38–50.

4. Нестеренко, Б. Г., Нестеренко Г. И. Живучесть самолетных конструкций // Науч. вестн. МГТУ ГА. 2007. № 119. С. 57–69.

A. V. Katsura, G. G. Krushenko

INFLUENCE OF CALENDAR TIME ON FATIGUE RESISTANCE OF BOLT-RIVETED JOINTS OF AIRCRAFTS

Bolted connections are mainly used in the assembly of massive power components and assemblies, with wide use of threaded rivet nuts made of aluminium alloys, which improves their mechanical properties.

Keywords: bolt-riveted joints, durability, fatigue resistance, shelf life.

© Кацура А. В., Крушенко Г. Г., 2012

УДК 539.374

Г. Г. Крушенко

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНИКЕ

Описаны технологии, способы и средства получения и применения пористых металлических материалов в технике.

Ключевые слова: пористые металлические, применение пористых металлических материалов.

Литые металлические детали машиностроительного профиля в силу целого ряда причин, зависящих как от состава сплава, типа диаграммы состояния, к которому сплав относится, так и от несовершенства и нарушения технологий их производства, могут быть поражены газовой или усадочной, или газовой усадочной пористостью, что приводит к снижению их механических свойств и герметичности [1]. С целью предотвращения формирования пористости в отливках разработаны различные эффективные способы повышения качества расплава, а в случае невозможности их реализовать в жидком состоянии применяются технологии воздействия на отливки, блокирующие отрицательное воздействие пористости [2–4].

В то же время, несмотря на описанное выше отрицательное влияние присутствующих в отливках пустот, существуют и технологии получения из литейных сплавов, включая алюминиевые материалы, в которых, напротив, специально формируют пустоты/ячейки/поры. Такие материалы получили название «пенометаллы» (metallic foams – от способа их полу-

чения путем вспенивания расплава [5]) или «ячеистые металлы» – (cellular metals – от формы пустот (ячейки) [6]), а также «пористые металлы» (porous metal materials [7]).

Современное состояние производства «пено/поро/ячеистых» металлических материалов, их характеристики и применение представлено в обширной публикации известного в этой области специалиста J. Banhart (Fraunhofer-Institute for Manufacturing and Advanced Materials, Germany) [8].

Пенометаллы и другие пористые материалы с ячеистой структурой (рис. 1) [8] обладают благоприятным сочетанием физических и механических характеристик, таких как высокая жесткость в сочетании с очень низкой плотностью (низким удельным весом) и/или с высокой газопроницаемостью в сочетании с высокой теплопроводностью. В сочетании с низкой плотностью и высокой жесткостью, способностью поглощать энергию удара и вибрацию, а также с высокой степенью звукопоглощения и, что очень важно, высокой технологичностью, допускающей возмож-