

Автоматизированный комплекс для правки и доводки монолитных панелей с контролем формы обводообразующей поверхности панели в процессе ее деформирования

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Проведена оценка возможности создания и предложена принципиальная схема автоматизированного комплекса для выполнения процессов правки и доводки монолитных панелей путем их локального деформирования. Комплекс позволяет с помощью контрольно-измерительной машины в режиме реального времени отслеживать и анализировать изменения геометрических параметров панели при ее формообразовании, а также на основе системы автоматизированного расчета и записи управляющей информации корректировать параметры процесса деформирования в зависимости от типа применяемого инструмента. Проведены эксперименты по доводке формы панели зональным деформированием и получены удовлетворительные результаты.

Ключевые слова: монолитная панель, обводообразующая поверхность, локальное деформирование, формообразование, контрольно-измерительная машина, электронная модель, данные измерений, “облако” точек, автоматизированный комплекс.

Введение

Для повышения эксплуатационного ресурса планера самолета в качестве корпусных деталей в настоящее время широко используют крупногабаритные монолитные панели [3]. В связи с тем, что монолитные панели, применяемые в конструкции современных летательных аппаратов (ЛА), имеют большие габаритные размеры, двойную знакопеременную кривизну, нерегулярную внутреннюю гравюру, разновысотность и разнотолщинность участков (ребер) жесткости, процесс их формообразования представляет серьезную технологическую проблему [4]. Методы изготовления крупногабаритных монолитных панелей обладают низкой производительностью формообразования и контроля формы поверхности панели в процессе ее формоизменения, не обеспечивают равномерное совместное деформирование полотна и ребер панели, а также сопровождаются такими дефектами, как отклонение от заданной формы, неточность получаемых размеров, возможное снижение качества поверхности, превышение допустимых деформаций и т.д. Поэтому при изготовлении панелей и обшивок большое распространение получили технологические процессы локального деформирования [6], широко используемые на этапах предварительного (чернового) формообразования и окончательной доводки панели, что позволяет существенно повысить качество получаемой обводообразующей поверхности монолитной панели и увеличить точность ее изготовления.

В целях обеспечения высокой точности формоизменения крупногабаритных монолитных панелей независимо от отклонений размеров поперечного сечения ребер и полотна после их механической обработки повышаются требования, предъявляемые как к качеству внешней поверхности панели, получаемой в результате технологической операции формообразования, так и непосредственно к процессу контроля формы панели на всех этапах ее изготовления. Для анализа геометрических параметров обводообразующих поверхностей монолитных панелей в процессе выполнения операции их деформирования на авиационных предприятиях в состав технологических комплексов внедряются современные

координатно-измерительные машины (КИМ) [7]. Использование КИМ для контроля формы поверхности монолитной панели, получаемой в результате ее формообразования, позволяет в режиме реального времени отслеживать и анализировать изменения геометрических параметров панели при ее формоизменении и с помощью систем автоматизированного расчета и записи управляющей информации корректировать параметры процесса деформирования панели в зависимости от типа применяемого инструмента.

Интеграция современных координатных измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) [2] в технологические методы изготовления деталей сложной формы, а также использование возможностей автоматизированных систем класса CAD/CAM/CAE/PLM [1] позволяют реализовать процесс сквозного проектирования, изготовления и контроля крупногабаритных элементов со сложной геометрией. Благодаря объединению в одну информационную среду процессов конструирования (CAD), изготовления (CAM) и контроля качества готовой продукции (CAQ) [2], а также за счет увеличения скорости внесения изменений на любом этапе подготовительно-производственного цикла изделия обеспечивается значительное сокращение сроков выполнения работ, повышается их качество и конкурентоспособность.

Постановка задачи экспериментального исследования

Обычно контроль геометрической формы деталей основан на результатах измерений: их сравнивают с установленными величинами допусков соответствующих параметров в конструкторской документации (КД). Входными данными для процесса координатных измерений является информация о номинальной форме изделия [2]. В широко распространенном в промышленности плазово-шаблонном методе точность деталей и узлов оценивают путем их сопоставления с соответствующей плазово-шаблонной оснасткой. Этот метод контроля геометрических параметров изделия характеризуется недостаточной точностью, высокой трудоемкостью процесса контроля поверхностей сложной формы по плоским шаблонам контуров отдельных сечений детали или агрегата.

Сегодня на смену плазово-шаблонному методу в авиационной отрасли внедряется новый современный метод производства и обеспечения контроля — бесшаблонный (бесплазовый), при использовании которого частично или полностью отказываются от физических носителей форм и размеров. В данном методе первоисточником является трехмерная электронная модель (макет) объекта, агрегата или узла, выполненная с помощью CALS-технологий [7]. Для определения соответствия геометрических параметров изделия конструкторским значениям КД передают на производство в форме, понимаемой компьютером, — в виде электронной модели (CAD-модели), которая представляет собой трехмерное изображение математической модели объекта, описанной с высокой точностью в пространстве с помощью координированных поверхностей, линий и точек, построенных на основе принципа трехмерной параметризации. В связи с этим для контролирования геометрических параметров обводообразующих элементов и технологической оснастки, изготовленных по трехмерным электронным моделям, разрабатывают и внедряют в производство новые методы контроля. К ним относятся такие, как метод контроля с помощью координатно-измерительных систем и систем лазерного сканирования, лазерно-оптический и голографический методы, а также метод фотограмметрии [7].

Возможность определения с высокой точностью координат любой точки CAD-модели позволяет вычислять любые необходимые геометрические параметры объекта и проверять сложные поверхности узлов и агрегатов ЛА с помощью координатно-измерительных машин в режиме реального времени. Традиционная конструкция КИМ представляет собой измерительную головку с сенсорным управлением, работающую по принципу касания (контактный способ) или по оптическому принципу (бесконтактный способ) и перемещающуюся по трем взаимно ортогональным направляющим, которые обеспечивают измерение геометрических параметров объекта одновременно в трех декартовых координатах. Благодаря развитию программно-математического обеспечения с большим набором модульных программ для измерения деталей с различными простыми и сложными поверхностями, а также наличию системы измерительных головок касания с большим набором щупов различной конфигурации (рис. 4, б) обеспечивается возможность контроля максимально большого числа геометрических параметров изделия при одной его установке на координатно-размерном стенде (КРС).

Развитие вычислительной техники, математического и программного обеспечения, а также достижения робототехники в области разработки автоматизированных технических систем делают возможным создание и использование в технологических процессах современных промышленных систем измерения, которые позволяют получать, обрабатывать и анализировать информацию, необходимую для контроля качества измеряемых деталей сложной формы в процессе их изготовления в целях определения соответствия получаемых поверхностей их теоретическим моделям [1]. В то же время применение таких систем измерения для контроля формы монолитных панелей при их формоизменении и выполнении доводочных операций в заготовительно-штамповочном производстве остается весьма ограниченным по причине отсутствия соответствующих устройств и необходимых методик для реализации такого процесса.

В целях повышения производительности технологического процесса правки и доводки ребренных монолитных панелей в Национальном аэрокосмическом университете им. Н. Е. Жуковского "ХАИ" на кафедре технологии производства летательных аппаратов разработан технологический метод, позволяющий с помощью универсального инструмента, реализующего операцию локального деформирования, проводить местную гибку панелей непосредственно при контроле ее формы на КРС [5].

Целью данного исследования является оценка возможности создания автоматизированного комплекса, предназначенного для выполнения процессов правки и доводки монолитных панелей путем их локального деформирования и позволяющего контролировать с помощью КИМ геометрическую форму обводообразующей поверхности панели в режиме реального времени на любом этапе ее формообразования. В рамках предложенного в работе [5] технологического метода правки и доводки монолитных панелей сложной формы для контроля качества получаемых геометрических параметров панели в процессе ее формоизменения использована координатно-измерительная машина, которая дает возможность анализировать изменения геометрической формы исследуемой панели на всех этапах ее деформирования.

Методика проведения эксперимента

Согласно кинематической схеме работы устройства для правки и доводки панелей (УПДП), а также с учетом основных схем деформирования ребер панели, применяемых при выполнении доводочных операций [5], для проведения исследований изменения формы панели в процессе ее локального деформирования разработана конструкция экспериментального устройства (рис. 1), позволяющего в ручном режиме реализовывать операции посадки, разводки и изгиба ребер монолитной панели (рис. 2).

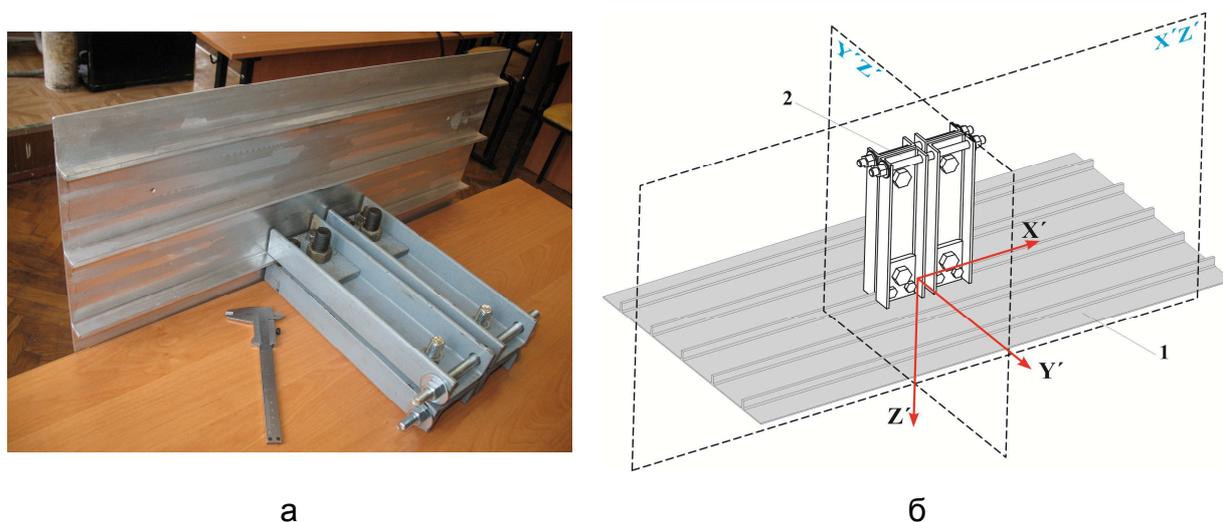


Рис. 1. Образец регулярной зоны монолитной панели с установленным экспериментальным устройством для выполнения технологической операции правки и доводки в ручном режиме:

- а – внешний вид разработанного экспериментального устройства;
- б – схема установки устройства относительно системы координат панели

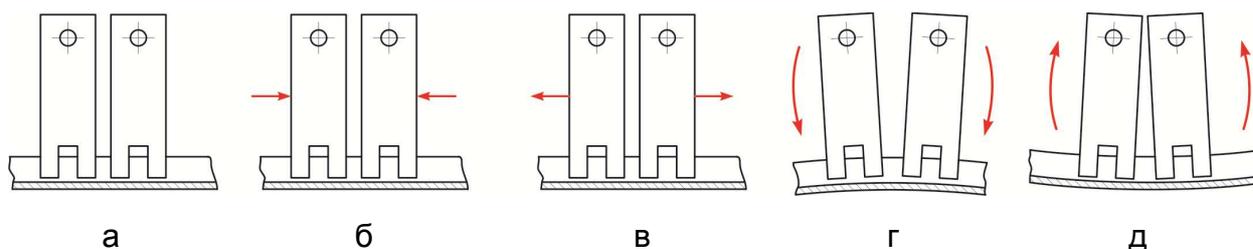


Рис. 2. Основные схемы деформирования ребер панели при выполнении операций правки и доводки с помощью экспериментального инструмента:

- а – исходное положение;
- б – положение консолей в момент посадки ребра;
- в – положение консолей в момент разводки ребра;
- г – положение консолей при изгибе ребра в сторону отрицательной кривизны (вогнутость);
- д – положение консолей при изгибе ребра в сторону положительной кривизны (выпуклость)

Так же, как и универсальный инструмент для правки и доводки оребренных панелей [5], экспериментальное устройство работает по принципу местной гибки ребер панели с малыми углами гибки. Для выполнения доводочной операции на участке ребра монолитной панели с помощью рычажной системы, используя силу трения, жестко закрепляют две консоли (см. рис. 1). Усилие захвата участка ребра консолями экспериментального инструмента регулируется путем контролирования параметров затяжки стяжных болтовых соединений устройства. Для реализации необходимой схемы деформирования ребра панели консоли разработанного устройства с помощью механизма, состоящего из пары осей и стяжных гаек, сводятся или разводятся в плоскости ребра панели в требуемом направлении в соответствии с выбранной схемой. После выполнения технологической операции правки или доводки участка ребра панели консоли освобождаются от ребра и возвращаются в исходное положение.

В качестве объекта исследования использован образец регулярной зоны монолитной панели с натуральным сечением ребер (рис. 3) шириной 520 мм, длиной 800 мм, толщиной полотна 2,5 мм и высотой оребрения 30 мм, выполненный из алюминиевого сплава Д16АТ.

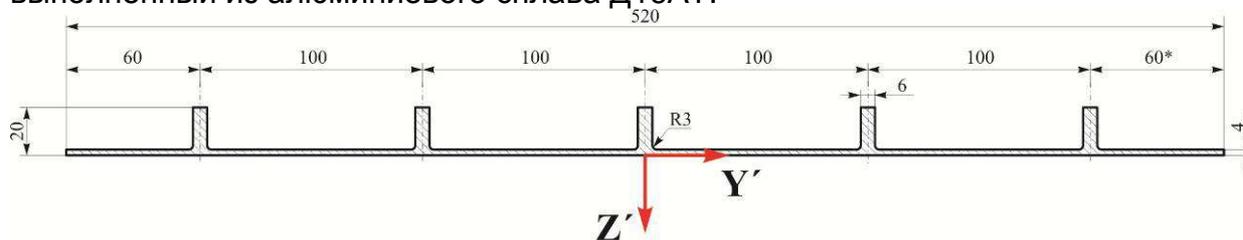


Рис. 3. Геометрические параметры сечения исследуемого образца регулярной зоны монолитной панели

Для контроля геометрических параметров обводообразующей поверхности исследуемого образца панели в процессе ее формоизменения с помощью доводочных операций в работе использована координатно-измерительная машина портативного типа – переносная КИМ типа «рука» ROMER Absolute Arm (рис. 4, а), которая предназначена для оперативного контроля геометрических размеров деталей как в лабораторных условиях, так и в условиях цеха, в том числе без съема детали с места ее обработки [8].

КИМ Romer Absolute Arm представляет собой многоосевую измерительную «руку» с шестью степенями свободы, имеющую три подвижных сочленения (в «плече», «локте» и «запястье») со сферическим рабочим пространством. Каждое сочленение снабжено датчиком поворотов по осям. Измерительная рука имеет жесткую и термостабильную конструкцию, а абсолютные датчики положения не требуют инициализации и настройки перед началом работы [8]. КИМ типа «рука» компактны и устанавливаются непосредственно рядом с измеряемым объектом. Точка или кривая в трехмерном пространстве регистрируется при нажатии оператором кнопок на эргономичной рукоятке управления «руки» и передается по последовательному каналу в головной компьютер через контроллер [7, 8]. Координатно-измерительная машина Romer Absolute Arm в процессе измерения позволяет использовать различные виды специализированных измерительных щупов (рис. 4, б), не требующих перекалибровки перед выполнением измерений. Все системы ROMER Absolute Arm имеют единый интерфейс подключения к компьютеру, что значительно упрощает настройку «руки», тестирования измерительной системы на точность, калибровку щупа и т.д. Точность измерений КИМ ROMER Absolute Arm тестируется в соответствии со стандартами ASME и ISO.



Рис. 4. Переносная координатно-измерительная машина типа «рука»:

- а – ROMER ABSOLUTE ARM 6-осевая;
- б – специализированные измерительные щупы;
- в – ROMER ABSOLUTE ARM SE (с внешним лазерным сканером)

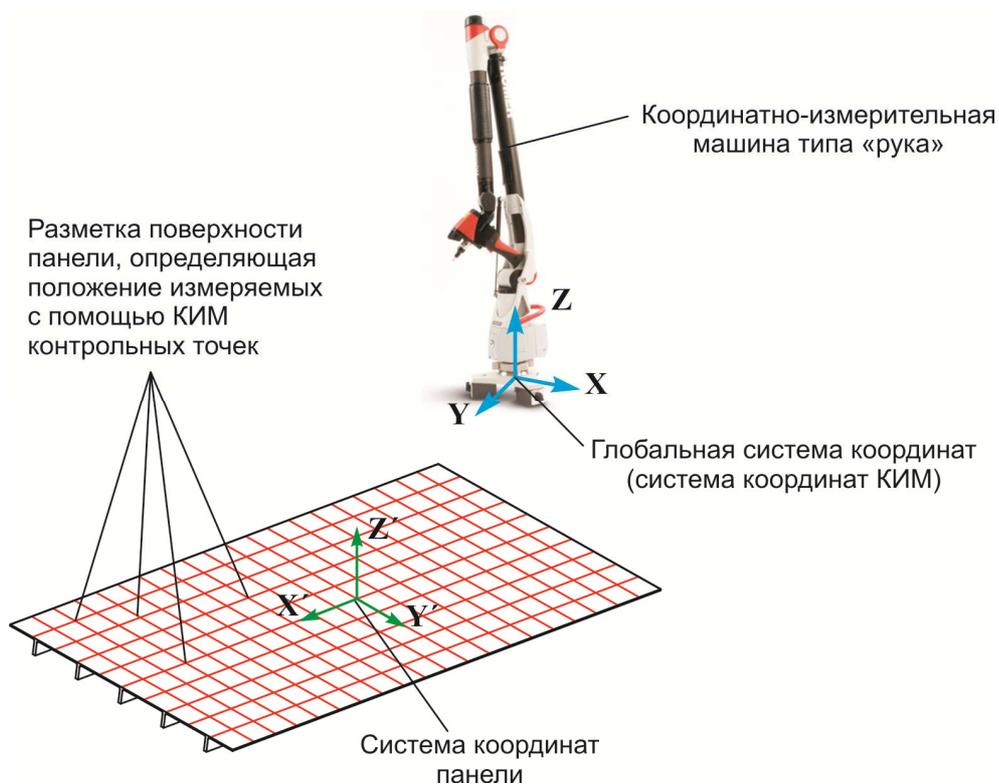


Рис. 5. Схема взаимного расположения глобальной системы координат (система координат КИМ) и системы координат исследуемого образца регулярной зоны монолитной панели

Для определения положения контрольных точек, координаты которых измеряют с помощью КИМ, на обводообразующую поверхность исследуемого образца монолитной панели была нанесена разметочная сетка с шагом 50 мм и размерностью 15x11 узлов (см. рис. 5). Выбранный шаг контрольных точек и их количество обеспечивают оптимальную скорость сканирования поверхности и возможность построения электронной модели, математически описывающей форму измеряемой физической поверхности панели с требуемой точностью.

В соответствии с исходными геометрическими параметрами исследуемого образца монолитной панели, а также с учетом параметров разметочной сетки, нанесенной на измеряемую поверхность, было определено положение системы координат панели, а также разработана схема взаимного увязывания системы координат панели с глобальной системой координат в процессе обрабатывания полученных данных измерений (см. рис. 5).

Перед началом выполнения этапа доводочных операций с помощью специального штампа, позволяющего локально деформировать полотно панели совместно с изгибом ребра в его плоскости [6], была проведена технологическая операция предварительного (чернового) формоизменения исследуемого образца монолитной панели. Измерения геометрических параметров панели проводились для такой последовательности технологических операций зонального воздействия разработанного экспериментального устройства на срединную часть центрального ребра панели: посадка, изгиб моментом в сторону создания положительной кривизны ребра (выпуклость), изгиб моментом в сторону создания отрицательной кривизны (вогнутость). После выполнения соответствующего этапа доводочных операций для измерения полученных геометрических параметров панели исследуемый образец базировался по трем заранее определенным точкам. Процесс измерения координат реперных точек поверхности панели с помощью КИМ ROMER Absolute Arm показан на рис. 6.



Рис. 6. Процесс измерения координат реперных точек поверхности образца панели с помощью координатно-измерительной машины типа «рука» ROMER Absolute Arm

На каждом этапе локального деформирования панели путем указания с помощью КИМ необходимых контрольных точек на ее поверхности уточняли положение начала системы координат панели и ее базовую плоскость X'Y'. Процедура определения системы координат изделия, в которой в дальнейшем выполняют все измерения, называется «математическим выравниванием» [7] и позволяет не использовать механическое выравнивание исследуемого объекта на КРС для каждого выполняемого в работе случая деформирования. Измерения геометрических параметров образца регулярной зоны панели проводились после выполнения каждого запланированного технологического этапа локального деформирования исследуемой монолитной панели.

Результаты обработки экспериментальных данных

В процессе выполнения технологических операций деформирования монолитной панели для всех рассматриваемых в работе этапов формоизменения исследуемого образца с помощью КИМ были получены данные измерений контрольных точек обводообразующей поверхности, которые с помощью специализированного программного обеспечения экспортированы и сохранены в форматах IGES (рис. 7), DXF и STP. Эти форматы позволяют выполнять обмен данными между специализированными приложениями и CAD-системами, применяемыми для дальнейшей обработки и анализа результатов измерений. Для представления данных измерений в виде текстово-графического документа использован межплатформенный формат электронных документов PDF (рис. 8).

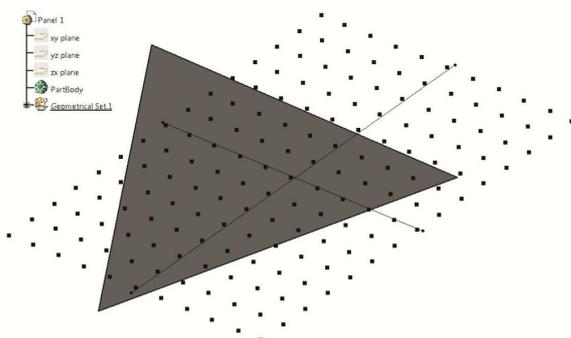


Рис. 7. Данные измерений контрольных точек обводообразующей поверхности исследуемого образца панели, импортированные в CAD-систему с помощью формата IGES

ПОЛОЖ - ТЧК2						
Ось	НОМИНАЛ	+ В.О.	- Н.О.	ИЗМЕР.	ОТКЛ.	ВНЕ ДОП.
X	-304.155	0.050	0.050	-304.155	0.000	0.000
Y	248.039	0.050	0.050	248.039	0.000	0.000
Z	0.046	0.050	0.050	0.046	0.000	0.000
ПОЛОЖ - ТЧК3						
Ось	НОМИНАЛ	+ В.О.	- Н.О.	ИЗМЕР.	ОТКЛ.	ВНЕ ДОП.
X	-252.421	0.050	0.050	-252.421	0.000	0.000
Y	247.450	0.050	0.050	247.450	0.000	0.000
Z	0.049	0.050	0.050	0.049	0.000	0.000
ПОЛОЖ - ТЧК4						
Ось	НОМИНАЛ	+ В.О.	- Н.О.	ИЗМЕР.	ОТКЛ.	ВНЕ ДОП.
X	-204.265	0.050	0.050	-204.265	0.000	0.000
Y	247.636	0.050	0.050	247.636	0.000	0.000
Z	0.172	0.050	0.050	0.172	0.000	0.000
ПОЛОЖ - ТЧК5						
Ось	НОМИНАЛ	+ В.О.	- Н.О.	ИЗМЕР.	ОТКЛ.	ВНЕ ДОП.
X	-153.530	0.050	0.050	-153.530	0.000	0.000
Y	247.801	0.050	0.050	247.801	0.000	0.000
Z	0.322	0.050	0.050	0.322	0.000	0.000
ПОЛОЖ - ТЧК6						
Ось	НОМИНАЛ	+ В.О.	- Н.О.	ИЗМЕР.	ОТКЛ.	ВНЕ ДОП.
X	-102.906	0.050	0.050	-102.906	0.000	0.000
Y	246.640	0.050	0.050	246.640	0.000	0.000
Z	0.460	0.050	0.050	0.460	0.000	0.000

Рис. 8. Данные измерений контрольных точек обводообразующей поверхности исследуемого образца панели в формате текстово-графического PDF документа

Для обработки полученных данных измерений обводообразующей поверхности исследуемой панели в работе использована CAD/CAM/CAE система CATIA V5, разработанная известной французской фирмой Dassault Systemes. В результате обработки и анализа данных измерений для каждого этапа деформирования панели получены фактические координаты точек поверхности панели, а также их отклонения от геометрических параметров номинальной модели, выбираемой индивидуально для каждого рассматриваемого в работе случая формоизменения панели. Распределение отклонений координат точек обводообразующей поверхности панели, полученных в процессе ее предварительного формообразования, от значений выбранной номинальной модели для данного случая деформирования показано на рис. 9.

В целях исследования изменения формы в контрольных сечениях исследуемой монолитной панели в процессе ее формообразования на базе полученных данных измерений для точек, расположенных в рассматриваемых сечениях образца панели, в графическом виде получены распределения отклонения координат точек от их номинальных значений для каждого случая ее деформирования. На рис. 10 показано распределение отклонений фактических координат точек обводообразующей поверхности монолитной панели, расположенных в сечении X'Y' (см. рис. 1, б), в зависимости от принятых номинальных значений для каждого этапа деформирования.

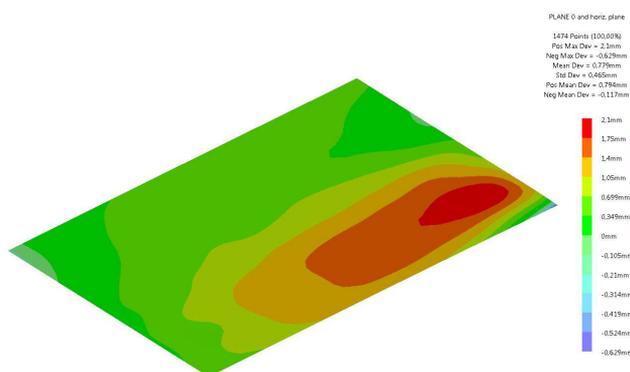


Рис. 9. Распределение отклонений координат точек обводообразующей поверхности панели, полученных в процессе ее предварительного формообразования, от значений выбранной для данного этапа деформирования номинальной модели

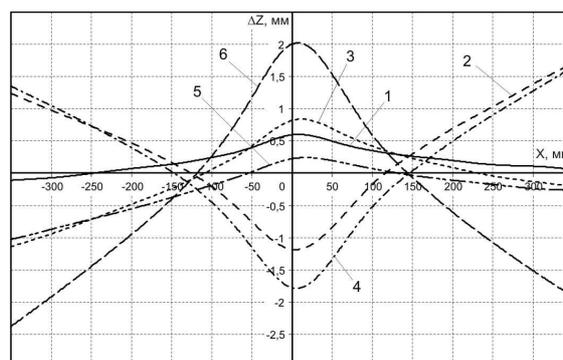


Рис. 10. Распределение отклонений точек обводообразующей поверхности монолитной панели расположенных в сечении X'Y' для различных этапов деформирования панели

С учетом того, что в настоящее время большое распространение получают объемные сканеры, позволяющие бесконтактным способом выполнять оцифровку поверхностей объекта с высоким разрешением, в работе рассмотрен случай использования координатно-измерительной руки ROMER ABSOLUTE ARM совместно с внешним лазерным сканером CMS 108 [8] повышенной точности (см. рис. 4, в). Из-за отсутствия специальных маркеров на поверхности панели, а также ввиду незначительного изменения формы поверхности панели в процессе ее формоизменения по сравнению с габаритными размерами обработка и анализ полученных бесконтактным способом данных измерений представляют собой сложный процесс и требуют использования современного специализированного программного обеспечения. Поэтому объемное сканирование обводообразующей поверхности панели выполнено только лишь для последнего этапа ее формообразования. В результате выполнения операции сканирования получена цифровая модель поверхности исследуемой монолитной панели, описываемая 115450 исходными точками (рис. 10, а). С помощью формата STL (формат стереолитографии) данные измерений были импортированы в CAD-систему CATIA V5, с помощью которой по полученному набору дискретных точек построена гладкая поверхностная модель обводообразующей поверхности исследуемой монолитной панели (рис. 11, б). Полученная математическая модель поверхности после выполнения операции совмещения систем координат КИМ и исследуемой панели позволяет в полном объеме анализировать изменение формы панели в процессе ее формообразования (рис. 11, в).

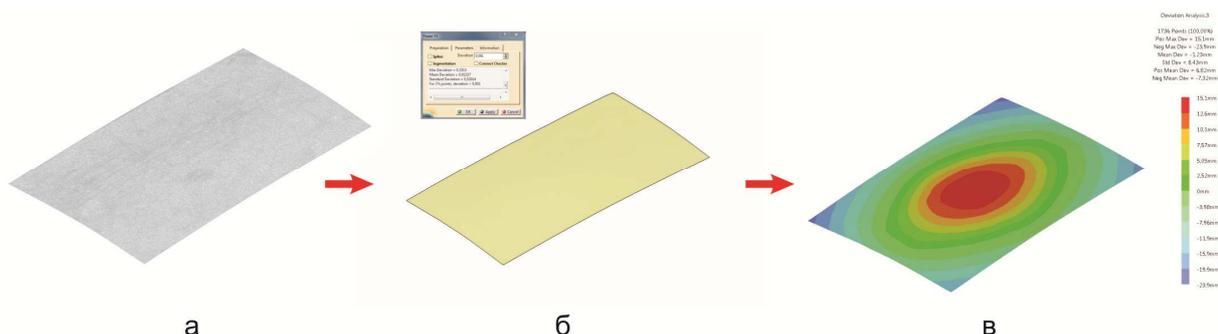


Рис. 11. Схема обработки и анализа результатов объемного сканирования обводообразующей поверхности исследуемого образца монолитной панели:

- а – данные измерений поверхности панели, импортированные в CAD-систему в формате STL;
- б – гладкая поверхностная модель обводообразующей поверхности исследуемой монолитной панели;
- г – отклонение точек поверхности панели от горизонтальной плоскости системы координат КИМ

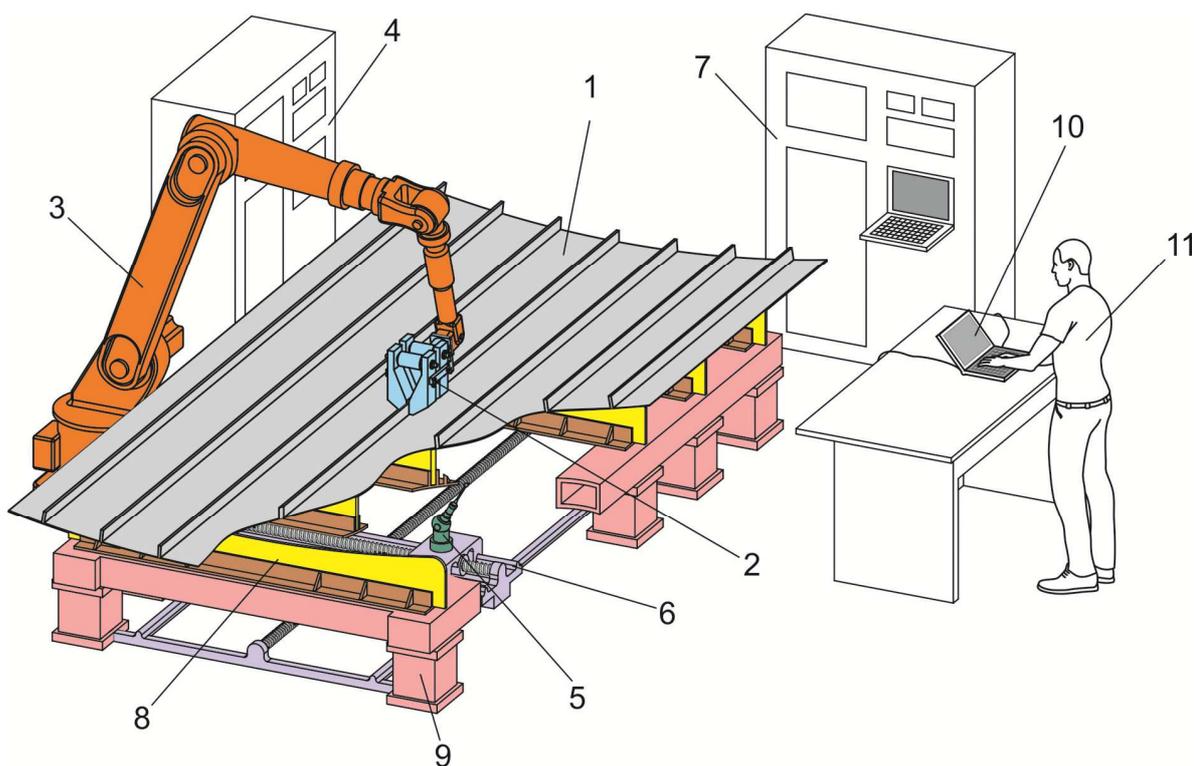


Рис. 12. Принципиальная схема автоматизированной установки для выполнения операции правки и доводки крупногабаритных монолитных панелей:

- 1 – монолитная панель; 2 – инструмент для выполнения доводочных операций;
- 3 – робот-манипулятор; 4 – система управления манипулятором и инструментом;
- 5 – измерительная машина; 6 – портальная система для перемещения измерительной машины; 7 – измерительно-вычислительная система;
- 8 – ложементы; 9 – опора; 10 – персональный компьютер; 11 – оператор

Анализ полученных результатов измерений показал высокую эффективность использования контактных и бесконтактных КИМ для контроля формы крупногабаритных панелей на различных этапах их формообразования. Применение данного метода контроля в процессе выполнения технологических операций формоизменения позволяет существенно повысить точность получаемых геометрических параметров монолитной панели, особенно на заключительных операциях доводки ее формы.

На базе разработанного технологического метода [5] в работе предложена схема автоматизированного комплекса, включающего в себя универсальное механизированное устройство и измерительно-вычислительный комплекс, позволяющие выполнять операцию доводки крупногабаритных монолитных панелей с контролем и автоматической корректировкой их формы в режиме реального времени (рис. 12). Данные контрольных измерений, получаемые с помощью измерительной машины 5, поступают в измерительно-вычислительную систему КИМ 7 и далее через сетевое соединение – на персональный компьютер оператора 10. Используя специализированное программное обеспечение, установленное на персональный компьютер, оператор в удобной текстово-визуальной форме в режиме реального времени отслеживает фактические координаты контрольных точек поверхности панели, а также величину их отклонений от номинальных значений, заданных объемной компьютерной моделью или результатами предыдущих замеров. При необходимости оператор в ручном или автоматическом режиме в соответствии с технологическими параметрами процесса доводки определяет и вносит в систему управления манипулятором и инструментом дополнительные корректирующие воздействия, необходимые для получения формы монолитной панели с установленными в КД величинами допусков соответствующих геометрических размеров панели. Параметры операции корректировки формы панели передаются через систему управления инструментом 4 на устройство для правки и доводки панелей 2, устанавливаемое в руке робота-манипулятора 3, который необходим для позиционирования устройства УПДП в требуемой точке панели в нормальном положении к касательной плоскости к лицевой поверхности панели в месте приложения конкретного воздействия.

Выводы

1. На базе технологического процесса, используемого для правки и доводки крупногабаритных монолитных панелей путем их зонального деформирования, проведена экспериментальная проверка эффективности применения современных контрольно-измерительных машин для контролирования формы обводообразующей поверхности панели, получаемой в процессе ее формоизменения с помощью малых упругопластических деформаций.

2. Разработана конструкция экспериментального устройства, позволяющего в ручном режиме реализовывать операции посадки, разводки и изгиба ребер монолитной панели.

3. Для каждого этапа деформирования панели с помощью КИМ получены значения фактических координат точек поверхности панели, а также определены величины их отклонений от значений номинальной модели, выбираемой индивидуально для каждого рассматриваемого в работе случая формоизменения панели.

4. В результате выполнения замеров определено, что бесконтактный способ измерения обеспечивает большую скорость сканирования поверхности панели, чем КИМ контактного принципа действия. В то же время данные измерений, полученные с помощью механического сканирования более компактны и позволяют в процессе обработки минимизировать погрешность измерений, возникающую из-за ограничений по точности КИМ или из-за незначительного изменения формы поверхности панели на различных этапах доводочных операций по сравнению с ее габаритными размерами. Процесс обработки данных измерений, полученных с помощью бесконтактных сканирующих устройств, является более ресурсоемким и требует разработки специальных методов обработки и анализа, позволяющих минимизировать ошибки, возникающие в процессе построения математической модели оцифрованной физической поверхности.

5. С точки зрения реализации процесса правки и доводки крупногабаритных монолитных панелей в автоматическом режиме применение контактных КИМ для контроля изменения формы панели в процессе ее доводки более эффективно. Ввиду того, что современные 3D сканеры просты в использовании, а также позволяют получить быструю оцифровку поверхностей панели в высоком разрешении, использование бесконтактных сканирующих устройств может быть рекомендовано на этапах чернового формообразования, а также в качестве дублирующего при выполнении доводочных операций.

6. На базе технологического метода правки и доводки монолитных панелей в работе предложена схема автоматизированного комплекса, включающего в себя универсальное механизированное устройство и измерительно-вычислительный комплекс, позволяющие выполнять операции правки и доводки крупногабаритных монолитных панелей с контролем и автоматической корректировкой их формы в режиме реального времени.

Список литературы

1. Гвирц, М.А. Разработка геометрических моделей формирования поверхностей по результатам анализа и обработки измерения деталей сложной формы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 "Инженерная геометрия и компьютерная графика" / Гвирц Михаил Анатольевич; С.-Петерб. гос. политех. ун-т. – М., 2005. – 28 с.
2. Зубарев, Ю.М. Автоматизация координатных измерений [Текст]: учеб. пособие / Ю.М. Зубарев, С.В. Косаревский, Н.Н. Ревин. – СПб.: Изд-во ПИМаш, 2011. – 160 с.
3. Олейников, А.И. Интегрированное проектирование процессов изготовления монолитных панелей [Текст] / А.И. Олейников, А.И. Пекарш. – М.: Эком, 2009. – 112 с.
4. Пашков, А.Е. Автоматизированная технология комбинированного формообразования панелей самолетов [Текст] / А.Е. Пашков // Современные наукоемкие инновационные технологии: тр. V Всерос. конф. Самарск. госуд. архит.-строит. ун-т. – Самара, 2013. – С. 454 – 457.
5. Сикульский, В.Т. Создание технологии правки и доводки формы монолитных панелей без использования прессы [Текст] / В.Т. Сикульский // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – №5 (102). – Х., 2013. – С. 12 – 16.

6. Сикульский, В.Т. Анализ характеристик НДС в регулярной зоне однострингерной фрезерованной панели в процессе ее локального деформирования [Текст] / В.Т. Сикульский, Д.Ю. Дмитренко, В.В. Воронько // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 66. – Х., 2014. – С. 123 – 138.
7. Пекарш, А.И. Координатно-измерительные машины и комплексы [Текст] / А.И. Пекарш, С.И. Феоктистов, Д.Г. Колыхалов, В.И. Шпорт // Наука и технологии в промышленности. – Вып. 3. – ООО «РУСИНТЕР». – М., 2011 – С. 36 – 48
8. <http://www.koda.ua/products/desc.html?id=842>

Поступила в редакцию 04.09.2015

Автоматизований комплекс для правки і доведення монолітних панелей з контролем форми обводотвірної поверхні панелі в процесі її деформування

Проведено оцінювання можливості створення і запропоновано принципову схему автоматизованого комплексу для виконання процесів правки і доведення монолітних панелей шляхом їх локального деформування. Комплекс дозволяє за допомогою контрольно-виміральної машини в режимі реального часу відстежувати і аналізувати зміни геометричних параметрів панелі при її формоутворенні, а також на основі системи автоматизованого розрахунку і запису керуючої інформації коригувати параметри процесу деформування в залежності від типу інструмента, що застосовується. Проведено експерименти по доведенню форми панелі зональним деформуванням та отримані задовільні результати.

Ключові слова: монолітна панель, обводотвірна поверхня, локальне деформування, формоутворення, контрольно-вимірвальна машина, електронна модель, дані вимірювань, "хмара" точок, автоматизований комплекс

Computer-integrated facility for form shaping and finishing of integral panels with monitoring a profile-shaping panel surface form during the process of panel deformation

Design capability assessment was carried out and proposed was a conceptual model of computer-integrated facility for realizing processes of form shaping and finishing of integral panels by means of local deformation. The system allows real time tracking and analysis of alterations of geometrical parameters of the panel formed with the help of control and measurement machine and adjustment parameters of deformation process depending on the tool applied using systems of automated analysis and record of control information. Carried out were the experiments on panel form finishing by means of zonal deformation and received were satisfying results.

Key words: integral panel, profile-shaping surface, local deformation, forming, control and measurement machine, electronic model, measuring data, point cloud, computer-integrated system.