

УДК 621.7

Бычков С.А.¹, Матвиенко В.А.², Романович Г.Н.¹¹ Государственное предприятие «АНТОНОВ». Украина, г. Киев² АО «Украинский научно-исследовательский институт авиационной технологии». Украина, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АГРЕГАТНО-СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ

Представлены материалы, отражающие отдельные результаты, а также перспективы разработки новых эффективных технологий агрегатно-сборочного производства, системно обоснованных и подтвержденных необходимыми исследованиями и испытаниями, как одного из условий безопасной эксплуатации гражданских самолетов.

Ключевые слова: новые технологические процессы; агрегатно-сборочное производство; технологии выполнения высоконагруженных соединений элементов конструкции планера.

В последние годы в Украине на разных уровнях предпринимаются энергичные меры экономического, организационного, технического характера, направленные на скорейшее возобновление серийного производства пассажирских и транспортных самолетов, обеспечение их конкурентоспособности на мировых рынках авиационной техники. Одной из ключевых задач, решение которой будет способствовать достижению этих целей, является технологическая модернизация серийных самолетостроительных предприятий. В первую очередь, сборочного производства, на долю которого приходится до 50% трудоемкости изготовления самолета в целом [1].

Важная роль в этом процессе отводится разработке и внедрению новых эффективных технологий, системно обоснованных и подтвержденных необходимыми исследованиями и испытаниями, как одного из условий безопасной эксплуатации самолетов нового поколения.

Характерной чертой развития отечественного авиастроения в Украине и России на современном этапе является объективно сложившаяся и углубляющаяся тенденция перехода от отраслевого к корпоративному принципу формирования нормативно-технического базиса создания авиационной техники, в том числе, в сфере технологии её производства. Среди прочих причин, обуславливающих формирование такой тенденции можно назвать следующие:

— большая часть действующих общепромышленных нормативно-технических документов (НТД) не являются на сегодняшний день актуализированными и не отражают современный научно-технический уровень мирового авиастроения;

— повышение уровня требований к технологии изготовления гражданской авиационной техники со стороны международных и национальных органов, обеспечивающих надзор за её производством и эксплуатацией [2].

Так, Межгосударственный авиационный комитет (МАК), членами которого являются Украина и Россия, в качестве условий, необходимых для сертификации типа воздушного судна (ВС), выдвигает, в частности, такие положения:

— «...каждый новый технологический процесс, применяемый в производстве летательного аппарата, должен быть обоснован результатами испытаний;

— обоснованность программами и результатами испытаний и внедрения нормативной технологической документации, которая назначена Разработчиком для выполнения новых технологических процессов;

— достаточность перечня новых технологических процессов с точки зрения включения в него всех технологических процессов Изготовителя, которые ранее у него не применялись и внедрение которых связано с производством данного типа ВС...».

При этом, под «новым технологическим процессом» понимается процесс «...содержащий ранее не применявшиеся в отрасли методы изготовления, на который отсутствует нормативно-техническая документация или технологический процесс, который не применялся на предприятии».

Учитывая, что современные самолетостроительные проекты посвящены гражданским самолетам нового поколения, их серийное производство предусматривает использование широкого спектра новых технологических процессов, в том числе, агрегатной

сборки планера. Следует также отметить, что значительная часть таких технологических процессов, как правило, относятся к категории «особо ответственных», т.е. к процессам «...изготовления, сборки, монтажа, регулировки, контроля, испытаний и другое, непосредственно влияющим на значение особо ответственных параметров особо ответственных частей ...».

Выбор наиболее эффективных методов упрочнения отверстий для перетекания топлива (ОПТ) в стрингерах из алюминиевого сплава 1163 нижних панелей кессонной части крыла и разработка соответствующих технологий упрочнения проведены на основании комплекса работ, которые предусматривали:

- численный анализ влияния конструктивных и технологических параметров на характеристики локального НДС в зоне ОПТ методом конечных элементов;
- экспериментальную проверку влияния методов упрочнения на долговечность стрингеров;
- экспериментальную отработку, оценку уровня точности и стабильности технологических процессов упрочнения;

– разработку средств технологического оснащения упрочнения ОПТ в стрингерах;

– разработку производственных инструкций, регламентирующих технологические процессы упрочнения соответствующими методами.

На основании результатов численных исследований был определен ранжированный ряд методов упрочнения ОПТ [3]. Для подтверждения результатов численных исследований проведены сравнительные усталостные испытания образцов, упрочненных методами раскатки, дорнования и барьерного обжатия соответственно (рисунок 1).

Достижение весового совершенства и, как следствие, эксплуатационной эффективности гражданских самолетов нового поколения в значительной степени обеспечивается существенным увеличением объема применения титановых сплавов для изготовления высоконагруженных элементов конструкции планера самолёта. В соответствии с прогнозами экспертов, доля титановых сплавов в общей массе планера гражданских самолетов, которые будут эксплуатироваться в 2015–2025 годах, будет составлять 15–20%, по сравнению с 3–5%,

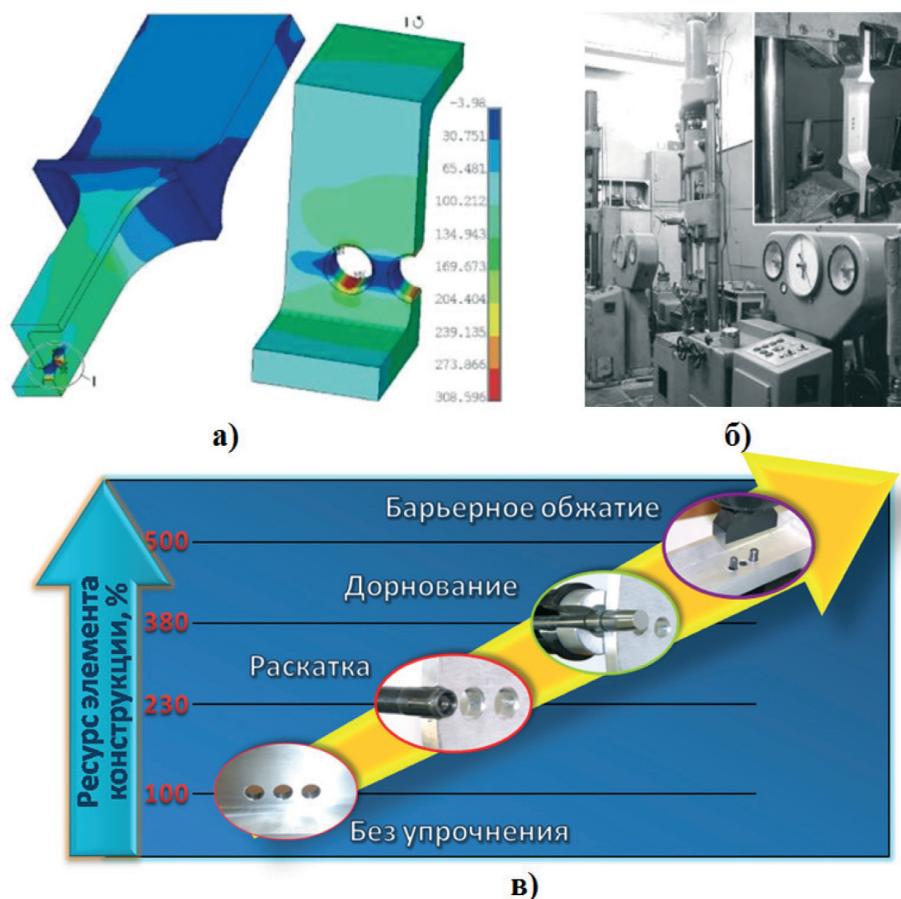


Рис. 1. Исследование и отработка технологии упрочнения функциональных отверстий в элементах конструкции планера самолета из алюминиевых сплавов:

- а) – численное исследование напряженно-деформированного состояния стрингера в зоне ОПТ;
 б) – исследование усталостной долговечности стрингеров с ОПТ;
 в) – влияние методов упрочнения ОПТ на усталостную долговечность стрингеров

характерными для самолетов предыдущего и нынешнего поколений.

Увеличение объемов применения титановых сплавов неразрывно связано с необходимостью решения ряда проблем в сфере материаловедения, обеспечения прочности и ресурса элементов конструкций, а также технологий их изготовления. Несмотря на неоспоримые преимущества, по сравнению с другими авиационными материалами (алюминиевыми сплавами, высокопрочными сталями), титановые сплавы, так же, как алюминиевые сплавы, чувствительны к концентраторам напряжений, к которым относятся отверстия для постановки крепежных элементов (болтов, болт-заклепок и т.п.).

Проведен комплекс экспериментальных исследований, направленных на создание эффективных технологий повышения усталостной долговечности элементов конструкции планера из титанового сплава ВТ6С в зоне отверстий под крепежные элементы.

В качестве исследуемой модели была принята бесконечная пластина с отверстием, которая достаточно адекватно отражает процессы, происходящие при воздействии эксплуатационных нагрузок, воспринимаемых элементами конструкции планера самолета. Исследовалось влияние режимов упрочнения отверстий методом дорнования. В результате проведенных исследований усталостной долговечности конструктивно-подобных образцов установлено, что наиболее эффективной технологией упрочнения отверстий под крепеж в элементах конструкций из сплава ВТ6С является трехпереходное дорнование. Усталостная долговечность образцов с отверстиями, упрочненными таким методом, в несколько раз выше, чем для образцов с неупрочненными отверстиями [4].

Установлено также, что, в отличие от алюминиевых сплавов, преваляющей предпосылкой повышения усталостной долговечности элементов конструкции из титановых сплавов с упрочненными отверстиями, является не создание благоприятствующего этому НДС, а образование модифицированной микроструктуры поверхностного слоя отверстия (рисунок 2).

Одной из доминирующих тенденций мирового, в том числе украинского, авиастроения является расширение применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в высоконагруженных агрегатах планера гражданских самолетов нового поколения. Учитывая это обстоятельство, очевидна актуальность разработки и освоения широкой гаммы технологических процессов производства таких конструкций [5, 6]. В соответствии с предложенным МАК и упомянутым выше термином «новые технологические процессы», большинство технологий, связанных с изготовлением элементов конструкции планера из ПКМ относятся к этой категории технологических процессов. В полной мере это положение распространяется на технологические процессы выполнения высоконагруженных соединений – один из наиболее ответственных этапов сборки планера, трудоемкость которого составляет до 30–40% трудоемкости агрегатной сборки планера в целом.

Следует отметить, что при создании гражданских самолетов нового поколения ведущие мировые производители уделяют большое внимание выбору типа и конструкции одного из важнейших компонентов высоконагруженных соединений – крепежа. К основным тенденциям развития авиационных крепежных систем можно отнести следующее:

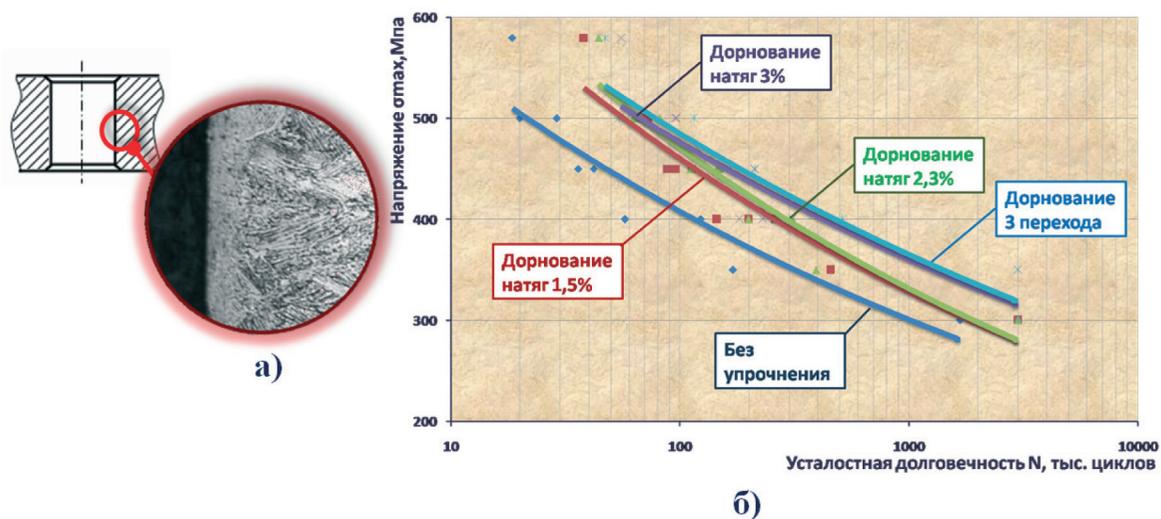


Рис. 2. Исследование и разработка технологии упрочнения отверстий под крепеж в элементах конструкции планера из титановых сплавов:

- а) – формирование модифицированной микроструктуры на стенках упрочненных отверстий;
б) – влияние технологических параметров упрочнения отверстий на усталостную долговечность образцов



– совершенствование крепежа для выполнения высоконагруженных соединений в регулярных зонах конструкции за счет снижения массы замыкающих элементов и расширение диапазона типоразмеров крепежа;

– создание специальных конструкций болтов из новых высокопрочных сплавов, обеспечивающих возможность повышения величин крутящего момента свинчивания болта и гайки;

– создание крепежа для конструкций из ПКМ, обеспечивающего увеличение площади контакта закладного и замыкающего элементов с поверхностями пакета, а также молниезащиту топливных отсеков кессонов.

Качество (прочность, ресурс, надежность и т.п.) высоконагруженных соединений определяется комплексом конструктивных и технологических факторов, требующих всестороннего исследования и апробирования в процессе разработки технологий выполнения соединений, а также полного и однозначного описания технологических процессов в соответствующих нормативно-технических документах.

Типовой укрупненный алгоритм проведения и перечень исследований и опытных конструкторско-технологических работ, выполняемых в процессе разработки технологии выполнения соединений, включает следующее:

– анализ конструкции соответствующего агрегата и разработка рекомендаций по повышению уровня ее производственной технологичности как объекта сборки;

– исследование влияния и выбор конструктивно-технологических параметров и процессов выполнения соединений, обеспечивающих реализацию требований к их качеству;

– исследование стабильности параметров технологических процессов обработки и точности отверстий под крепежные элементы;

– проверка правильности выбора конструктивно-технологических параметров соединений по результатам прочностных и усталостных испытаний образцов соединений;

– анализ технико-экономической эффективности использования в серийном производстве технологических процессов, базирующихся на полученных результатах исследований и опытной отработки на завершающем этапе исследований, разработанные конструктивно-технологические решения оцениваются с точки зрения необходимых трудовых и материальных затрат, как для уровня «агрегат планера», так и для уровня «технологический процесс».

Одним из примеров реализации такого алгоритма является комплекс работ, выполняемых в настоящее время совместно ГП «АНТОНОВ» и УкрНИИАТ, направленных на разработку эффек-

тивных технологий выполнения высоконагруженных соединений при сборке конструкций из ПКМ самолетов семейства «АНТОНОВ» нового поколения.

Первая фаза этого комплекса работ посвящена разработке комплексно-механизированных и автоматизированных технологий, которые должны обеспечить выполнение всех конструктивно-технологических требований, предъявляемых к соединениям на этапе изготовления и испытания экспериментальных образцов конструкций, а также изготовление установочных партий соответствующих агрегатов планера.

Следуя современным тенденциям в организации работ такого характера и с целью обеспечения эффективных результатов данная опытная конструкторско-технологическая работа (ОКТР) предусматривает использование, кроме опыта ГП «АНТОНОВ» и УкрНИИАТ, наработок ряда ведущих мировых разработчиков и изготовителей:

– специального режущего, механизированного и автоматизированного инструмента для обработки отверстий под крепежные элементы;

– специальных крепежных элементов односторонней постановки (КОП), предназначенных для сборки конструкций из ПКМ;

– механизированного инструмента для выполнения соединений с использованием специального КОП;

– методики планирования экспериментов и обработки их результатов;

– прочее.

Учитывая крупные габариты агрегатов планера современных гражданских самолетов, большое количество и широкую номенклатуру соединений, используемых для сборки, методика проведения ОКТР предусматривает разработку технологии выполнения типовых соединений.

На рисунке 3, в качестве примера, приведена схема классификации и типизации соединений на этапе анализа конструкции агрегата планера.

Результаты классификации и типизации соединений представлены в формате матрицы типовых соединений на рисунке 4.

При этом следует отметить целесообразность и эффективность типизации соединений, поскольку такой подход к планированию ОКТР позволяет сократить количество экспериментов без снижения уровня достоверности полученных результатов.

Данные, полученные на основании анализа конструкции агрегата и типизации соединений, являются основной исходной информацией для разработки программы отработки технологии выполнения типовых соединений, которая включает следующие основные операции:

– сверление;

– рассверливание;

– развертывание;

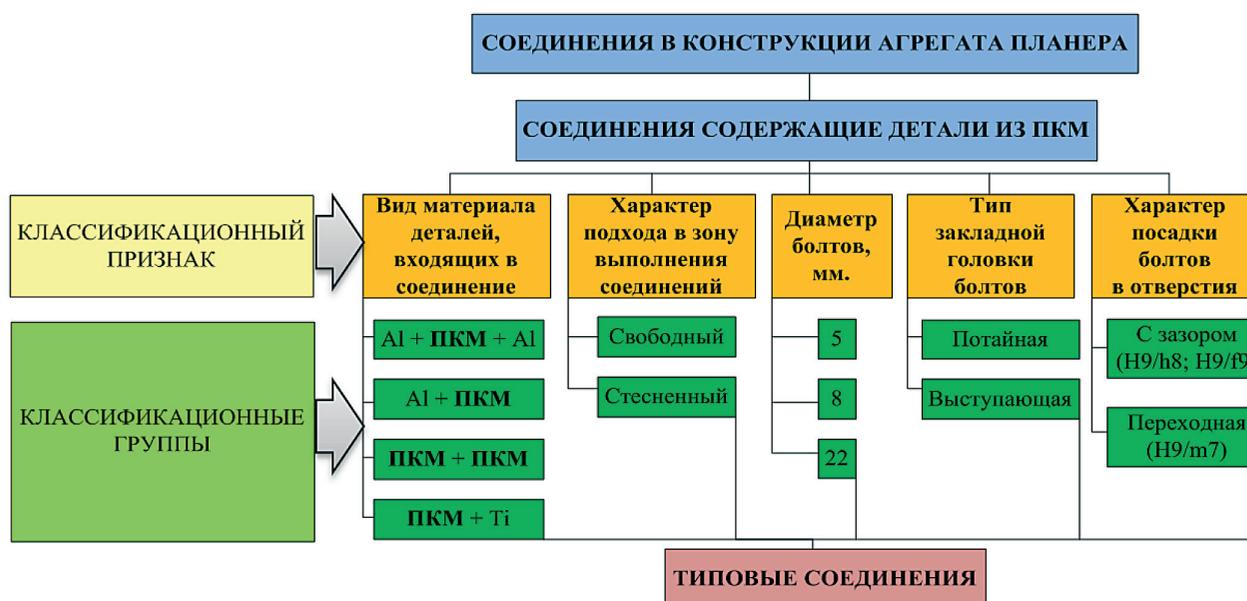


Рис. 3. Схема классификации и типизации соединений

Типовое соединение	Вид материала деталей	Ø отверстия, мм	Толщина пакета, мм	Характер посадки КЭ в отверстие	Форма головки КЭ	Характер подхода в зону выполнения соединения
А	Al / Al	8H9	20	H9/f9	выступающая	стесненный
Б	Al / Al	22H9	51	H9/m7	выступающая	свободный
В	Al / Al	5H9	5	H9/f9	потайная	свободный
Г	Al / Al	5H9	9	H9/f9	выступающая	стесненный
Д	Al / Al	5H9	6	H9/f9	потайная	свободный
Е	Al / Al	5H9	6	H9/f9	выступающая	стесненный
Ж	Al / Ti	5H9	6	H9/f9	потайная	свободный

Рис. 4. Матрица типовых соединений

- протягивание;
- зенкование гнезд под потайные головки крепежных элементов;
- постановка болтов в отверстие;
- образование замыкающих головок крепежных элементов.

Отработка технологии выполнения каждой из операций (или групп операций) для каждого типа соединений проводится в соответствии с разработанными матрицами. В качестве примера, на рисунке 5, представлена матрица эксперимента по отработке технологии обработки отверстий.



Рис. 5. Матрица эксперимента по отработке технологии обработки отверстий

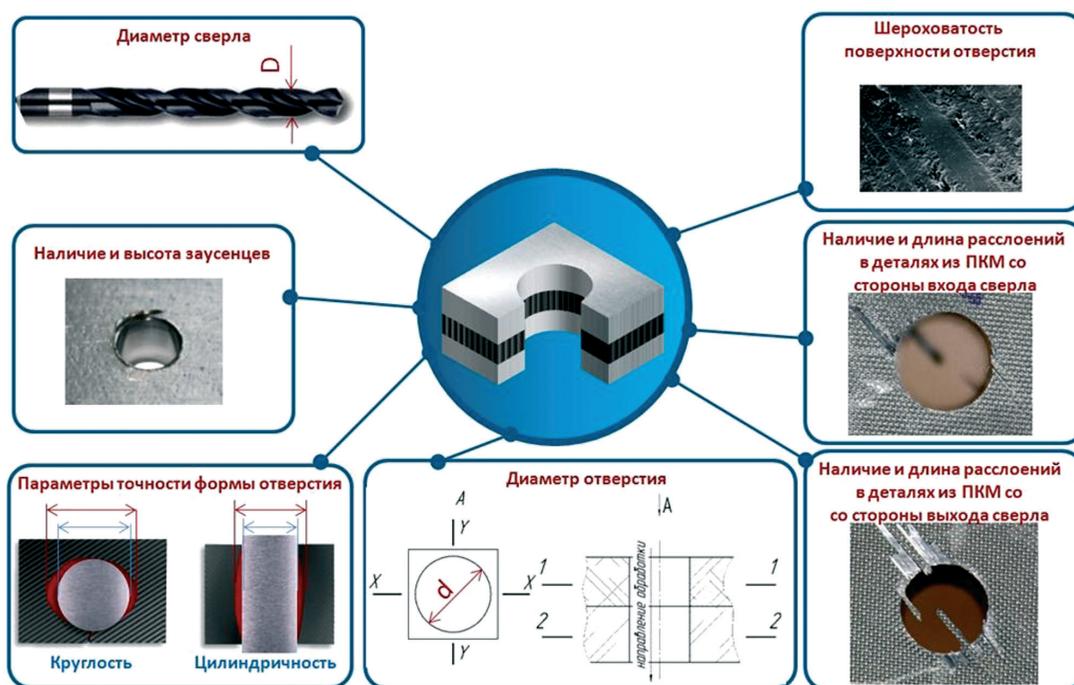


Рис. 6. Перечень контролируемых параметров просверленных отверстий

В частности, при отработке технологии выполнения операций сверления и рассверливания исследуемыми технологическими параметрами являются:

– режимы резания (частота вращения и величина подачи сверла);

– геометрия, материал и вид покрытия режущей части сверла;

– направление сверления отверстий в смешанных пакетах;

– наличие «технологической подложки» на выходе сверла со стороны элемента пакета из ПКМ;

— наличие смазочных материалов при сверлении пакетов, содержащих элементы из титановых сплавов.

Следуя такому плану экспериментальных работ, при отработке технологий сверления отверстий проводится порядка 120 опытов. Перечень контролируемых параметров просверленных отверстий представлен на рисунке 6.

Обработка результатов экспериментальных работ проводится с использованием современных методик системной обработки экспериментальных данных.

Аналогичные планы проведения экспериментальных работ сформированы для отработки технологии других операций при выполнении соединений.

Правильность технологических рекомендаций, разработанных на основании результатов экспериментальных работ, учитывая упомянутые выше требования МАК, будет подтверждена результатами прочностных и усталостных испытаний образцов соединений (рисунок 7). При этом, в качестве варьируемых параметров используются технологические факторы.

Результаты, полученные в ходе выполнения ОКТР, будут использованы в качестве доказатель-

связанные с созданием новых технологий производства самолетов.

В этой связи, представляется вполне логичными своевременное формирование современной модели технологической среды отечественного самолетостроения, сочетающей в себе соответствующие наиболее эффективные отраслевые и корпоративные принципы [7].

Литература

- [1] Пекарш А.И., Тарасов Ю.М., Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Громашев А.Г. и др. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов. – М.: Аградо-пресс, 2006, 304 с.
- [2] Межгосударственный Авиационный Комитет. Авиационный Регистр. Директивное письмо №1 – 2000. О введении в действие руководства 23-29-605 по методам определения соответствия технологии изготовления образцов ВС требованиям АП.
- [3] Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Бычков С.А. и др. Прогнозирование и расчет усталостной долговечности моделей силовых конструктивных элементов с отверстиями на этапах эскизного и рабочего проектирования. «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии» сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – № 45. – X., 2010, стр. 51–60.
- [4] Патент на корисну модель Україна (19)UA (11)57288 (13)U (51)МПК (2011.01) «Спосіб зміцнення виробів з титанових сплавів шляхом дорнування отворів у них».
- [5] Пикалов А.А., Особенности разделки отверстий в смешанных пакетах КМ-Ti-Al./ Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.14, №4 (2), 2012, – стр. 669–676.
- [6] Савин С.П., Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолетов семейства МС-21./ Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 14, №4 (2), 2012, стр. 686–693.
- [7] Матвиенко В.А. – Информационно-методологическая база технологического проектирования авиационной техники в системе CAD/CAM/CAE – «Технологические системы» №3, 2000, стр. 78–82.

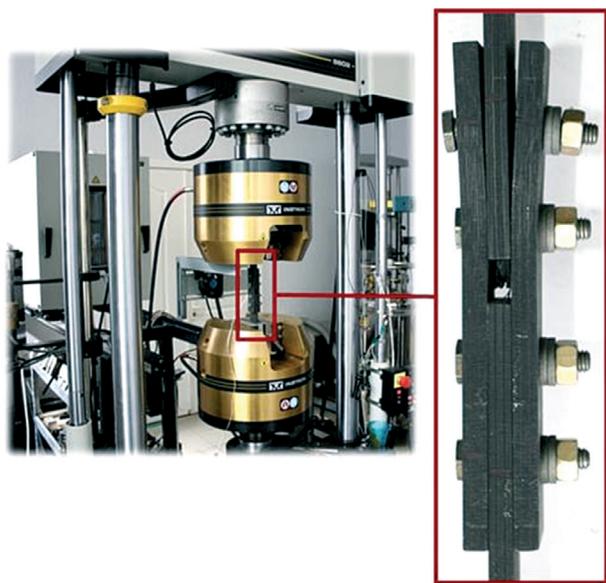


Рис. 7. Машина для испытаний образцов соединений

ной базы при сертификации воздушного судна и его производстве, а также для разработки корпоративного нормативного документа в формате технологической инструкции по выполнению соединений элементов конструкции планера самолета, содержащих компоненты из ПКМ.

В заключении целесообразно отметить, что наряду с увеличением габаритов и сложности конструкций самолетов, стремительно растут интеллектуальные, трудовые и материальные затраты,



*Bychkov S.A.*¹, *Matvienko V.A.*², *Romanovich G.N.*¹

¹ ANTONOV, State-owned Enterprise. Ukraine, Kiev

² Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, JSC. Ukraine, Kiev

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES OF CIVIL AIRCRAFT AGGREGATE-ASSEMBLY PRODUCTION

Presents materials that reflect the individual results and the prospects for the new efficient technologies of aggregate-assembly production development, system-based and confirmed the necessary research and tests as a condition for civil aircraft safe operation.

Keywords: new technological processes, aggregate-assembly production, technologies of the connection of highly air-frame components.

References

- [1] Pekarsh A.I., Tarasov Y.M., Krivov G.A., Matvienko V.A., Gromashev A.G. i dr. *Sovremennyye tehnologii agregatno-sborochnoogo proizvodstva samoletov.* – M.:Agrado–press, 2006, 304s.
- [2] Mezghosudarstvennyy Aviatsionnyy Komitet. *Aviatsionnyy Registr. Direktivnoe pismo #1 – 2000. O vvedenii v deystvie rukovodstva 23-29-605 po metodam opredeleniya sootvetstviya tehnologii izgotovleniya obratstov VS trebovaniyam AP.*
- [3] Krivov G.A., Matvienko V.A., Bychkov S.A. i dr. *Prognozirovanie i raschet ustalostnoy dolgovechnosti modeley silovyykh konstruktivnykh elementov s otverstiyami na etapah eskiznogo i rabochego proektirovaniya. «Otkryitiye informat-sionnyie i kompyuternyye integrirovannyye tehnologii» sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.E. Zhukovskogo «KhAI». – # 45. – H., 2010, str. 51-60.*
- [4] Patent na korisnu model Ukraina (19)UA (11)57288 (13)U (51)MPK (2011.01) «Sposib zmitsnennya virobiv z titanovih splaviv shlyahom dornuvannya otvoriv u nih».
- [5] Pikalov A.A., *Osobennosti razdelki otverstiy v smeshannykh paketakh KM-Ti-Al./ Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, t.14, #4 (2), 2012, – str. 669-676.*
- [6] Savin S.P., *Primenenie sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov v konstruksii planera samoletov semeystva MS-21./ Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, t.14, #4 (2), 2012, str. 686–693.*
- [7] Matvienko V.A. – *Informatsionno-metodologicheskaya baza tehnologicheskogo proektirovaniya aviatsionnoy tehniki v sisteme CAD/CAM/CAE – «Tehnologicheskie sistemy» #3, 2000, str. 78-82.*