

## ВЛИЯНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК НА УСИЛИЕ ВТЯГИВАНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ БОЛТ-ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Е.В. Черных

Иркутский авиационный завод – филиал ПАО «Корпорация «Иркут»,  
Российская Федерация, 664020, г. Иркутск, улица Новаторов, 3.

С.А. Зайдес

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

[zsa@istu.edu](mailto:zsa@istu.edu), [Chernykh2014@yandex.ru](mailto:Chernykh2014@yandex.ru)

**РЕЗЮМЕ.** ЦЕЛЬЮ работы является определение величины усилия втягивания в зависимости от применения различных антифрикционных покрытий и технологических смазок в процессе выполнения болт-заклепочных соединений.

**МЕТОДЫ.** Анализ влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок на величину усилия втягивания стержней проведен на основе расчетных и экспериментальных данных при выполнении исследовательских работ. Для определения минимальных усилий втягивания применяли такие покрытия и смазки как ВАП-2, цетиловый спирт и ПП95/5.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** По результатам исследовательских работ были определены величины усилия втягивания стержней болт-заклепок в зависимости от применения различных покрытий и смазок. Также были определены покрытия и смазки, обеспечивающие минимальную величину втягивания стержня.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Проведенные исследования позволили выявить характеристики покрытий и смазок, обеспечивающие минимальные величины усилия втягивания стержней болт-заклепок в процессе сборки пакетов из алюминиевых сплавов толщиной менее 2D (D – диаметр отверстия под стержень болт-заклепки), а также обозначить направление дальнейших исследований при изучении влияния антифрикционных покрытий на процесс сборки пакетов из алюминиевых сплавов толщиной более 2D.

*Ключевые слова:* болт-заклепочное соединение, толщина пакета, отверстие, стержень, антифрикционное покрытие, технологическая смазка.

**Введение.** Болт-заклепка с технологическим хвостовиком (рис. 1) состоит из двух деталей: стержня и кольца. Стержень имеет закладную головку, гладкую часть, равную толщине пакета, цилиндрическую часть с кольцевой накаткой в месте соединения с кольцом, шейку и хвостовик с кольцевой накаткой [1].

Разрушение конструкций, как правило, начинается в местах соединения элементов. Поэтому при выполнении болт-заклепочных соединений необходимо обеспечить соответствующую обработку отверстий и радиальный натяг при постановке стержня, а также осевой натяг при обжатии кольца. При обеспечении

радиального натяга существенно повышается выносливость и герметичность крепежных соединений. Для выполнения соединений с радиальным натягом применяется крепеж из титановых сплавов и стали, защищаемый в соответствии с действующей технической документацией [2].

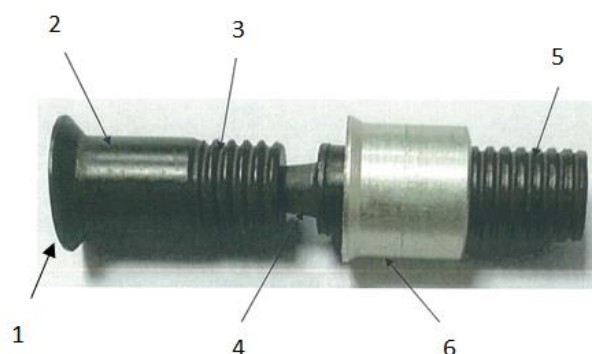


Рисунок 1 - Конструкция болт-заклепки с технологическим хвостовиком до выполнения соединения: 1 - закладная головка; 2 - гладкая часть; 3 - цилиндрическая часть с кольцевой накаткой; 4 - шейка; 5 - хвостовик с кольцевой накаткой, 6 - кольцо

Процесс выполнения болт-заклепочных соединений состоит из нескольких этапов: технология предварительной сборки конструкции, технология выполнения отверстий под стержни болт-заклепок, технология сборки конструкции на внутришовном герметике, технология болт-заклепочного соединения [1]. Процесс выполнения болт-заклепочных соединений можно разделить на два основных перехода: втягивание стержней болт-заклепок и осаживание кольца. При втягивании стержней болт-заклепок определяется усилие втягивания в зависимости от типа и диаметра стержня, развиваемого усилия затягивания инструмента. Усилие втягивания выражается через давление подачи штока инструмента и определяется по формуле (1) и должно быть менее 85% от минимального усилия отрыва хвостовика [4].

$$P_{\text{вт}} = \frac{F_{\text{от}} \cdot 0,85}{F_{\text{ин}}} \cdot P_{\text{р}} \quad (1)$$

где  $P_{\text{вт}}$  – давление подачи штока [бар],

$F_{\text{от}}$  – минимальное усилие отрыва хвостовика принимается по нормативной документации на изготовление стержней болт-заклепок [Н],

$F_{\text{ин}}$  – развиваемое усилие затягивания инструмента принимается по паспорту инструмента [Н],

$P_{\text{р}}$  – рабочее давление инструмента принимается по паспорту инструмента [Н].

Для обеспечения минимальных величин усилия втягивания и снижения трения при установке стержней в отверстия следует применять антифрикционные покрытия и технологические смазки, такие как ПП95/5, ВАП-2, цетиловый спирт [3, 4].

*Технологическая смазка ПП95/5* предназначена для покрытия боеприпасов с целью предохранения их от коррозии светло-коричневого цвета. Смазка содержит петролатум, парафин, едкий натр технический [5].

*Антифрикционное покрытие ВАП-2* предназначено для снижения трения, улучшения прирабатываемости рабочих поверхностей, устранения задиров, схватывания в узлах трения и для защиты вибронагруженных сочленений от фреттинга и фреттинг-коррозии. Покрытие ВАП-2 рекомендуется для работы на воздухе, в вакууме, в средах минеральных масел, керосиновых топлив, смазок на минеральной основе, гидрожидкостей, синтетических масел типа ВНИИНП-50-1-4Ф и ИПМ-10. Покрытие работоспособно при температурах от  $-196^{\circ}\text{C}$  до  $+300^{\circ}\text{C}$  [6].

*Цетиловый спирт* (гексадеканол-1) предназначен для применения в органическом синтезе (косметике) и лабораторной практике. Представляет собой белое или желтоватое кристаллическое вещество в виде хлопьев или гранул. Гексадеканол-1 относится к жирным спиртам [7].

**Цель работы.** Для определения усилий вытягивания стержней были проведены экспериментальные исследования по выполнению болт-заклепочных соединений с применением антифрикционных покрытий (ВАП-2, цетиловый спирт) и технологической смазки (ПП95/5).

**Методика исследования.** Болт-заклепочные соединения были выполнены на образцах, состоящих из двух деталей (из двух пластин) общей толщиной 5 мм и трех деталей (из двух пластин и профиля) общей толщиной 7,5 мм, имитирующих продольный стык агрегата самолета. Все детали из алюминиевых сплавов 1163РДТВ (пластины) и В95очТ2 (профиль). Отверстия под стержни болт-заклепок были выполнены  $\varnothing 4\text{H7}$  с шероховатостью  $R_a=0,8$  мкм по технологии, описанной в [1].

Всего было изготовлено 5 образцов. В каждом образце установлено по 18 стержней гладкой частью длиной 5 мм и по 9 стержней с гладкой частью длиной 8 мм. На все стержни были нанесены антифрикционные покрытия (ВАП-2, цетиловый спирт) и технологическая смазка (ПП95/5).

Для выполнения болт-заклепочных соединений был применен пневмогидравлический пресс фирмы Alcoa HUCK 244, позволяющий выполнять вытягивание стержней и обжатие колец болт-заклепочных соединений. Давление подачи штока инструмента для вытягивания стержней болт-заклепок было определено по формуле (1) и составило  $P_{\text{вт}}=1,29$  бар при минимальном усилии отрыва хвостовика для стержней  $\varnothing 4$  ОСТ 1 30034-2012 [9]  $F_{\text{от}}=5000$  Н, развиваемом усилии затягивания инструмента  $F_{\text{ин}}=20489$  Н, рабочем давлении инструмента  $P_p=6,22$  бар.

**Результаты исследования.** Эксперименты, выполненные с использованием антифрикционного покрытия ВАП-2 показали, что при вытягивании стержней болт-заклепок потребовалось усилие, близкое к расчетному  $P_{\text{вт}}=1,29$  бар. Следует отметить, что при этом толщина покрытия, наносимая кистью на гладкую поверхность, была неравномерной, а сама

технология нанесения покрытия не соответствует требованиям серийного производства.

Аналогичные результаты по усилию вытягивания стержней получены и при использовании технологической смазки ПП95/5 ( $P_{\text{вт}}=1,29$  бар), однако проблемы с технологией нанесения смазки имели место и в данном случае. После окунания стержней в технологическую смазку ПП95/5, закрепленных на проволоке, было выявлено, что полученное покрытие мгновенно застывает и слой получается неравномерным, при стекании излишков смазки в горячем состоянии она застывает и скапливается в одном месте в виде капель (см. рисунок 2а). После окунания стержней в смазку с помощью корзины слой покрытия получается также неравномерным (см. рисунок 2б). В процессе сушки стержней в печи, смазка вновь расплавляется и, в результате, после сушки стержни болт-заклепок слипаются между собой. Нанесение смазки ПП95/5 требует больших технологических затрат. При выполнении болт-заклепочных соединений происходит загрязнение кулачков инструмента для вытягивания стержней.

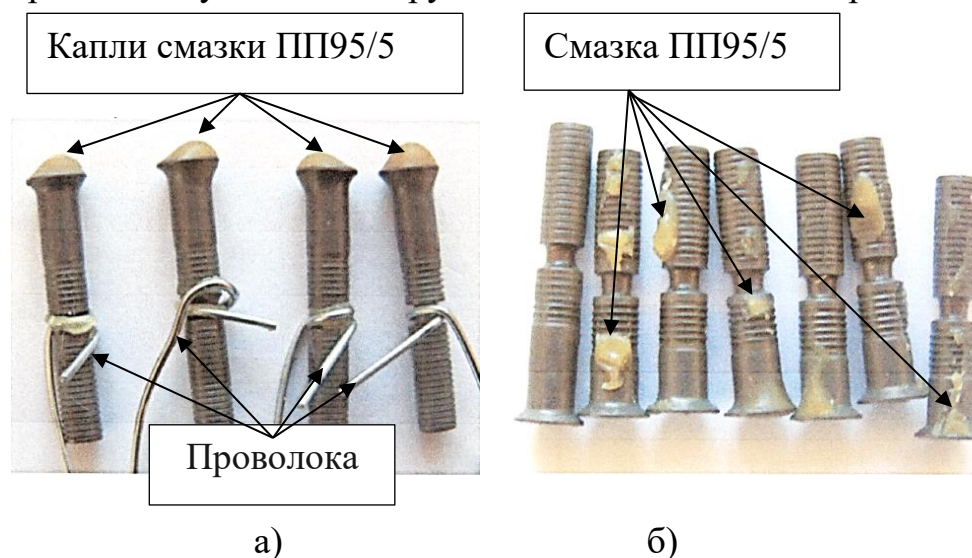


Рисунок 2 - Стержни болт-заклепок после окунания в технологическую смазку ПП95/5 с помощью: а) проволоки, б) сетчатой корзины

Применение цетилового спирта обеспечивает величину усилия вытягивания, близкому к расчетному  $P_{\text{вт}}=1,29$  бар в пакетах толщиной 5 мм. При выполнении болт-заклепочных соединений на образцах из трех деталей общей толщиной 7,5 мм усилие вытягивания было превышено на 0,2 бар и составило  $P_{\text{вт}}=1,5$  бар, что приближено к минимальному значению усилия отрыва хвостовика. Цетиловый спирт был приготовлен на основе деминерализованной воды и уайт-спирита и нанесен путем окунания с помощью сетчатой корзины. Цетиловый спирт на основе уайт-спирита имеет более равномерный слой, чем на основе деминерализованной воды (см. рисунок 3). Для выполнения процесса нанесения цетилового спирта на основе уайт-спирита необходимо приобретение специального оборудования во взрывозащищенном исполнении. Тем не менее процесс нанесения обеспечивает высокую производительность и применим для серийного производства.

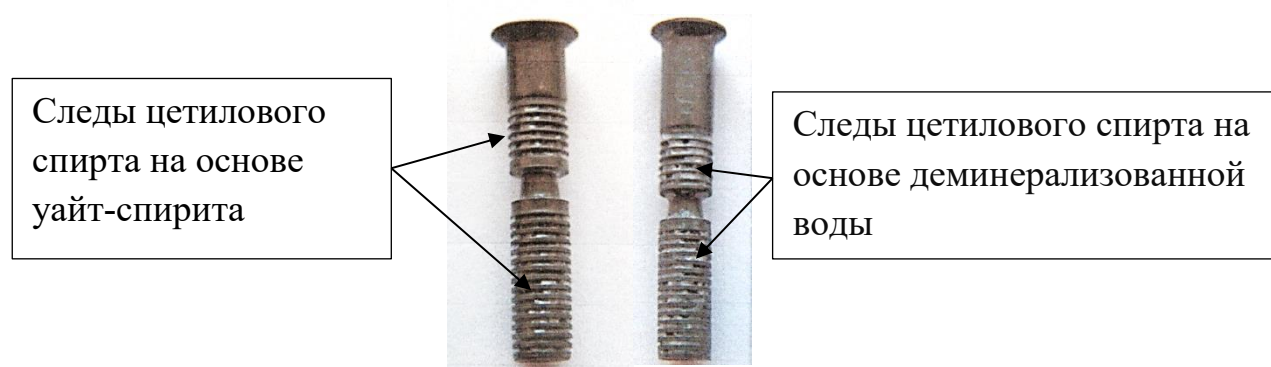


Рисунок 3 - Стержни болт-заклепок после окунания в раствор цетилового спирта с помощью сетчатой корзины

Исходя из вышеизложенного, можно отметить, что на выполнение качественного болт-заклепочного соединения влияют не только диаметр отверстия и стержня болт-заклепки как описано в [4]. Опыты показали, что толщина пакета оказывает существенное влияние на величину усилия втягивания стержней болт-заклепок (см. рисунок 4). С увеличением толщины пакета усилие втягивания растет, так как при этом увеличивается не только усилие, затраченное на трение, но и снижается качество смазочного слоя за счет технологических потерь при перемещении стержня.

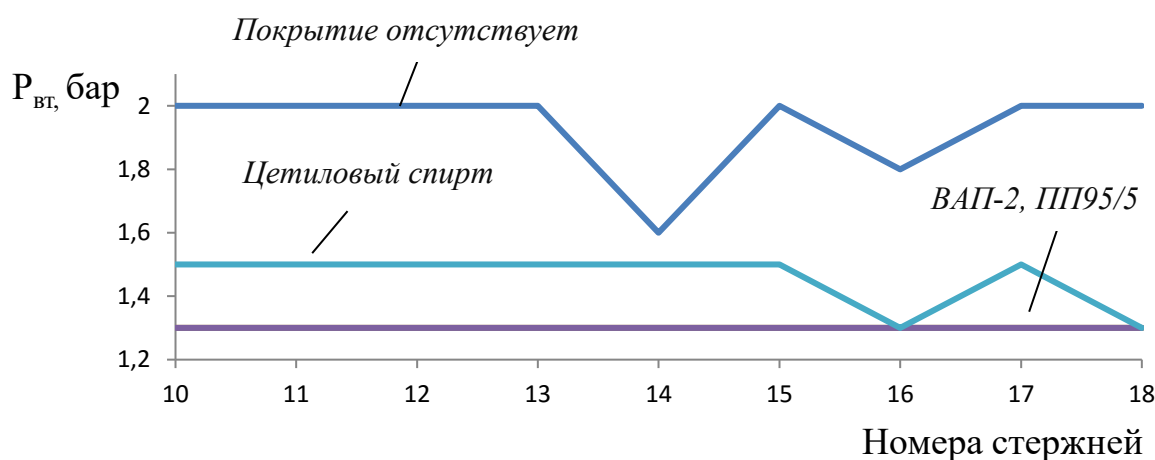


Рисунок 4 - График зависимости величины усилия втягивания от применяемых антифрикционных покрытий и технологических смазок при сборке пакета общей толщиной 7,5 мм

**Выводы.** Проведенные исследования по оценке влияния антифрикционных покрытий и технологических смазок на величину усилия втягивания стержней болт-заклепок в пакет позволили установить следующее:

1. При отсутствии технологических смазок и покрытий давление в рабочих инструментах, которые используют для втягивания стержней болт-заклепок, а, следовательно, и усилие втягивания возрастает на (50...70) %;
2. При сборке тонких пакетов толщиной менее 2D при использовании болт-заклепок вид технологической смазки и антифрикционного покрытия практически не влияет на усилие втягивания стержней. Установлено, что с

увеличением толщины пакета вид технологической смазки существенно влияет на величину усилия. Наименьшее усилие втягивания получено при использовании технологической смазки ПП95/5 и антифрикционного покрытия ВАП-2;

3. Опыты показали, что существующие на производстве способы нанесения смазок и покрытий не являются эффективными в условиях серийного производства. Более равномерный слой покрытия обеспечивает цетиловый спирт, но в настоящее время отсутствуют результаты исследований для разработки технологических инструкций.

### Библиография

1. Е.В. Черных, С.А. Зайдес Анализ технологии сборки болт-заклепочных соединений с натягом//Вестник ИрГТУ Том 21, №8, 2017, С. 49-57.
2. РТМ 1.2.024–82. Применение крепежа с упругопластическим радиальным натягом в соединениях из алюминиевых сплавов, ВИАМ, 1982. 14 с.
3. РТМ 1.4.1941-89. Сборка болтовых соединений, НИАТ, 1989, 53 с.
4. ОСТ 1 42392–88. Соединение деталей и узлов болт-заклепками с технологическим хвостовиком. Типовой технологический процесс, НИАТ, 1988. 57 с.
5. ГОСТ 4113-80. Технологическая смазка ПП95/5. Технические условия, 1980, 4 с.
6. Официальный сайт ФГУП «ВИАМ»: электронный путеводитель / Главная/ Научные направления/ Жаропрочные стали и сплавы/ Антифрикционные покрытия. - [М.], / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: [https://viam.ru/anti\\_friction\\_coatings](https://viam.ru/anti_friction_coatings) (дата обращения: 18.09.2017).
7. ТУ 6-09-3813-86. Гексадеканол-1 (цетиловый спирт) чистый. Технические условия, 1986, 9 с.
8. ОСТ 1 30034-2012. Авиационный стандарт. Стержни болт-заклепок с уменьшенной полупотайной головкой <100° из титанового сплава. Конструкция, Нормаль, 2012, 10 с.