

УДК 629.735.33

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРИ СБОРКЕ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ СМЕШАННЫЕ ПАКЕТЫ КМУ-Ti-Al

© 2014 А.А. Пикалов

Филиал ОАО «Корпорация «Иркут» в г. Ульяновске

Поступила в редакцию 05.09.2014

В статье описываются инновационные роботизированные системы, используемые при сборке различных агрегатов самолета, соответствующие высоким требованиям к гибкости, экономичности и автоматизации производства.

Ключевые слова: композиционный материал углепластик, смешанный пакет, летательный аппарат, роботизированный сборочный участок, агрегатно-сборочное производство

Авиационная промышленность постоянно нацелена на оптимизацию своих производственных процессов в соответствии с новыми требованиями, предъявляемыми в связи с использованием в конструкции конструкционных материалов углепластиков (КМУ) и смешанных пакетов материалов. Двигателем процесса оптимизации являются требования заказчика, как к качественным, так и экономическим характеристикам. Снижение массы конструкции, как инструмент повышения экономической эффективности летательных аппаратов (ЛА), является одной из приоритетных задач развития современной авиационной техники [1]. В настоящее время КМУ достаточно широко используются в конструкции. Не только агрегаты управления (рули, интерцепторы, элероны, закрылки), различные обтекатели и зализы, но и силовые элементы конструкции планера (кессоны крыла и хвостового оперения, отсеки фюзеляжа) изготавливаются из КМУ, так как при этом создается возможность повысить ресурс и надежность планера, а также снизить массу конструкции [2]. Применение КМУ и смешанных пакетов материалов в конструкции ЛА:

- уменьшает число входящих в сборочный узел деталей по сравнению с клепаными;
- сокращает число конструктивных и технологических разъемов;
- не приводит к возникновению концентрации напряжений в стыке;
- позволяет получать прочность соединения, равную прочности основных элементов;
- позволяет получать наиболее гладкие поверхности;

- не вызывает структурных изменений в соединяемых материалах и т.п.

Специфика свойств изделий из КМУ делает невозможным эффективно использовать существующие технологии по механической обработке металлов резанием. Особенно сложной задачей является разделка отверстий в смешанных пакетах, таких как КМУ-Ti-Al. Для минимизации погрешностей установки и соединения различных конструкций отверстия в таких пакетах необходимо разделять совместно. При разработке такой методики разделки отверстий инженеры сталкиваются с проблемами, возникающими ввиду разности требований к качеству и режимам механической обработки для каждого из материалов пакета. Разность при выборе скорости подачи режущего инструмента, скорости вращения шпинделя сверлильного устройства при обработке деталей из Al и Ti сплавов и конструкций из КМУ приводят к неравномерному нагреву элементов пакета при сверлении, поверхностным повреждениям материалов, износу режущего инструмента и т.д.

Техника безопасности при проведении работ – еще одна причина для повышения автоматизации, направленная на снижение воздействия на рабочих образующейся композитной пыли. Решения по автоматизации должны соответствовать текущим требованиям и иметь возможность поддерживать существующие программы и новые продукты в будущем. Такие требования ставят производителя перед фактом сокращения использования ручного труда и применения в агрегатно-сборочном производстве промышленных роботов. В автоматизированном сборочном производстве можно выделить следующие роботизированные сборочные участки **RACE** (robot assembly cell) (рис. 1):

Пикалов Антон Александрович, менеджер производственного отдела. E-mail: anton.pikalov@ufki.irkut.com

- интегрированной сборки обшивок **IPAC** (*integrated panel assembly cell*) (рис. 2);
- сборки панелей **MPAC** (*multy panel assembly cell*) (рис. 3);
- вертикальной сборки **VPAC** (*vertical panel assembly cell*) (рис. 4);
- с С-образной скобой **CPAC** (*C-frame panel assembly cell*) (рис. 5);
- интегрированной сборки отсеков **ISAC** (*integrated section assembly cell*) (рис. 6);
- сборки отсеков **FRAC** (*frame robot assembly cell*);
- сборки оперения **WPAC** (*wing panel assembly cell*) (рис. 7);
- окончательной сборки **IJAC** (*integrated joining assembly cell*) (рис. 8).



Рис. 1. Сборочный участок RACE



Рис. 2. Участок обшивок IPAC

Концепция. С помощью промышленных роботов на агрегатно-сборочном производстве (АСП) в автоматическом режиме должен выполняться полный цикл сборочных операций:

- позиционирование собираемой конструкции или агрегата;

- разделка отверстий (сверление и зенкование);
- подача крепёжного элемента;
- нанесение герметика;
- установка крепёжного элемента;
- затяжка крепёжного элемента;
- расфиксация и перемещение собранной конструкции или агрегата;
- возвращение на начало цикла.



Рис. 3. Участок панелей MPAC

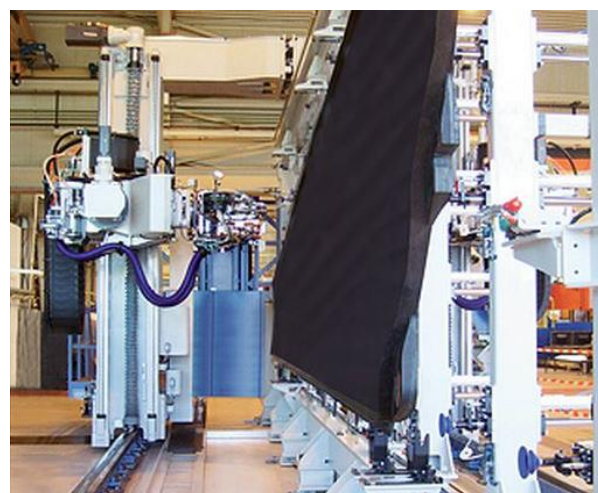


Рис. 4. Вертикальная сборка VPAC



Рис. 5. С-образная скоба CPAC



Рис. 6. Участок отсеков ISAC



Рис. 8. Участок окончательной сборки IJAC



Рис. 7. Сверлильная станция участка оперения WPAC

Роботизированные сборочные участки состоят из следующих основных компонентов (рис. 9):

- стандартная шарнирная роботизированная система;
- пакет высокоточной системы позиционирования;
- система перемещения по рабочей зоне X-Rail;
- система однозадачности, позволяющая производить сверление и зенкование за один переход;
- станции попеременной работы RACE для снижения времени простоя из-за установки, переналадки и настройки.

Кроме того, RACE оснащен вакуумной системой удаления композитной пыли, модулем автоматизированной смены режущего инструмента и оборудованием для обеспечения безопасности, включая ограждения и световые фонари [3].

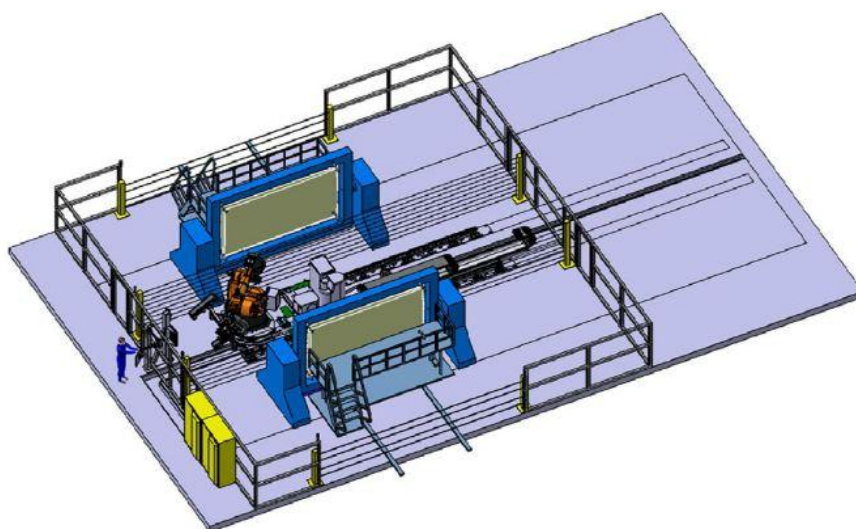


Рис. 9. Размещение роботизированного сборочного участка RACE

Лёгкая автоматизация. Современные сборочные системы основаны на принципах бережливого производства. Стандартные роботы имеют абсолютную точность позиционирования $\pm 2,5$ мм и однозначность позиционирования $\pm 0,05$ мм. В аэрокосмической промышленности обычно требуется абсолютная точность позиционирования $\pm 0,3$ мм, однозначность позиционирования $\pm 0,05$ мм, а также возможность автономного позиционирования в прямоугольной системе координат. Для выполнения данных требований по точности позиционирования стандартные роботы оснащаются пакетами для калибровки с применением компенсационных методов измерений. Этот пакет должен обеспечивать абсолютную точность позиционирования $\pm 0,3$ мм без использования внешних измерительных устройств (таких как лазерные трееры). Пакет включает в себя систему калибровки робота и использует в основном три компенсационных метода измерений. Он интегрирован в систему управления участком **Cell-Control**. Установка пакета производится один раз при вводе **RACE** в эксплуатацию. Внешние измерительные устройства не требуются.

Сущность процесса калибровки с использованием компенсационных методов измерений:

- Калибровка – идентификация реальной геометрии робота для повышения точности.
- Метод компенсации давления – компенсация динамических воздействий в гидropневматической системе для выравнивания давления.
- Метод координатной сетки – в рабочей зоне робота строится координатная сетка для достижения максимальной точности позиционирования.
- Метод компенсации температурной погрешности – предполагает расчет температурных воздействий для долгосрочной стабильности системы.

С интеграцией пакета для калибровки в систему управления **Cell-Control**, стандартный робот становится системой, которая удовлетворяет требованиям аэрокосмической промышленности. Такой робот после лёгкой автоматизации представляет собой экономически рентабельную систему позиционирования, которую можно успешно применять в производстве.

Система позиционирования. Система позиционирования **RACE** состоит из стандартного шарнирного робота, установленного на рельсах для увеличения охвата рабочей зоны. Захватываемое пространство также увеличивается на величину длины руки-манипулятора. Достаточная жесткость корпуса робота должна сводить к минимуму отрицательное влияние на точность позиционирования, а вес манипулятора

является дополнительным критерием при выборе робота. Интегрированная система перемещения по рабочей зоне **X-Rail** работает в качестве седьмой оси (рис. 10).

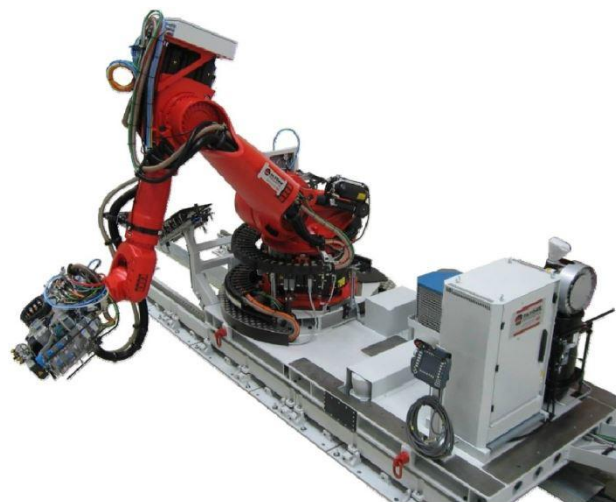


Рис. 10. Система перемещения по рабочей зоне **X-Rail**

Переменная работа **RACE** на двух параллельных станциях не только сокращает время простоя из-за установки, переналадки и настройки, но и требует принятия дополнительных мер по соблюдению правил техники безопасности. Поэтому рабочая зона с роботом оцеплена ограждением по всему периметру.

Масштабируемая система – установка для подъёма робота. Система позиционирования должна удовлетворять современным требованиям, однако также должна существовать возможность интеграции новых продуктов в будущем. Поэтому конструкция систем проектируется с использованием масштабируемого подхода. Система перемещения **X-Rail** разработана для увеличения пространства рабочей зоны. Так же **RACE** может быть оснащён установкой для подъёма робота (рис. 11).

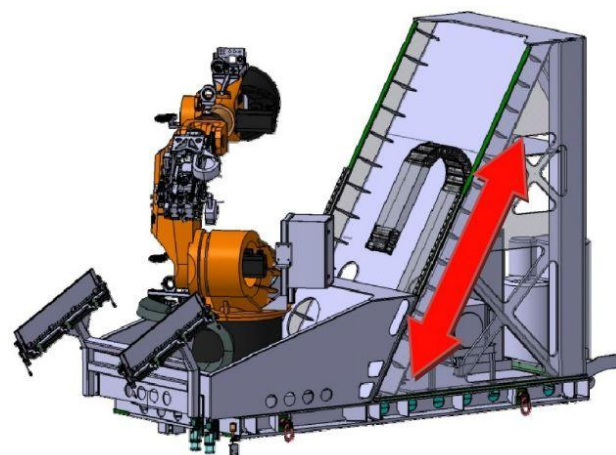


Рис. 11. Робот, установленный на подъёмное устройство

Система однозадачности манипулятора RACE предназначен для сборки деталей и агрегатов самолётных конструкций состоящих из КМУ и смешанных пакетов материалов, содержащих КМУ, титановые и алюминиевые сплавы. В связи с особыми требованиями, предъявляемыми к смешанным пакетам, требуется высокая скорость вращения шпинделя и оснащение **RACE** устройством подачи смазки через каналы в режущем инструменте.

Система однозадачности выполняет четыре функции:

- сверление и зенкование;
- автоматическое измерение толщины пакета;
- однозначное определение местоположения конструкции;
- сенсор для перпендикулярного позиционирования системы.

Устройства для выполнения первых двух функций расположены на руке-манипуляторе, установленной на опорной раме. Во время выполнения цикла сверления и зенкования обрабатываемая конструкция фиксируется прижимной лапой. Третья функция – определение положения реперных точек – представлена линейкой лазерных сенсоров, которые установлены в районе прижимной лапы. Они являются вторым важнейшим звеном в системе контроля. Оборудование для перпендикулярного позиционирования содержит набор лазерных сенсоров, размещённых вокруг прижимной лапы. Рука-манипулятор (рис. 12) состоит из следующих основных компонентов: опорная рама; прижимная лапа с усилием зажима 200-3000 Н пневмоприводная; блок шпинделя с крутящим моментом 5 Нм; скорость вращения шпинделя: 250-18000 об/мин; тип крепления режущего инструмента: цанговый – HSK 32E; возможность подачи смазки через каналы в режущем инструменте; блок подачи режущего инструмента со скоростью подачи: 0-2500 мм/мин; однозначность зенкования $\pm 0,015$ мм; сенсор автоматического измерения толщины пакета с точностью: $\pm 0,2$ мм; система стружко- и пылеудаления.

Рука-манипулятор оснащается приводными устройствами, использующими электрические или пневматические приводы. Системы управления рукой-манипулятором имеют несколько функций и возможностей, направленных на удовлетворение требований к разделке смешанных пакетов. Наиболее важной функцией является способность программирования определённых режимов обработки (скорость подачи режущего инструмента, скорость вращения шпинделя и подача смазки), которые изменяются в зависимости от материала каждого

конкретного слоя. Свободно настраиваемая микровибрационная “ключущая” подача обеспечивает достижение оптимального качества отверстий в смешанных пакетах материалов. Способность программирования определённых режимов обработки в комбинации с функцией ключущей подачи позволяет рассверливать пакеты материалов, состоящие из слоёв различных материалов, одновременно с зенковкой.

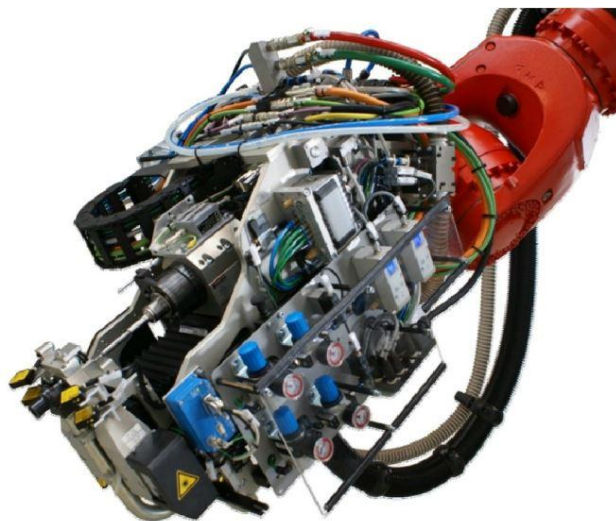


Рис. 12. Типовой вид манипулятора

Однозначное определение расположения конструкции. Соблюдение допусков на сборку требует однозначного определения положения самолетных деталей. Для этого лазерные сенсоры, расположенные на руке-манипуляторе, задают однозначное положение основных элементов, таких как заклепки, отверстия и габаритные размеры конструкции. Результат измерения используется для автоматизированного распознавания размеров конструкции в системе координат. Также имеется возможность интерполировать между двумя измеряемыми параметрами для определения правильной дистанции в заданной области.

Система управления. Роботизированный сборочный участок является полностью программируемой системой. Все действия задаются, выполняются и контролируются с операторского пульта (рис. 13). Это, например, позволяет производить контроль над точностью операции зенкования без остановки производственного процесса. Оператор осуществляет управление участком с помощью системы управления **CellControl**, устанавливаемой на ПК. Кроме функции визуализации, система управления **Cell-Control** содержит устройство ЧПУ и пакет калибровки для точного позиционирования робота.

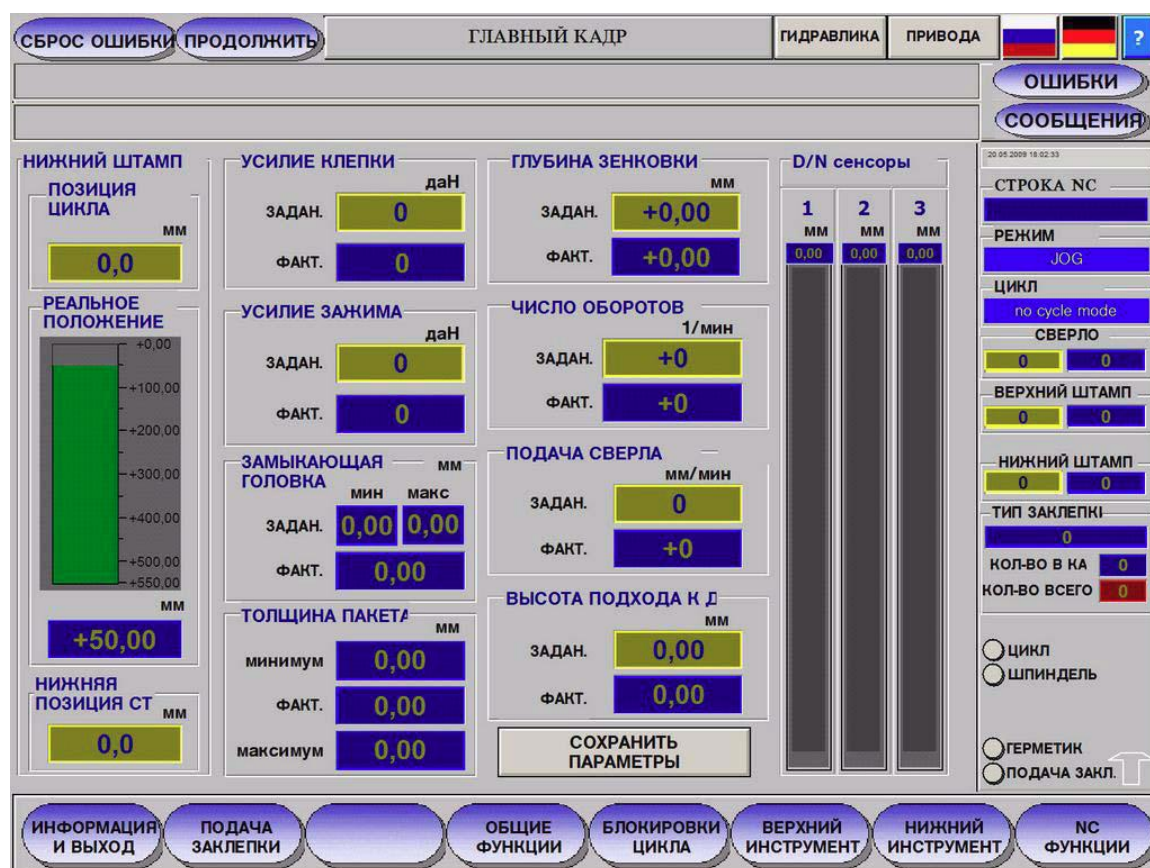


Рис. 13. Основные области визуализации процесса

Устройство числового программного управления (ЧПУ). Устройство ЧПУ позволяет генерировать трехмерные модели деталей и чертежи. Такая система позволяет оператору быстро подгружать необходимые для рабочего процесса компоненты. Осуществляется постановка задач, настройка руки-манипулятора и выполняется процесс моделирования. Процесс интеграции программ в электронную модель **RACE** и настройка необходимых параметров осуществляется специализированным ПО в том числе и при помощи **OLP** (Offline Programming System). Устройство ЧПУ совместно с системой **OLP** управляют процессом импортирования данных из электронных моделей системы автоматизированного проектирования (САПР).

Выводы: роботизированные сборочные системы **RACE** соответствуют высоким требованиям к гибкости, экономичности и автоматизации производства. Они способны эффективно выполнять полный цикл сборочных операций, в том числе и конструкций из КМУ и смешанных пакетов, содержащих КМУ, а так же Ti и Al сплавы:

- позиционирование собираемой конструкции или агрегата;
- разделка отверстий (сверление и зенкование);
- подача крепёжного элемента;

- нанесение герметика;
- установка крепёжного элемента;
- затяжка крепёжного элемента;
- расфиксация и перемещение собранной конструкции или агрегата;
- возвращение на начало цикла.

Внедрение в АСП систем **RACE** приводит к сокращению использования ручного труда, что в условиях массового производства приводит к повышению экономической эффективности. Применение **RACE** выводит технологию сборки деталей самолётных конструкций и агрегатов на новый уровень, до настоящего времени не освоенный в России, включая новую конструкцию технологической оснастки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Колганов, И.М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть 1: Учебное пособие / И.М. Колганов, П.В. Дубровский, А.Н. Архитов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. С. 93
2. Савин, С.П. Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолётов семейства MC-21 // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, №4(2). С. 686.
3. Mehlenhoff, T. Solution for Automated Drilling in Composite Structures with a Standard Articulating Robot System / T. Mehlenhoff, C. Bloedorn // SAE International, doi: 10.4271/2010-01-1838, 2010.

USE OF THE ROBOTIZED SYSTEMS AT ASSEMBLY OF AVIATION CONSTRUCTIONS CONTAINING THE MIXED PACKETS FROM CARBON FIBER REINFORCED POLYMER AND TITANIUM AND ALUMINUM ALLOYS

© 2014 A.A. Pikalov

Branch of JSC “Irkut Corporation” in Ulyanovsk

In article the innovative robotized systems used at assembly of various units of the aircraft, conforming to high requirements of flexibility, profitability and industrial automation are described.

Key words: carbon fiber reinforced polymer, mixed packet, aircraft, robotized assembly unit, modular and assembly production