

**К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ  
ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ КОНСТРУКЦИЙ**

© 2021 В.А. Кудряшов, А.А. Федоров, А.О. Кошкина, Е.Г. Карпухин

Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

Статья поступила в редакцию 10.12.2020

В статье проанализированы наиболее успешные результаты выполнения клепально-сборочных работ, применения антифрикционного покрытия на ложементы сборочного приспособления, отражены достоинства и технические возможности производства на существующем этапе развития. Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо найти оптимальные параметры технологического процесса при производстве компонентов летательного аппарата, используемых в конструкции изделия. В качестве критерия оптимизации в данном исследовании рассматривались оптимальный технологический процесс по ресурсам времени, материальным затратам, масса конструкции при разных уровнях серийности производства. Численное моделирование и оптимизация параметров рабочего процесса проводилась в САЕ-системе Nastran (NX). Для каждой из комбинаций оптимизируемых переменных технологического процесса определялись параметры на основе численного моделирования. Анализ результатов оптимизации показал, что рост параметров рабочего технологического процесса приводит к расширению области локально-оптимальных параметров. При оптимальных параметрах рабочего технологического процесса можно ожидать При оптимальных параметрах рабочего технологического процесса можно ожидать сокращения стоимости работ.

*Ключевые слова:* технологическое оснащение, стапель сборки, ложементы, алюминиевые сплавы, защитное покрытие деталей сборочного приспособления, аддитивные технологии, сверление отверстий, клепка, точность сборки, высокое качество клепки.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-1-67-71

Интенсивное развитие авиации требует разработки новых и совершенствования уже имеющихся процессов сборки компонентов авиационной техники. Для серийной сборки современной авиационной техники требуется использовать оснащение и оборудование, сводящее к минимуму человеческий фактор. Любые ручные вспомогательные, клепально-сборочные операции имеют высокую трудоемкость, а также не позволяют достичь требуемой повторяемости, качества, что необходимо для серийного производства. Стоит отметить, что на обшивках, после проведения данных операций, возможна потеря заданных проектировщиком аэродинамических форм самолета, что влияет на соответствие фактического времени сборки заданному директивному времени, на летно-технические характеристики и ресурс работы конечного изделия. На современном

самолете, обшивки отсеков фюзеляжа имеют, во-первых относительно большие габариты и, во-вторых, форму двойной кривизны. Для достижения заданной точности по конструкторской документации и соответствия мировому научно-техническому прогрессу требуется использовать высокоточное оборудование и современное стапельно-сборочное оснащение. Наименее точными в сборке панелей являются ручные операции. Последующая успешная сборка обшивок с силовым набором напрямую зависят от точности получившихся форм на этапе заготовительно-штамповочного производства. Сборочные приспособления проектируются по электронной конструкторской документации с необходимым уровнем точности. Возникающие отклонения от эквидистантной поверхности обшивки на стадии ее формообразования приводят на сборке к объемным доработкам сборочной единицы, удорожанию процесса производства агрегата.

При сборке крупногабаритных панелей летательных аппаратов с длиной обшивки более 2600 мм в производстве используется набор универсального оснащения. В данном наборе имеется рама сборочного приспособления с индивидуальным набором ложементов под каждую группу панелей фюзеляжа, переносная рама с набором ложементов, рама вы-

*Кудряшов Владимир Александрович, аспирант кафедры «Самолетостроение». E-mail: kudryashov-vl@mail.ru*  
*Федоров Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение». E-mail: aa.fedorov@ulstu.ru*  
*Кошкина Анастасия Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение». E-mail: fallen0008@yandex.ru*  
*Карпухин Евгений Геннадьевич, аспирант кафедры «Самолетостроение». E-mail: ew.karpuhin1@yandex.ru*

полнения работ после клепки на клепальном автомате.

Использование клепальных автоматов для сборки длинномерных панелей позволяет повысить качество разделки отверстий и качество соединения деталей с минимизацией дефектов. Обшивка панели, стрингера и сегменты шпангоутов поступают в стапель предварительной сборки. Элементы продольно-поперечного набора соединяются на технологический крепеж с обшивкой. При этом должна быть обеспечена достаточная жесткость конструкции панели. Затем полученная панель переносится в специальное технологическое устройство – палетту, которая представляет собой жесткую конструкцию, позволяющую обеспечить процесс клепки на клепальном автомате.

Затем, после клепки панель на палетте вновь переносят в стапель и проводят окончательные сборочные работы.

На рисунке 1 представлен пример реализации автоматизации сборки панелей крыла одинарной кривизны с целью повышения качества

и оптимизации оснащения, стоимости сборки агрегата.

Стремясь снизить травматизм, дефекты сборки компонентов из алюминиевых сплавов, затраты, связанные с технологической подготовкой производства, с процессами сверления, зенкования отверстий узлов обшивки крыла и лонжеронов, Boeing внедрил автоматизацию сборочных процессов заменив ручные процессы выполнения клепально-сборочных работ на сборочной линии самолета B777 [10].

Аналогичные системы предлагаются к внедрению на рассматриваемом предприятии с учетом минимальных конструктивных изменений. Была произведена адаптация оборудования с учетом кривизны рассматриваемых агрегатов, доступности выполнения клепально-сборочных работ, технологическим свойствам жесткости системы.

С целью реализации процессов оптимизации технологического оснащения на рисунке 2 показана конструкция створки грузовой двери (обшивка и силовой каркас), закрепленная

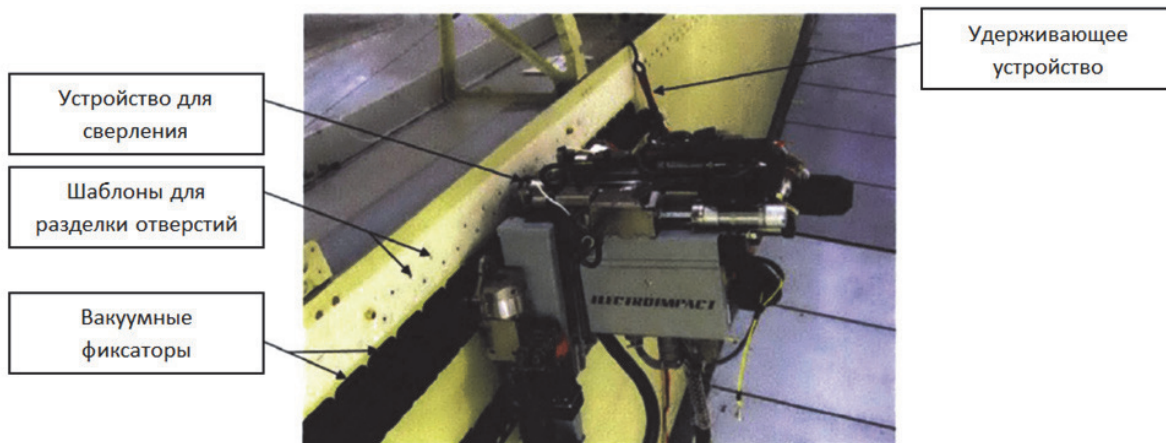


Рис. 1. Пример реализации гибкой ячейки для автоматизации процесса сверления, зенкования отверстий в панелях летательного аппарата [10]



Рис. 2. Конструкция грузовой двери [11]

в специальном технологическом оснащении со съемным механизмом. Петли и замки крепления расположены на концевых зонах силовых балок рамы створки двери. Ложементы приспособления соприкасаются с внутренней поверхностью обшивки грузовой двери.

Предполагается нанесение специального защитного покрытия на ложементы сборочного приспособления для повышения качества сборки, снижения стоимости изготовления агрегатов летательного аппарата. На первом этапе рассмотрено применение данных подходов к оснащению для сборки дверей. Также данные подходы применяются при сборке панелей одинарной и двойной кривизны.

На рисунке 3 представлен фрагмент сборочного приспособления с размещением ложементов, упоров для фиксации обшивки.

Нанесение покрытия на ложементы сборочного приспособления, задающие теоретические обводы будущей панели позволит повысить качество сборки агрегатов самолета в условиях мелкосерийного производства. Композиция на

водной основе и фторполимерный лак холодного отверждения составляют основные компоненты наносимого на ложементы покрытия [8].

На рисунке 4 представлен фрагмент пространственного размещения ложементов сборочного приспособления. С внутренней стороны ложементов (зона контакта с обшивкой) наносится специальное покрытие. В сочетании с вновь спроектированными зажимами обеспечивается повышение качества сборки.

Также был проведен, конечно-элементный анализ конструкции проектируемых вновь ложементов (рисунок 5). Применялся решатель NX Nastran с множеством ограничений. Исследовано поведение защитного материала в зоне контакта с обшивкой агрегата. Было установлено, что использование на поверхности ложементов защитного покрытия уменьшает формирование пятен, поперечных полос, масляных загрязнений, прочих посторонних включений. Тем самым, снижается риск нанесения царапин рабочими при стапельной сборке.

Применение данных материалов решает проблему появления царапин с внутренней

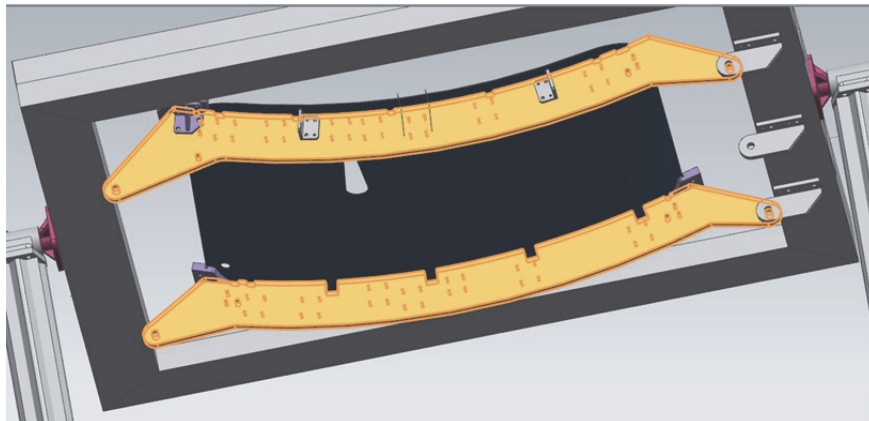


Рис. 3. Фрагмент сборочного приспособления с размещением ложементов, упоров для фиксации обшивки

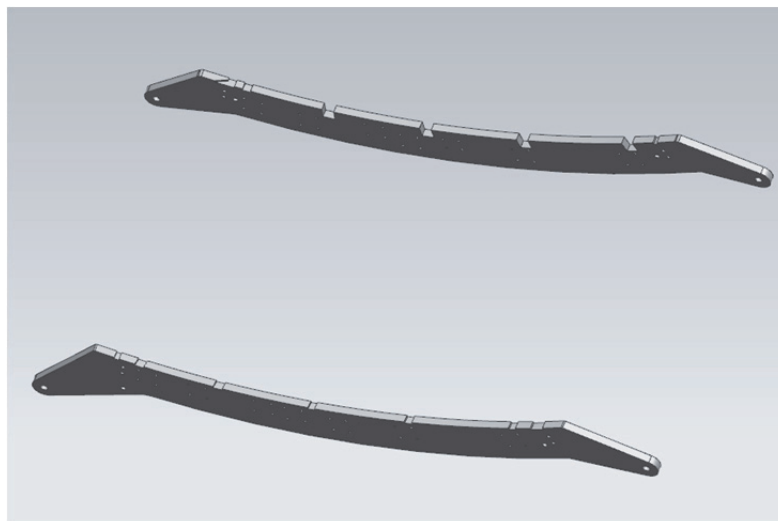
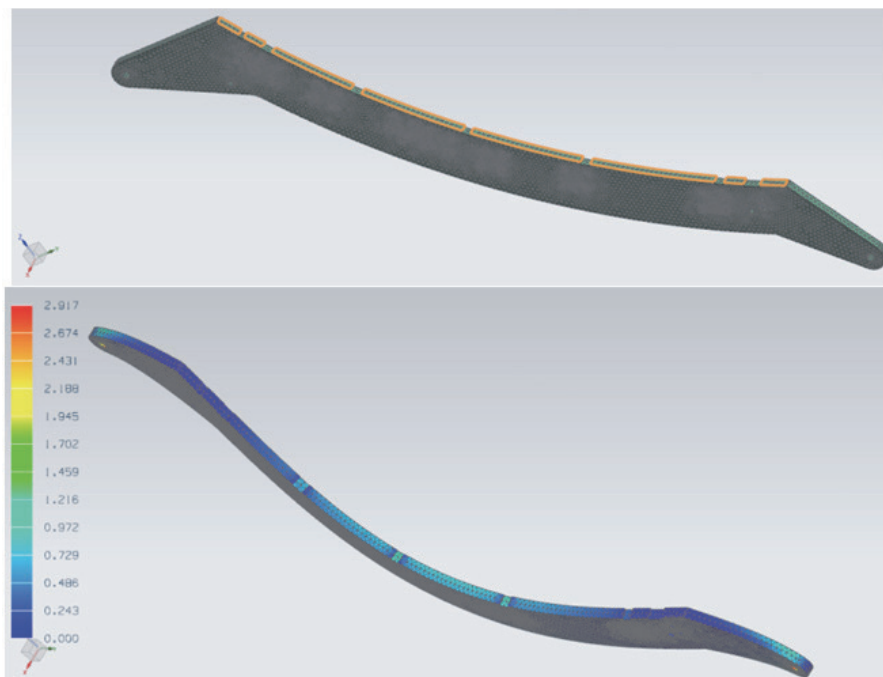


Рис. 4. Фрагмент пространственного размещения ложементов сборочного приспособления



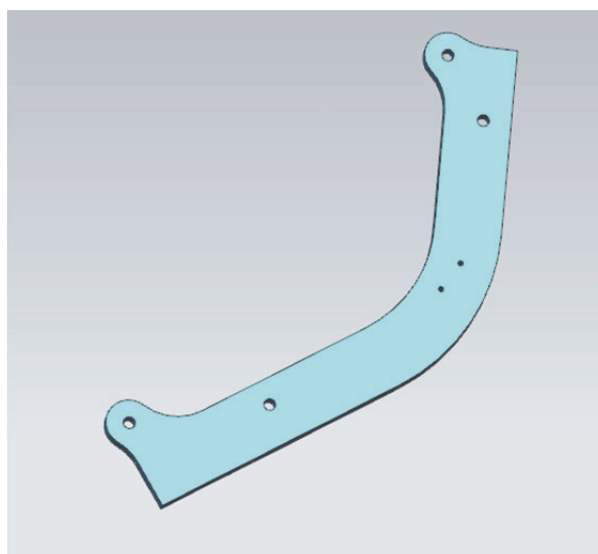
**Рис. 5.** Анализ нагружения контактных зон ложемент сборочного приспособления

стороны заготовок. Для этих целей проводился анализ использования ив низконагруженных зонах ложементов, изготавливаемых с использованием аддитивных технологий с применением полимерных пластичных неметаллических материалов. Данный подход позволит снизить себестоимость оснащения по сравнению с изготовлением ложементов из алюминиевых сплавов.

На рисунке 6 представлена модель ложемента для сборочного приспособления. Ложемент спроектирован для изготовления по аддитивной технологии. Было проведено исследование по возможности применения ложемента при сборке панелей изделия.

В данном исполнении исследована возможность нанесения защитных покрытий на контактные зоны приспособления и обшивки панели. Имеются положительные выводы по повышению качества сборки, снижению на 65 процентов пятен, поперечных полос, масляных загрязнений, прочих посторонних включений на контактных поверхностях оснащения. На основании вышеизложенного, следует отметить пути оптимизации технологического процесса сборки панелей с применением автоматизации:

- для устранения ряда факторов, увеличивающих цикл автоматической клепки, необходимо спроектировать, изготовить и ввести в эксплуатацию неразборные рамы, исключаящие



**Рис. 6.** Модель исследуемого ложемента сборочного приспособления



переустановку ложементов, под отдельные панели. Это мероприятие позволит сократить время подготовки до 40 часов;

- доклейка панелей по местам технологического крепежа прессовым, ударным способом после клепки на клепальном автомате, что позволит не увеличивать трудоемкость сборки на автомате (оптимизация количества программ и холостых ходов автомата до 90 часов, оптимизация технологической массы конструкции);

- увеличение требований по контролю качества заклепок для роста скорости клепки (исключение трещин по замыкающим головкам заклепок).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вулпе М.Н.* Лазерная сварка заготовок, полученных аддитивными технологиями // *Технология машиностроения и материаловедение*. 2017. № 1. С. 142-144
2. *Гусева, Р.И.* Сборочные процессы в самолетостроении : учеб. пособие / Р.И. Гусева. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2017. – 165 с.
3. *Зарубин Д.А., Ушомирская Л.А.* Электролитно-плазменное струйное полирование деталей, изготовленных аддитивными технологиями // *Материалы научной конференции с международным участием. Лучшие доклады «Неделя науки СПбПУ»*. СПб.: ФГАОУ ВО СПбПУ 2016. С.74-77
4. *Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М.* Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 220 с.
5. *Карпукхин Е.Г., Кошкина А.О.* Оценка антифрикционных свойств покрытий обтяжных пуансонов для возможности применения при формообразовании обшивок обтяжкой на обтяжных прессах FET И FEL. – XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): тексты докладов участников Международной молодежной научной конференции, в 6 т. 2019. Издательство ИП Сагиева А.Р.
6. *Кудряшов В.А., Лапышев А.А.* Создание аддитивных технологий с учетом усталостного поведения в авиационном инжиниринге // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20. № 4(3). С.406-413.
7. *Лесков Д.М., Гусева Р. И.* Сокращение цикла выполнения заклепочных соединений с использованием клепальных автоматов Братье при сборке панелей фюзеляжа – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2017. – 165 с.
8. Методика расчета режима исследования антифрикционных свойств покрытий обтяжных пуансонов / *Г.Л. Ривин, Е.Г. Карпукхин, А.О. Кошкина, Г.В. Дмитриенко* // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20. № 4-3 (84) С. 414-416.
9. *Федоров М.М.* Разработка замкнутой технологической цепочки изготовления деталей ГТД по аддитивным технологиям // *Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева*. 2017. С.115-118
10. *Zackary R. Eubanks* Implementation of Assembly Automation in Aircraft Structures // *Massachusetts Institute of Technology. Thesis*, 2017, 58 p.
11. *Hongfen Liu.* A Structural Design Comparison of Metallic and Composite Aircraft Pressure Retaining Doors: Thesis for the degree of MSc. Cranfield University, 2012. 135 p.
12. The study of the FDM technology of 3D printing with the use of materials for production tooling / *Anastasia Koshkina, Alexander Fedorov, Alexander Morozov, Evgeny Karpukhin, Yulia Poletaeva* // *MATEC Web of Conferences (ICMTMTE 2020) Volume 329*, 2020.

### ON THE ISSUE OF OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ASSEMBLING AIRCRAFT STRUCTURES

© 2021 V. A. Kudryashov, A. A. Fedorov, A. O. Koshkina, E.G. Karpukhin

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

The article analyzes the most successful results of riveting and assembly work, the use of anti-friction coating on the beds of the assembly device, and reflects the advantages and technical capabilities of production at the current stage of development. The problem statement is formulated as follows: it is necessary to find the optimal parameters of the technological process in the production of aircraft components used in the design of the product. The optimal technological process in terms of time resources, material costs, and design weight at different levels of serial production were considered as optimization criteria in this study. Numerical modeling and optimization of the workflow parameters were performed in the NASTRAN CAE system (NX). For each of the combinations of optimized process variables, parameters were determined based on numerical modeling. Analysis of the optimization results showed that the growth of parameters of the working process leads to an expansion of the area of locally optimal parameters. With optimal parameters of the working technological process, we can expect a reduction in the cost of work.

**Keywords:** technological equipment, assembly slipway, lodgments, aluminum alloys, protective coating of parts of the Assembly device, additive technologies, drilling holes, riveting, assembly accuracy, high quality of riveting.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-1-67-71

*Vladimir Kudryashov, Postgraduate Student of the Department of Aircraft Construction.*

*E-mail: kudryashov-vl@mail.ru*

*Aleksandr Fedorov, Ph. D., Associate Professor of the Department of Aircraft Construction.*

*E-mail: aa.fedorov@ulstu.ru*

*Anastasia Koshkina, Ph. D., Associate Professor of the Department of Aircraft Construction.*

*E-mail: fallen0008@mail.ru*

*Evgeny Karpukhin, Postgraduate Student of the Department of Aircraft Construction. E-mail: ew.karpukhin1@yandex.ru*