

ВЛИЯНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЙ

Известно, что ни один современный самолет в мире не создается без применения композиционных материалов (КМ). Применение композитов с высокими удельными физико-механическими характеристиками позволяет экономить топливо в перерасчете на 1 пас/км, улучшить аэродинамическое качество поверхности планера, снизить массу конструкций в целом.

В связи с ужесточением требований авиакомпаний по экономичности и расходу топлива, выбросу СО в атмосферу конструкции и агрегаты самолетов и двигателей усложняются, наблюдается перманентная тенденция роста применения композиционных материалов в конструкциях авиа-космической техники (АКТ) [1 – 5].

Усложнение конструкций в совокупности с необходимостью обеспечения серийного производства самолетов явилось определенным толчком для развития автоматизации и механизации производства, которое включают в себя разработку нового или модернизацию существующего оборудования, внедрение новых технологических процессов и материалов.

При изготовлении конструкций из КМ важную и наиболее трудоемкую часть технологического процесса занимают операции раскроя и выкладки слоев препрега или армирующей заготовки под заданными углами их ориентации и с определенной точностью в соответствии с требованиями конструкторской документации. Ранее для обеспечения этих операций успешно применялся плазово-шаблонный метод (ПШМ) увязки конструктивных элементов деталей и агрегатов.

В настоящее время сложность поверхностей конструктивных элементов самолета уже не позволяет задавать геометрические параметры сопрягаемых деталей и увязывать их с помощью традиционных машиностроительных чертежей с обеспечением требуемой точности и качества увязки. Суть ПШМ состоит в использовании системы жестких носителей форм и размеров взаимно-сопрягаемых элементов конструкции и геометрической увязки их между собой. В основе единой системы лежит теоретический плаз агрегата самолета. С помощью ПШМ осуществляется увязка контуров плоских сечений каждого агрегата и меж-агрегатных стыков, деталей, лежащих в плоскости одного сечения.

С развитием композитного производства и постепенного усложнения конструкций из КМ, ПШМ также стал применяться для послойного раскроя увязки и выкладки слоев препрега деталей из КМ.

Однако ПШМ имеет определенные недостатки. В современной сфере автоматизации и механизации процессов производства применение ПШМ характеризуется трудоемким процессом технологической подготовки производства из-за последовательного связанного переноса формы и размеров из первоисточника на формообразующую поверхность оснастки. Необходимость изготовления широкой номенклатуры жестких носителей форм и размеров (шаблонов) для обеспечения геометрической увязки при изготовлении отдельных шаблонов, их подгонки по месту влечет за собой увеличение циклов подготовки производства. Следует учитывать также влияние «человеческого фактора» при изготовлении жестких носителей форм. На высокотехнологичных производствах такой подход в организации подготовки производства считается неэффективным, т.к. одним из определяющих факторов производства являются затраты, которые необходимо снижать.

Вследствие сказанного область применения ПШМ сокращается. ПШМ вытесняется методом независимой увязки элементов летательного аппарата (ЛА) с использованием математического моделирования поверхностей ЛА в различных САД-системах. Одновременно возросли требования к точности аэродинамического контура и качества входящих в сборку деталей самолета, возникла острая потребность в снижении сроков и трудоемкости подготовки производства при организации серийного производства новых самолетов.

Для реализации современных методов сборки и увязки необходимо обеспечить высокое качество изготовления деталей из КМ. Это невозможно выполнить без использования САД-систем, которые позволяют создать электронный макет изделия или сборочного агрегата. Особенно это важно для композитных деталей, т.к. современные САД-системы позволяют создать послойную математическую 3D-модель с учетом последующей технологии ее изготовления и применяемых материалов.

На первом этапе освоение такого метода проектирования композитных деталей представляется трудоемким для конструктора, поскольку он предполагает послойное моделирование каждого отдельного слоя детали, которые характеризуются его границами и поверхностью. Кроме этого, необходимо создавать отдельную технологическую модель, включающую в себя послойный раскрой и развертки слоев детали, необходимые раскройным машинам (РМ) и лазерным проекционным системам (ЛПС). В связи с этим и по причине большого числа информации требуются высокие показатели производительности компьютеров.

Однако эти трудности являются временными на период адаптации специалистов при переходе на новые методы проектирования с освое-

нием новых программных продуктов и нивелируются безусловными преимуществами, которые дает автоматизация производственных процессов.

В настоящее время существует ряд САД-систем, которые успешно работают в комплексе с современным автоматизированным оборудованием (РМ, ЛПС, укладочные машины) при изготовлении деталей из КМ.

Работа такого комплекса позволяет не только повысить качество и точность изготовления деталей, но и их физико–механические характеристики, а также уменьшить расход дорогостоящих материалов, повысить эффективность и сократить циклы производства деталей. Безусловно, такое оборудование требует немалых начальных инвестиций, однако, как показывает практика многих зарубежных компаний, специализирующихся на серийном производстве композитных деталей в рамках кооперации европейских авиационных программ, такие инвестиции окупаются.

На рисунке схематически показан вариант последовательности создания деталей из КМ с применением современных методов автоматизации и программного обеспечения.

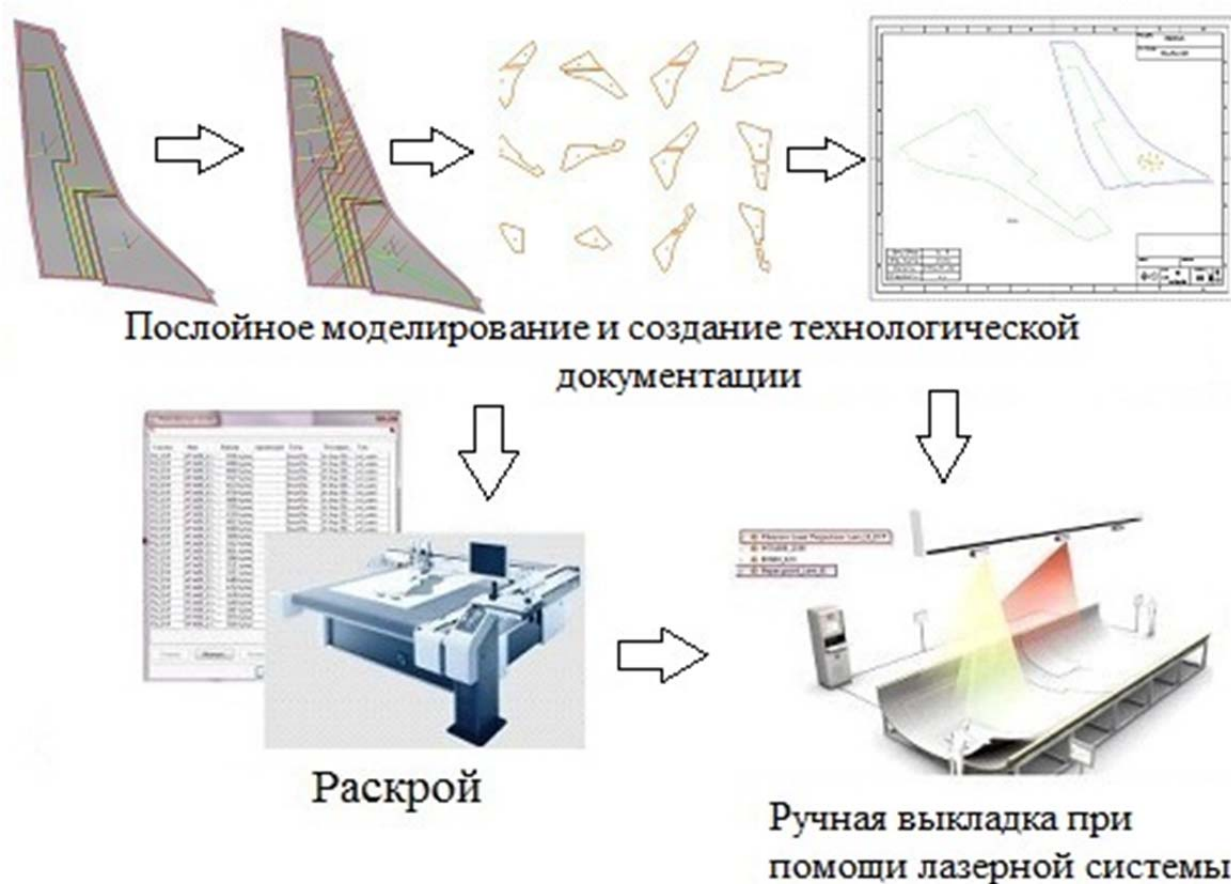


Схема процесса производства композитных деталей с использованием РМ и ЛПС

«Производственной» составляющей этой схемы являются РМ и ЛПС. Применение раскройного оборудования также позволяет повысить и экономическую эффективность производства. Благодаря системе оптимального раскроя материала, которой обладает раскройная машина, а также высокой скорости и качеству раскроя заготовок, достигается экономия дорогостоящих армирующих наполнителей, пленочных клеев, связующих до 20%, повышается коэффициент использования материала (КИМ) до 0,9 – 0,92.

Основной задачей ЛПС является послойное проецирование изображения границ слоев при выкладке, их разверток на рабочую поверхность оснастки или раскройного стола при изготовлении изделий из КМ.

Примером эффективности подготовки производства с применением ЛПС на опытном производстве ГП «АНТОНОВ», является изготовление из углепластика монолитной детали крыла пассажирского самолета, которая имеет большое количество слоев с их сложной геометрической увязкой между собой.

Ранее, до внедрения в производство ЛПС, для изготовления этой детали был изготовлен комплект шаблонов - разверток из тонколистовой стали для ручного раскроя каждого слоя препрега. Точность изготовления шаблонов составляла 0,3 мм. С помощью этих шаблонов выполнялись послойный раскрой заготовок и выкладка на форму.

При этом согласно техническим характеристикам лазерных проекторов, созданные программой проецируемые контуры имеют отклонение проекции на форме менее $\pm 0,5$ мм.

Сравнительные данные по затратам для обоих методов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнительные данные по затратам на подготовку производства ПШМ и метода применения лазерных проекторов

Метод	Количество шаблонов	Стоимость материала для шаблонов, грн	Трудоемкость изготовления шаблонов, н/ч	Точность выкладки, мм
Плазмово-шаблонный метод	277	3000,00	1200	0,3
Применение лазерных проекторов	-	-	500 (трудоемкость создания модели)	0,5

По данным иностранных источников [6] применение ЛПС на производстве в сравнении с ручным методом выкладки препрега позволяет сократить трудоемкость укладки материала ориентировочно на 30%.

Тогда,

$$T_{\text{укл.авт.}} = T_{\text{укл.}} \cdot 0,7$$

где $T_{\text{укл.авт.}}$ – осредненная трудоемкость автоматизированной укладки типовой детали из КМ; $T_{\text{укл.}}$ – исходная трудоемкость выкладки слоев КМ ручным методом.

Зависимость для определения необходимого количества лазерных проекторов на программу выпуска изделий из КМ годовой потребности можно представить в виде:

$$Q = \frac{T_{\text{укл.авт.}} \cdot K_{\text{исп.}} \cdot n}{q_{\text{чел.}} \cdot T_{\text{год.}} \cdot r},$$

где Q – потребное количество лазерных проекторов на годовую программу; r – многократность использования одного лазерного проектора при раскросе различных деталей в течение годовой программы; n – годовая программа выпуска изделий из КМ; $T_{\text{укл.авт.}}$ – сокращенная трудоемкость укладки; $K_{\text{исп.}}$ – коэффициент использования лазерных проекторов, равный 0,8; $q_{\text{чел.}}$ – количество человек, работающих с одним проектором (принимается равным 3); $T_{\text{год.}}$ – годовой фонд одного рабочего, н/ч. (ориентировочно составляет 2000 н/ч.).

Потребное количество РМ можно определить, основываясь на экспертных оценках. Можно принять, что, соотношение РМ к количеству лазерных проекторов будет равняться 1:12. Это соотношение позволит обеспечить бесперебойную загрузку ЛПС и рабочих при выкладке препрега.

В качестве демонстрации эффективности РМ рассмотрим возможность применения этого типа оборудования для изготовления деталей из ПКМ самолетов Ан-148/158, используя в качестве показателей эффективности – экономию материала и повышение КИМ.

Как говорилось выше, применение РМ позволяет повысить КИМ на 20%. Общая масса композиционных материалов на самолетах семейства Ан-148/158 составляет 2050 кг, из них 500 кг – углепластик и 1550 кг – стеклопластик.

В связи с относительно высокой стоимостью углеродных наполнителей по сравнению со стеклопластиком (углепластик дороже стеклопластика более чем в 30 раз) пленочными клеями, пленками и другими материалами, стоимостью остальных материалов в данном случае можно пренебречь.

Стоимость одного килограмма углеродного наполнителя составляет порядка 400 USD. Выполнив простые расчеты, получим стоимость применяемых КМ материалов, равную 220 800 USD для одного самолета, а с учетом 20% экономии материала эта величина составит 176 600 USD.

Таким образом, можно видеть, что с учетом стоимости раскройной машины около 220 000 USD ее окупаемость наступит после производства седьмого самолета.

Выводы

Обоснованы необходимость и перспектива автоматизации производства на примере нескольких технологических операций – операции выкладки и раскроя, а также показана эффективность, которую можно получить по средствам внедрения лазерных проекционных систем и раскройного оборудования. Применение указанного оборудования позволяет обеспечить высокую точность раскроя слоев деталей и их позиционирование при выкладке на оснастку, что в результате позволит повысить не только качество деталей из ПКМ и высокую степень повторяемости деталей, но и их физико-механические характеристики, точность их установки и сборки на самолете.

Предложена зависимость для прогнозирования необходимого количества лазерных проекторов и раскройного оборудования для обеспечения серийного производства изделий из композитов.

Указанная экономическая эффективность от применения РМ не учитывает затраты по внедрению специализированного программного обеспечения для послойного моделирования деталей из композитов.

Точность прогноза в определяющей степени будет зависеть от серийной программы выпуска самолетов, динамики роста стоимости материалов и оборудования, экономических, политических и других факторов, с которыми будет сопряжено производство. Для этого необходимо провести более углубленный и подробный анализ с учетом перспектив развития отечественной авиастроительной отрасли.

Список использованных источников

1. Кива, Д.С. Этапы становления и начала развернутого применения полимерных композиционных материалов в авиаконструкциях отечественного назначения (1970-1995 гг.) [Текст] / Д.С. Кива // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – №6(113). – С. 5 – 16.

2. Композиционные материалы [Текст]: / в 8 т. под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. – М.: Мир, 1978. – Т. 3: Применение композиционных материалов в технике. – 511 с.

3. Композиционные материалы в технике [Текст] / Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, А.Б. Сапожникова и др. – К.: Техника, 1985. – 152 с.

4. Puccini, G. Finmeccanica-Alenia Aeromacchi: a key role in the manufacture of the 787 Dreamliner [Текст] /G.Puccini // Jec Composites Magazine/ 2015. – № 96. – P. 48 – 50.

5. Bond, G. Taking the Pressure Off: Out-of-Autoclave Composite Prepregs Past, Present, and Future [Текст] /G. Bond // 35th International Technical Conference & Forum SAMPE Europe March 10th – 11th 2014, Paris, France. – 2008. – P. 2 – 18.

6. Armbruster, T. Producing CFPR parts more than twice as fast using laser projectors for aerospace [Текст] / T. Armbruster // JEC Composites Magazine № 90 – 2014. – P. 55 – 56.

Поступила в редакцию 28.08.2015.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*