

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ОСНАСТОК ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОРОТКОАРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2016 В.А. Комаров, Е.И. Куркин, О.Е. Лукьянов, В.О. Садыкова, Р.В. Чарквиани

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 12.07.2016

В статье рассмотрены вопросы проектирования высоконагруженных технологических оснасток для изготовления деталей из короткоармированных композиционных материалов методом литья под давлением при воздействии температурных полей. Предложен вариант компоновки основных частей оснастки в термической камере, а также рассмотрены возможности применения трёх различных вариантов конструктивного исполнения силового корпуса оснастки, осуществлена оценка их преимуществ и недостатков.

Ключевые слова: короткоармированные полимеры, литьё под давлением, оснастка, матрица, форма, термокамера, формовка, моделирование, расчёт.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время композиционные материалы (КМ) получают всё более широкое распространение в различных отраслях техники и, особенно, аэрокосмическом машиностроении. Всё разнообразие механических свойств изделий, изготавливаемых из композиционных материалов, обуславливается огромной номенклатурой существующих связующих и армирующих материалов, входящих в композит, а также направлением и способом укладки волокон, технологией формовки изделий, процентным соотношением матрицы и арматуры. Среди всей гаммы существующих типов КМ отдельное внимание следует уделить композитам на основе термопластичных связующих. Термопласты допускают многократное использование их в качестве связующего материала после формовки, эксплуатации и списания изделий, а также являются более простыми при утилизации отслуживших деталей. Введение в термопластичную матрицу коротких дискретных волокон в качестве армирующего материала даёт возможность использовать литьё под давлением в матрицу как технологический способ изготовления деталей из подобных КМ [1]. Литьё таких композитов позволяет получать де-

Комаров Валерий Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструкции и проектирования летательных аппаратов.

E-mail: vkomarov@ssau.ru

Куркин Евгений Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: eugene.kurkin@mail.ru

Лукьянов Олег Евгеньевич, аспирант института авиационной техники. E-mail: lukyanovoe@mail.ru

Садыкова Владислава Олеговна, студентка института авиационной техники. E-mail: vladislaava.s@yandex.ru

Чарквиани Рамаз Валерьянович, инженер кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: onerat@yandex.ru

тали самых разнообразных пространственных форм при сохранении ими высоких механических свойств. Задание направления волокон при литье позволяет варьировать механическими характеристиками будущего изделия [2].

Высокие вязкости термопластичных связующих требуют высоких давлений для обеспечения качественного технологического процесса литья [3]. Нередко давления на матрицу оснастки при литье достигают 50 МПа и более. Таким образом, изготовление деталей из термопластичных короткоармированных композитов в промышленных масштабах нуждается в удобной, надёжной и износостойкой оснастке, обеспечивающей высокие качество и технологичность производства. Актуальность этой темы определила цель настоящей исследовательской работы – разработать технологическую оснастку, удовлетворяющую требованиям по прочности, по технологичности, по заданным геометрическим габаритам и общей массе конструкции.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Постановка задачи сводится к выбору оптимальных геометрических параметров, конфигурации и материалов с целью получения изделия заданного качества.

В качестве основного изделия, получаемого из композиционного короткоармированного материала с помощью литья под давлением, в данной работе рассмотрена плоская пластина (рис. 1) с размерами 200x150x4 мм.

Матрица для литья под давлением состоит из двух половинок: одна из них выполняется с формообразующей полостью, а вторая – плоская пластина, закрывающая внутреннюю полость матрицы. Важно отметить, что для визуального контроля заполнения внутренней полости матрицы, одну из её половинок необходимо выполнить

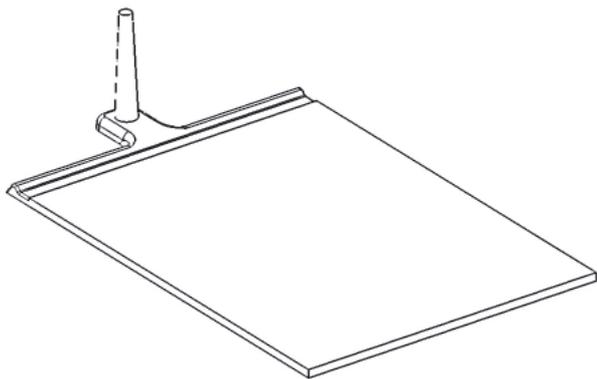


Рис. 1. Геометрическая модель изделия (плоская пластина с литником), изготавливаемого из короткоармированного полимерного КМ методом литья под давлением

из стекла. Визуальный контроль является важной составляющей технологического процесса формовки, поскольку характер заполнения объёма матрицы напрямую влияет на направление расположения волокон и, как следствие, механические характеристики будущего изделия. Плоская половинка матрицы набирается из трёх закалённых стеклянных блоков толщиной по 15 и 19 мм. Ответная половинка матрицы с формообразующей полостью фрезеруется из плиты толщиной 60 мм, материал – сталь 20.

Вязкость композиционного материала при литье является характеристикой, определяющей потребное давление в магистрали, создаваемое оборудованием. Для подачи материала под давлением принято решение использовать насос поршневого типа, а усилие, подаваемое на шток, создаётся разрывной сервогидравлической машиной MTS 793 с датчиком силы MTS 661.20F-03 и датчиком перемещений нагружающего цилиндра, позволяющей создавать сжимающее (растягивающее) усилие до 10 тонн (рис. 2). Геометрические характеристики цилиндра насоса (рис. 3) выбираются из следующих условий:

- диаметр цилиндра подбирается из условий прочности оснастки по давлению и рабочему усилию машины;

- длина из условий габаритов и объёма материала, необходимого для заполнения матрицы.

Опыт эксплуатации подобных оснасток показал, что по условиям прочности не следует превышать давление в 30 МПа, действующее на внутреннюю полость матрицы. Таким образом, при внутреннем диаметре цилиндра в 40 мм создаётся давление в 30 МПа при усилении сжатия машины в 3,85 тонны.

Объём пластины составляет 120 000 мм³. Для литья под давлением необходим запас материала, расходующийся на литник, подпрессовку, осадку материала и пр. Запас объёма, согласно рекомендациям должен составлять не менее 25%. Таким образом, при диаметре 40 мм, минимально по-



Рис. 2. Сервогидравлическая машина MTS 793

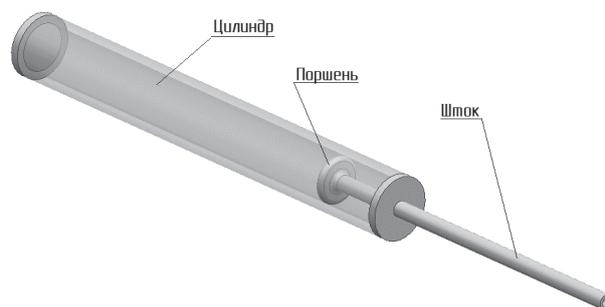


Рис. 3. Насос поршневого типа для литья композита под давлением

требная высота цилиндра под заданный объём материала составит $h = 120$ мм.

Для снижения вязкости материала при литье с целью снижения потребного давления, а также для соблюдения необходимого температурного режима при формовке необходимо создавать вокруг оснастки заданное температурное поле. Эта задача решается путём внесения оснастки во время формовки в термокамеру размерами 420x350x600 мм. Габариты термокамеры накладывают ещё одно ограничения на геометрические характеристики оснастки. Компонировка оснастки обусловлена условиями прочности, размерами термокамеры, конфигурацией изделия. Один из возможных вариантов компоновки оснастки представлен на рис. 4.

Согласно такой компоновочной схеме оснастка навешивается на цилиндр насоса, который за проушину цилиндра и проушину, находящуюся на конце штока, устанавливается в стыковочные узлы разрывной машины. Композиционный ма-

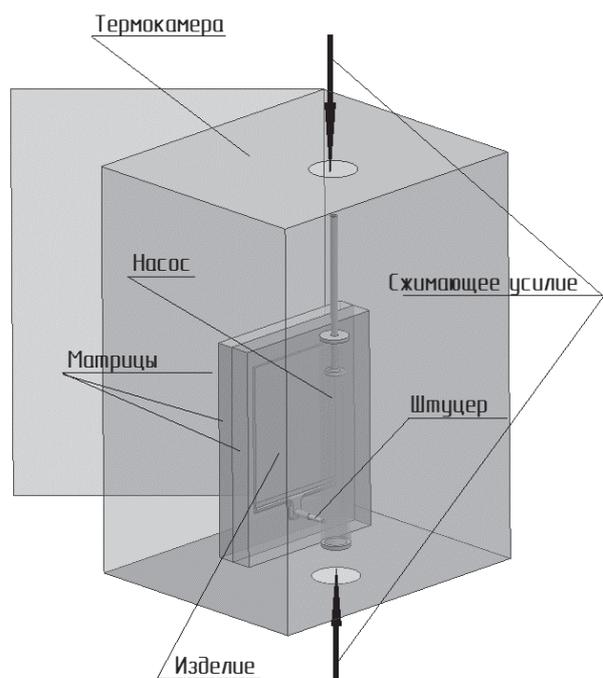


Рис. 4. Компонировочный вид основных частей оснастки в термокамере

териал, находящийся в цилиндре под давлением начинает поступать через штуцер в формовочную полость матриц. В силу высокого давления, действующего на внутреннюю поверхность формовочной полости, необходимо для матриц создать силовой корпус, который бы вращался в термокамере и обладал приемлемыми массовыми характеристиками для ручного монтажа.

Были рассмотрены несколько возможных вариантов конструктивного исполнения силового корпуса оснастки. Каждый вариант отличается от предыдущего перераспределением количества материала по силовым элементам в пространстве допускаемой области, определяемой объёмом термокамеры.

ВЫБОР СИЛОВОЙ СХЕМЫ ОСНАСТКИ

Первый вариант силовой рамки, выполняемой из разборных скоб с подкрепляющими рёбрами и поперечной перекладиной с прижимом изображен на рис. 5 (а, б).

Проверочный расчёт на прочность проведен методом конечного элемента. На рис. 6 представлена схема приложения давления ко внутренней поверхности формовочной полости.

Граничные условия, наложенные на КЭМ-модель оснастки, моделируют её навешивание на цилиндр насоса. Результаты расчёта (рис. 7) показали, что силовой корпус данного варианта исполнения при нагружении испытывает высокие напряжения (до 785 МПа), а формообразующая поверхность деформируется на 1,13 мм, что недопустимо.

Анализ результатов расчёта позволяют утверждать, что скобы и рёбра жёсткости не обладают необходимой жёсткостью. Необходимо применять иные варианты силовых схем.

Второй вариант конструктивного исполнения является более усиленным. Скобы, выполняющие

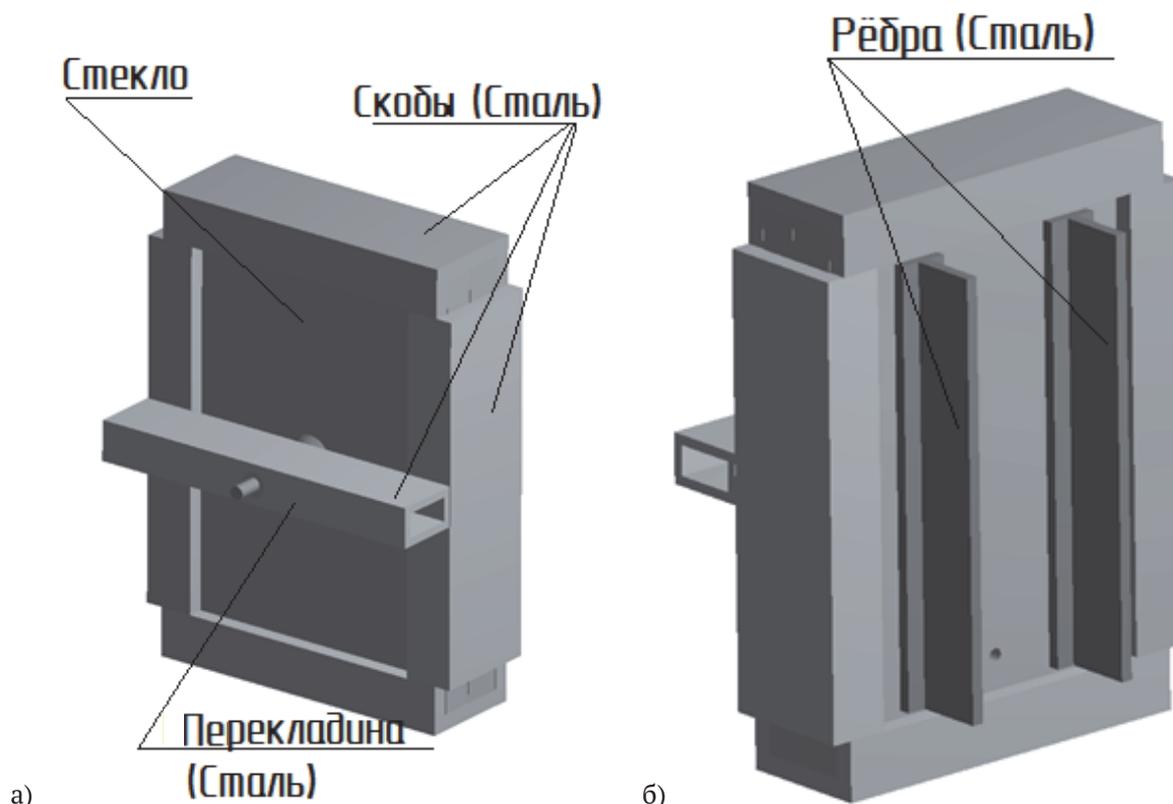


Рис. 5. Силовая рамка для оснастки: а - вид спереди; б - вид сзади

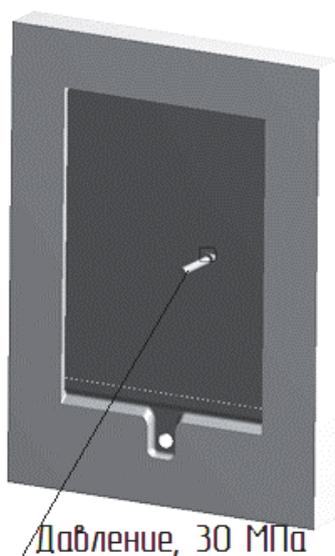


Рис. 6. Схема приложения давления ко внутренней поверхности формовочной полости

роль силового корпуса, усилены рёбрами жёсткости, а задняя стенка усилена силовым набором рёбер.

Проверочный расчёт показал (рис. 9), что напряжения, возникающие в конструкции оснастки не превышают предела прочности материала, однако деформации формообразующей поверхности матрицы всё еще не удовлетворяют условиям качества.

Третий вариант конструктивного исполнения силового корпуса оснастки представляет собой замкнутый кессон, образованный двумя контурами рамок и рёбрами жёсткости. Является комби-

нацией предыдущих двух вариантов (рис. 10 а, б). Результаты расчета представлены на рис. 11 а, б.

Эквивалентные напряжения остаются в этом случае в пределах допустимых, а перемещения не превышают значения в 0,14 мм, что является допустимой величиной для деформации формообразующей поверхности матрицы.

ВЫВОДЫ

Проведено проектирование оснастки для литья под давлением плоских образцов композиционного материала, армированного короткими высокопрочными волокнами с использованием универсальной сервогидравлической машины MTS, оборудованной термокамерой. Анализ результатов исследований напряжённо-деформированного состояния силового корпуса матрицы различных конструктивных исполнений позволил сделать следующие выводы:

- наиболее полно условиям жёсткости и прочности удовлетворяет силовой корпус кессонного типа, поскольку обладает наибольшим геометрическим моментом инерции в сечении, основным недостатком такого корпуса является более высокая трудоёмкость его изготовления и затруднённый монтаж в термокамеру;
- вариант силового корпуса с рёбрами жёсткости является более простым в изготовлении, но неполно удовлетворяет условиям жёсткости, а, значит, и требованиям качества изделия;
- несмотря на простоту изготовления и монтажа в термокамеру, наименее предпочтительным является вариант исполнения

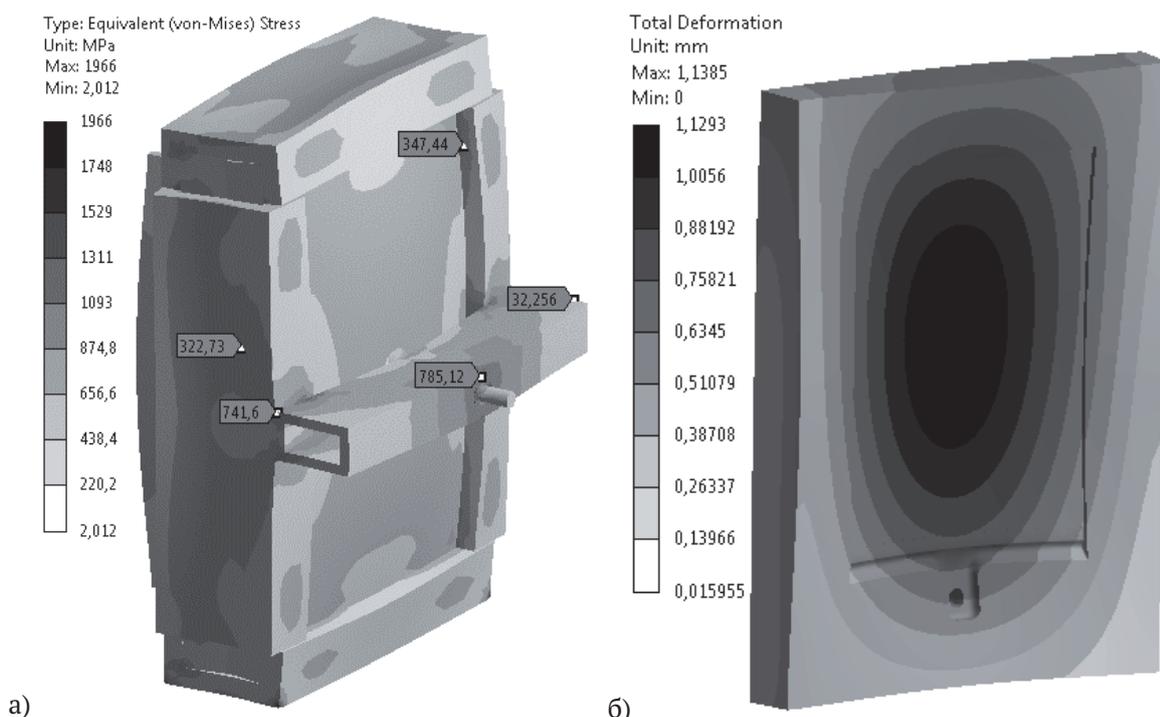


Рис. 7. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния оснастки: а - эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа; б - общие перемещения, мм

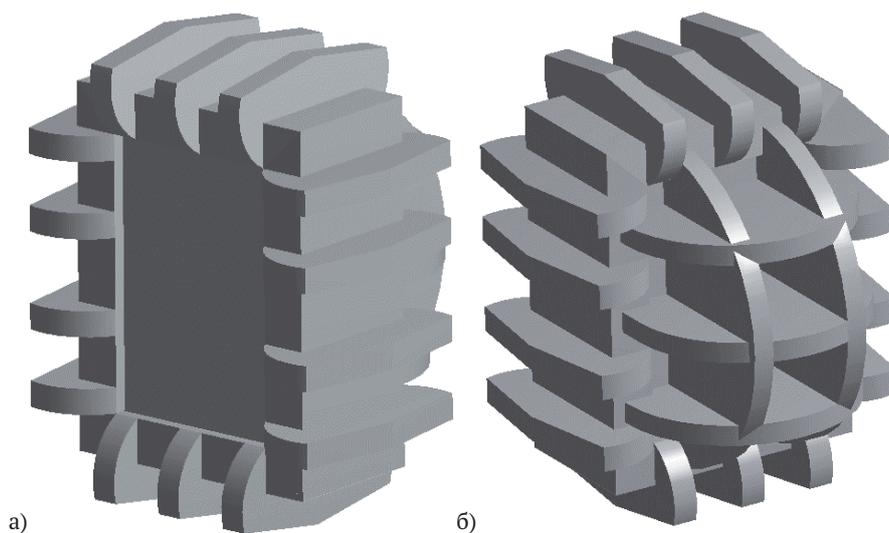


Рис. 8. Силовая рамка для оснастки:
а – вид спереди; б – вид сзади

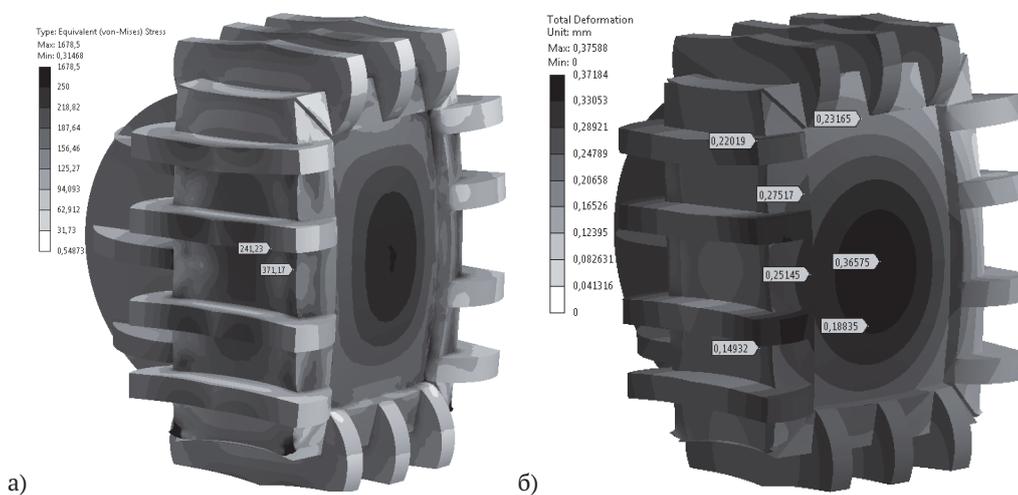


Рис. 9. Результаты поверочного расчета:
а – эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа, б – общие перемещения, мм

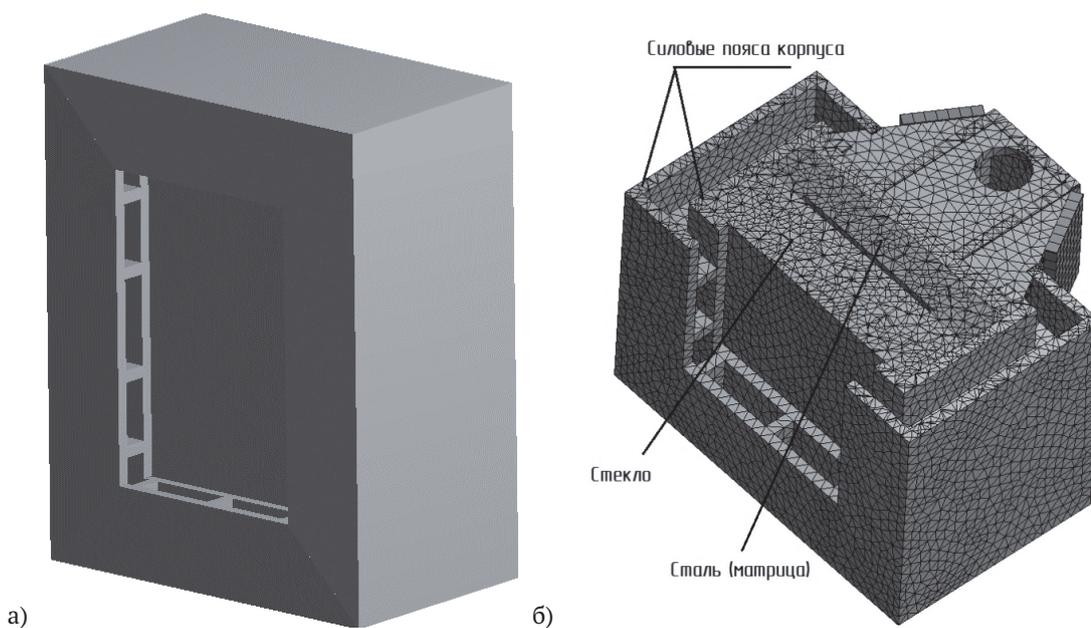


Рис. 10. Силовая рамка для оснастки:
а – вид спереди; б – вид в сечении

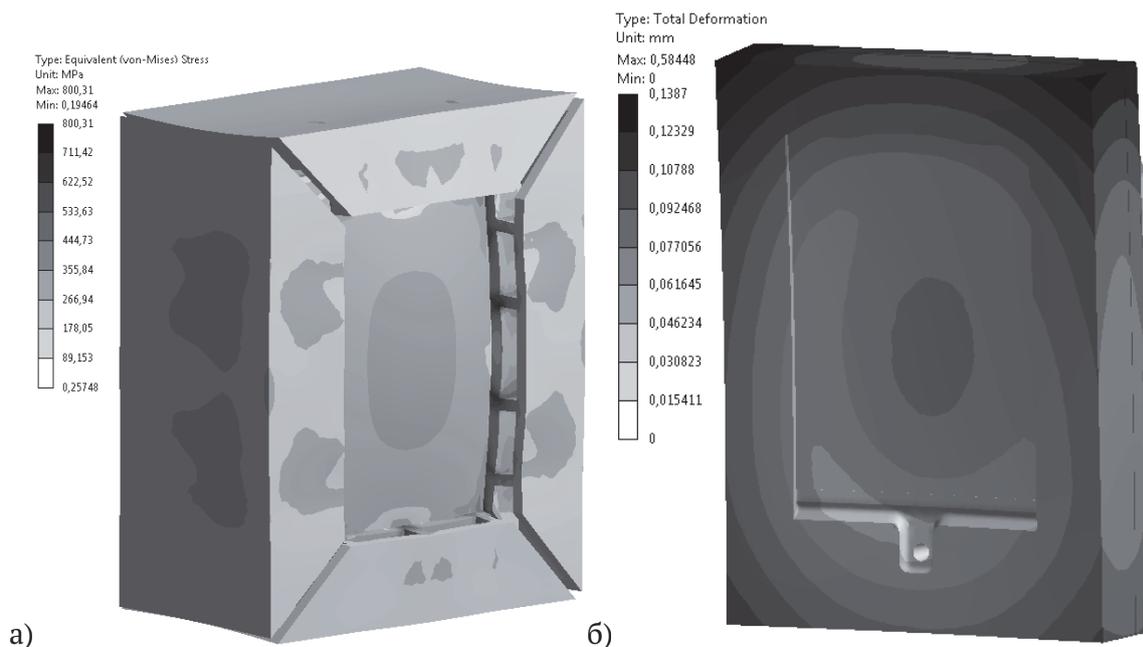


Рис. 11. Результаты расчета:

а – эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа, б – общие перемещения, мм

корпуса в виде толстых силовых рамок, окантовывающих матрицы по контуру, поскольку не удовлетворяет условиям жёсткости и прочности, действующее давление разрушает пакет.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-60093 мол_а_дк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Güllü A., Özdemir A., Özdemir E. Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics // *Materials and Design*. 2006. Volume 27. P. 316–323.
2. Effect of the surface roughness on interfacial properties of carbon fibers reinforced epoxy resin composites / W. Song, A. Gu, G. Liang, L. Yuan // *Applied Surface Science*. 2011. Volume 257. Issue 9. P.4069-4074.
3. Brown J.R. Mathys Z. Plasma surface modification of advanced organic fibres: Part V Effects on the mechanical properties of aramid/phenolic composites // *Journal of Materials Science*. 1997. Volume 32. Issue 10. P.1573-4803.

DESIGN OF THE HIGH LOAD TOOLS FOR MOULDING OF POLYMERIC SHORT-REINFORCED COMPOSITE MATERIALS

© 2016 V.A. Komarov, E.I. Kurkin, O.E. Lukianov, V.O. Sadykova, R.V. Charkviani

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

In article the questions of design of the high load tools for parts production from thermoplastic composite materials with short fibers by molding under pressure are considered at influence of temperature fields. The configuration of main parts of tool in heat chamber and feasibilities of application three of three different options of design of pressure vessel are considered. The assessment of their advantages and disadvantages is carried out
Keyword: fibred composite, molding under pressure, tool, matrix, form, heat chamber, forming, modeling, calculation.

Valery Komarov, Doctor of Technics, Professor, Head at the Aircraft Construction and Design Department. E-mail: vkomarov@ssau.ru

Evgeny Kurkin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction and Design Department. E-mail: eugene.kurkin@mail.ru

Oleg Lukyanov, Graduate Student of Aviation Equipment Institute. E-mail: lukyanovoe@mail.ru

Vladislava Sadykova, Student of Aviation Equipment Institute of Samara University. E-mail: vladislava.s@yandex.ru

Ramaz Charkviani, Engineer of Aircraft Construction and Design Department. E-mail: oneram@yandex.ru