

ОБЗОР И АНАЛИЗ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ОПРАВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ КОРПУСОВ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ «МОКРОЙ» НАМОТКИ

Введение

В ракетно-космической отрасли накоплен опыт производства изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) методом намотки [1]. Изготовление таких конструкций из ПКМ проводится с использованием намоточных станков с программным управлением. При этом одной из главных задач при разработке технологии изготовления изделий из ПКМ является создание наиболее эффективной формообразующей оснастки, во многом обеспечивающей выполнение требований конструкторской документации к разрабатываемой конструкции [2].

Одной из основных задач при изготовлении корпусов ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) является правильный выбор формообразующей оправки, обеспечивающей выполнение требований конструкторской документации к выходным геометрическим параметрам корпуса [1, 3].

Результаты анализа литературных данных по вопросам производства изделий типа «кокон» из ПКМ методом «мокрой» намотки позволили определить основные требования к формообразующим оправкам [1 – 4]. Они должны:

- обеспечивать геометрические параметры корпуса;
- обеспечивать качественную внутреннюю поверхность изготавливаемого изделия;
- обладать достаточной прочностью при знакопеременных нагрузках, возникающих в процессе намотки корпуса;
- обладать достаточной жесткостью для исключения прогиба под действием знакопеременных нагрузок;
- обеспечивать возможность извлечения оправки после проведения режима термообработки изделия.

При производстве изделий типа «кокон» методом намотки можно использовать следующие типы оправок: надувные, разрушаемые, цельнометаллические и разборные.

Корпус РДТТ имеет форму кокона, поэтому оправка, на которую наматывается армирующий материал, должна быть разборной либо разрушаемой, чтобы можно было извлечь ее после отверждения пластика.

Для изготовления разрушаемых оправок используют гипс, эвтектические соли, песок, связанный раствором поливинилового спирта в воде, парафиновосковую смесь. Извлечение данного типа оправки производят

механическим разрушением, вымыванием, выплавлением, растворением в соответствующих жидкостях при нормальной или повышенной температуре.

Технологический процесс изготовления разрушаемой оправки является трудоемким и может быть рекомендован только для единичного либо мелкосерийного производства.

В статье анализируются возможности создания и использования разборных металлических оправок многоразового применения в целях повышения их технологичности и сокращения цикла изготовления корпусов РДТТ в условиях серийного производства.

Основная часть

Надувная оправка. Надувная оправка (рис. 1) для изготовления корпусов типа «кокон» содержит вал, установленную на нем надувную оболочку и штуцер для подачи сжатого газа.

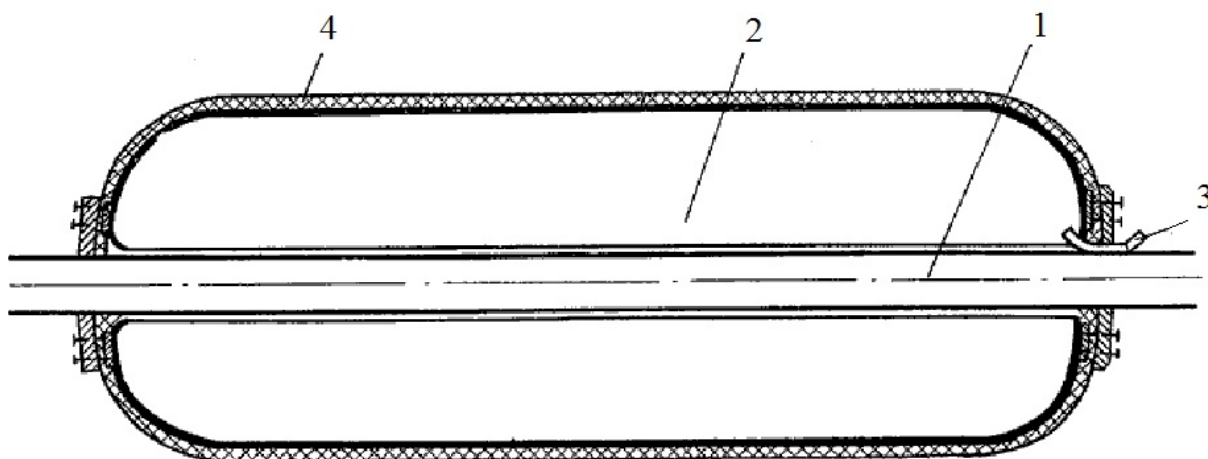


Рисунок 1 – Конструктивная схема надувной оправки:
1 – сплошной вал; 2 – надувная оболочка; 3 – штуцер;
4 – несущая оболочка

Надувная оболочка выполнена из эластичного газонепроницаемого материала, например резины. Она размещена внутри несущей оболочки из эластичного материала, жестко соединенной с валом.

Перед намоткой изделий в надувную оболочку подается сжатый воздух. После окончания изготовления изделия сжатый воздух выпускается и через полюсное отверстие изделия и несущей оболочки извлекается вал с надувной оболочкой.

Такая конструкция оснастки имеет целый ряд недостатков:

– в первую очередь, это недостаточная надежность конструкции оснастки из-за необходимости обеспечения ее герметичности в течение всего цикла намотки и полимеризации, в том числе и при повышенных температурах. Любое возможное нарушение герметичности вследствие повреждения надувной оболочки приведет к необратимому браку корпуса;

– при такой конструкции оправки чрезвычайно сложно обеспечить стабильные выходные геометрические параметры корпуса, так как в процессе намотки необходимо постоянно увеличивать давление внутри надувной оболочки, чтобы компенсировать постоянно увеличивающееся контактное давление на нее от наматываемых слоев армирующего материала (по нашей оценке давление внутри надувной оболочки может составлять несколько десятков атмосфер);

– достаточно сложно обеспечить необходимую точную фиксацию закладных элементов корпуса;

– важно также отметить неприемлемые условия работы обслуживающего персонала с такой оправкой из-за возможности ее разрушения от возрастающего давления газа внутри надувной оболочки [5].

Поэтому для изготовления изделия типа корпус РДТТ надувные оправки обычно не используются.

Разрушаемая оправка. Процесс изготовления оправки (рис. 2) является сложным и трудозатратным. Он включает в себя изготовление песчаных элементов в специальных формах с последующей фиксацией элементов на валу и склейкой между собой. Далее проводится механическая обработка контура оправки для получения необходимого профиля, чтобы обеспечить выполнение внутренних геометрических размеров готового изделия [6].

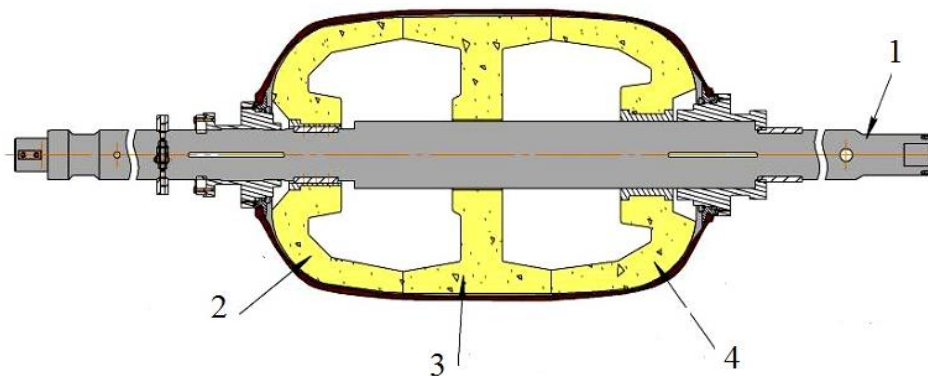


Рисунок 2 – Конструктивная схема разрушаемой оправки:

1 – вал; 2 – песчаный элемент переднего дна; 3 – цилиндрический песчаный элемент; 4 – песчаный элемент заднего дна

Как уже отмечалось выше, для изготовления разрушаемых оправок используют гипс, эвтектические соли, песок, связанный раствором поливинилового спирта в воде, парафиновосковую смесь. Перед извлечением оправок из изготовленного корпуса проводят их механическое разрушение внутри корпуса с помощью вымывания, выплавления или растворения.

В работе [4] показано, что песчано-полимерная оправка обеспечивает выполнение требований конструкторской документации. Однако выпаривание песчано-полимерной смеси после изготовления корпуса требует длительного времени (до 40 часов).

К недостаткам разрушаемых оправок можно отнести:

- разрушаемые оправки являются одноразовыми (исключая вал, на котором они собираются и пресс-формы для формования секций), т.е. перед изготовлением каждого корпуса необходимо изготовить разовую технологическую оправку, что существенно удлиняет производственный цикл изготовления корпусов;
- изготовление таких оправок требует дополнительно очень высоких трудозатрат, сравнимых с трудозатратами по намотке корпуса, что существенно влияет на конечную стоимость изделия, изготовленного на такой оправке;
- срок хранения таких оправок обычно ограничен;
- после намотки и термообработки корпуса РДТТ имеет место длительный процесс разрушения и извлечения разрушаемых элементов оправки для извлечения вала из корпуса;
- относительно большие усадки оправок под действием сжимающих нагрузок наматываемого армирующего наполнителя, поэтому при использовании таких оправок необходимо проведение дополнительных исследований, чтобы обеспечить выполнение требований по выходным геометрическим параметрам корпусов.

Таким образом, использование таких оправок возможно, но требует дополнительных финансовых и временных затрат.

Цельнометаллические оправки. При использовании металлической оправки снижается производственный цикл изготовления изделия. Срок службы таких оправок практически не ограничен. Выбор материала оправок определяется размером изделий, требованиями к точности их изготовления и масштабом производства [1]. Оправки изготавливают обычно из стали и алюминиевого сплава. Ниже рассмотрены два типа цельнометаллических оправок:

1. Цельнометаллическая оправка представляет собой тонкостенный металлический лейнер (рис. 3), который в процессе изготовления изделия упрочняет корпус из ПКМ. Данная оправка проста в эксплуатации, обеспечивает точность ВГП и герметичность внутренней камеры без применения дополнительных герметизирующих материалов.

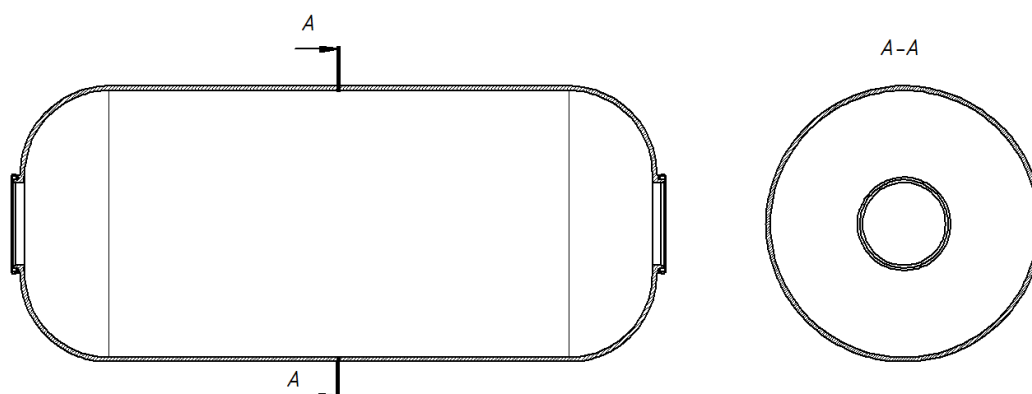


Рисунок 3 – Конструктивная схема цельнометаллической оправки

Недостатками данной конструкции цельнометаллической оправки являются:

- одноразовое применение оправки, так как она является частью изделия;
- увеличение массы конструкции корпуса РДТТ (большая толщина стенок лейнера для обеспечения достаточной жесткости при намотке упрочняющей оболочки).

Поэтому использование оправок данного типа целесообразно для оболочек малых размеров.

2. Еще один возможный вариант цельнометаллической оправки представляет собой тонкостенный металлический лейнер-трубу (рис. 4), который в процессе изготовления изделия упрочняют оболочкой из ПКМ.

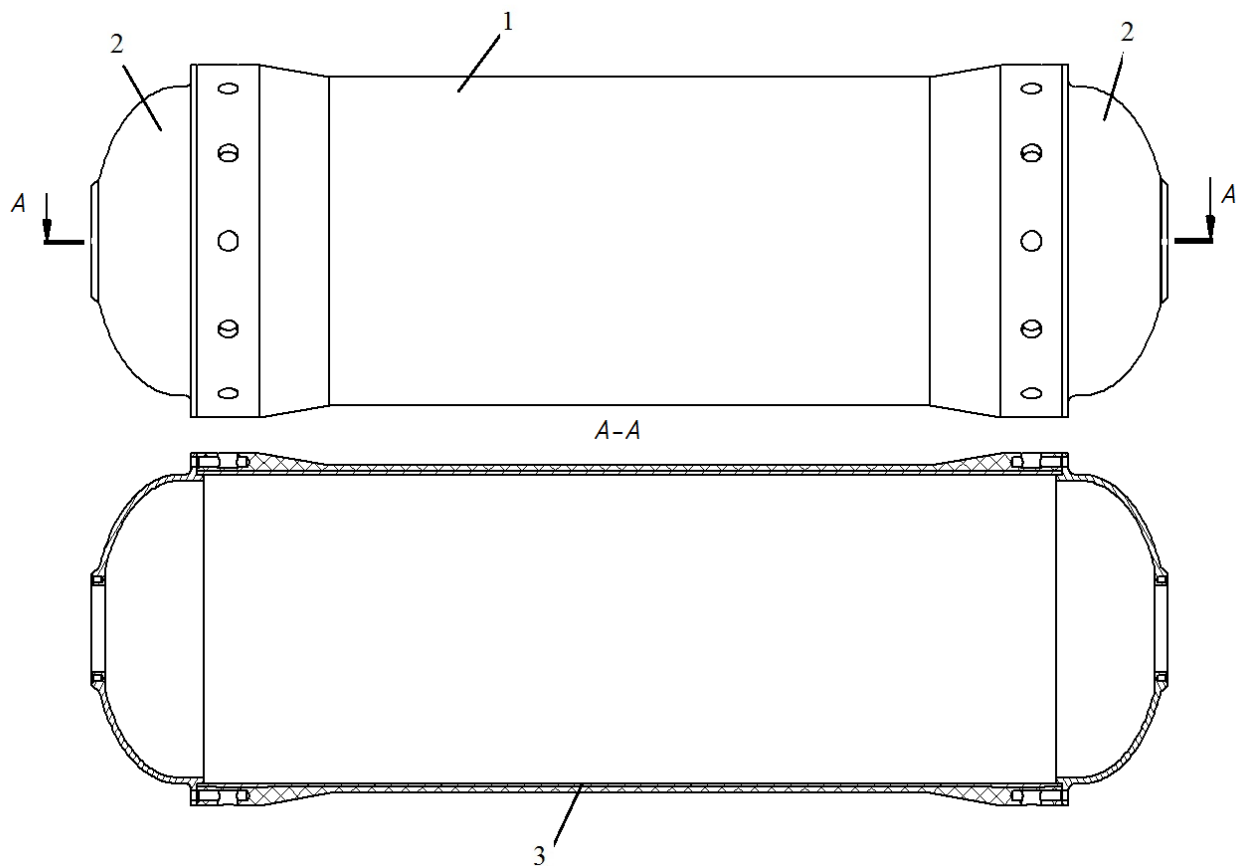


Рисунок 4 – Конструктивная схема металлической оправки:
1 – упрочняющая оболочка корпуса; 2 – металлические переднее и заднее днища; 3 – металлический лейнер

Преимущества и недостатки данной конструкции аналогичны с предыдущим типом цельнометаллической оправки

Разборные оправки. Для корпусов РДТТ, имеющих форму кокона, металлическая оправка может быть также разборной для извлечения ее после отверждения корпуса. Рассмотрим два типа разборных оправок.

1. **Разборная оправка** (рис. 5) представляет собой многосекционную конструкцию, каждая формообразующая секция которой крепится к несущему валу. Размеры отдельных секций и их количество определяется диаметром максимального полюсного отверстия корпуса. Такая конструкция позволяет после проведения режима полимеризации изделия извлечь оправку из корпуса посредством выполнения перечисленных ниже этапов:

- раскрепление несущего вала и формообразующих секций;
- извлечение несущего вала из корпуса;
- извлечение формообразующих секций [1].

Такая конструктивная схема оправки позволяет изготавливать крупногабаритные корпуса. Оправка может использоваться большое количество циклов производства. При этом обеспечивается высокая стабильность воспроизведения геометрических параметров корпуса.

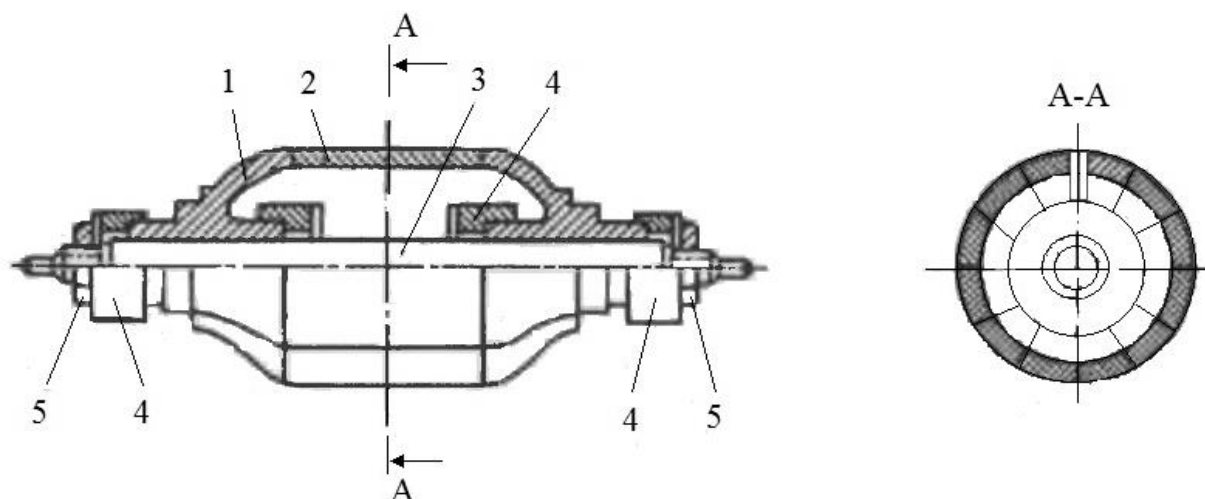


Рисунок 5 – Конструктивная схема металлической разборной оправки:
 1 – разборные части оправки, формирующие днища; 2 – цилиндрическая часть оправки; 3 – вал; 4 – гайки для сборки частей днищ; 5 – гайки крепления оправки на валу

К недостаткам такой конструктивной схемы разборной оправки можно отнести [2]:

- необходимость наличия достаточно большого полюсного отверстия корпуса;
- высокую стоимость изготовления такой оснастки.

2. **Разборная оправка** (рис. 6, 7) содержит центральный монтажный стержень, на котором установлены продольные сегменты, а на стыковочных гранях выполнены конические Г-образные пазы.

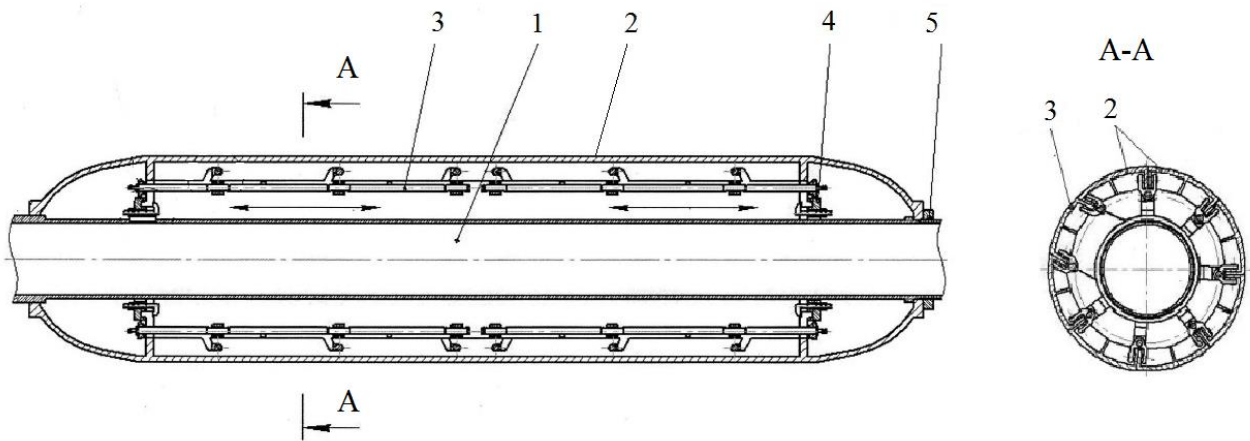


Рисунок 6 – Конструктивная схема металлической разборной оправки с замковым устройством:

1 – центральный монтажный стержень (вал); 2 – рабочая поверхность оправки; 3 – тяга замкового устройства; 4 – съемные кольца; 5 – гайки

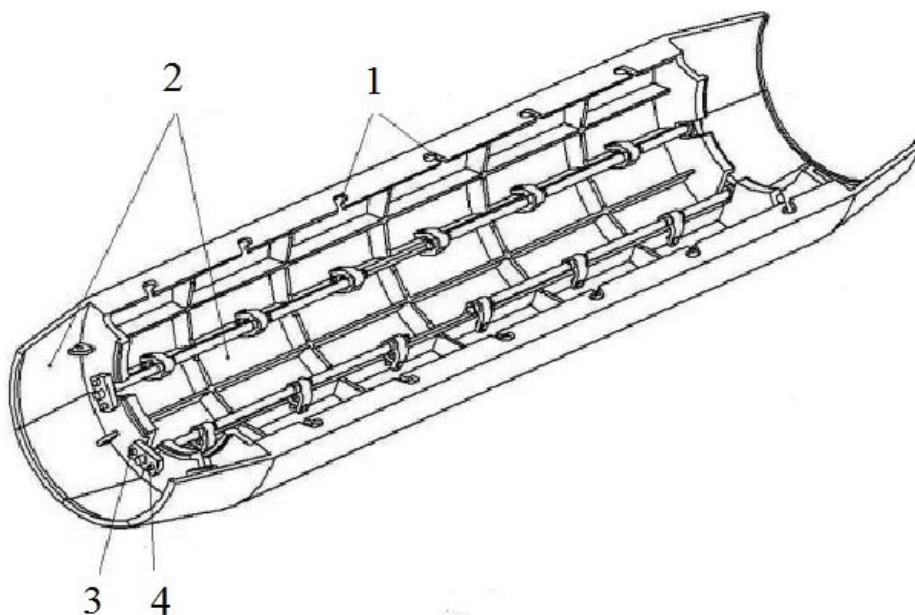


Рисунок 7 – Конструктивная схема металлической разборной оправки с замковым устройством:

1 – конические Г-образные пазы; 2 – продольные сегменты;
3 – установочный болт; 4 – отжимные болты

Сегменты зафиксированы между собой посредством замкового устройства. Замковое устройство представляет собой тягу, имеющую возможность продольного перемещения, на которой закреплены кронштейны, поджатые с двух сторон тарельчатыми пружинами. В кронштейне закреплен фиксирующий элемент из высокопрочного материала с наружной оболочкой из более мягкого материала, предназначенный

для фиксации в конических Г-образных пазах. Достижимый при этом технический результат заключается в повышении производительности процесса сборки-разборки оправки [7].

К недостаткам такой металлической разборной оправки можно отнести:

- необходимость наличия достаточно большого полюсного отверстия корпуса;
- еще более высокую стоимость изготовления такой оснастки по сравнению с предыдущими типами оправок;
- меньшую (в сравнении с предыдущей схемой) жесткость конструкции [7];
- усложнение разборки оправки при малых полюсных отверстиях;
- сложность воспроизведения формообразующей наружной поверхности оправки при ее сборке.

Выводы

1. Проведен обзор типов формообразующих оправок в соответствии с предъявленными требованиями по качеству внутренней поверхности изготавливаемого корпуса РДТТ, достаточной прочности и жесткости конструкции оправки, обеспечению извлечения оправки после проведения режима термообработки изделия.

2. Установлено, что рациональней применять: при мелкосерийном и серийном производстве – разборную металлическую оправку, а при единичном производстве – разрушаемую оправку.

3. Для единичного производства целесообразней использовать разрушаемые оправки, т.к. изготовление данной оправки дешевле, чем разборной металлической. Изготовление разрушаемых оправок требует больших трудозатрат, срок хранения компонентов ограничен, после термообработки изделия процесс извлечения оправки занимает длительное время, поэтому для серийного и мелкосерийного производства разумно применять разборные металлические оправки.

4. Рассмотрены типы надувных и цельнометаллических оправок. Применение надувных оправок имеет ряд недостатков, в таком типе оправки сложно обеспечить стабильные геометрические параметры корпуса РДТТ, так как постоянно нужно увеличивать давление внутри надувной оболочки, и точную фиксацию закладных элементов корпуса. Важным моментом является то, что любое возможное нарушение герметичности оправки приведет к браку изделия, а также может произойти разрушение оправки и изделия от возрастания давления внутри надувной оболочки. Цельнометаллическая оправка является одноразовой, так же как и разрушаемая оправка, но применение цельнометаллической оправки увеличивает массу конструкции корпуса РДТТ, т.е. оправка не извлекается из корпуса, так как она является частью изделия.

Список использованных источников

1. Воробей, В.В. Основы технологии и проектирование корпусов ракетных двигателей [Текст] / В.В. Воробей, В.Б. Маркин. – Новосибирск: Наука, 2003. – 164 с.
2. Комков, М.А. Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражений [Текст] / М.А. Комков, В.А. Тарасов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 431 с.
3. Твердопаливні ракетні двигуни. Матеріали і технології [Текст]: підруч. / Ф.П. Санін, Л.Д. Кучма, Є.О. Джур, А.Ф. Санін. – Донецьк. ДНУ, 1999. – 320 с.
- 4 Особенности разработки средств технологического оснащения для производства изделий из полимерно-композиционных материалов методом намотки [Текст] / Г.И. Шайдурова, А.С. Зуев, А.Ю. Ешашев, В.Е. Антипин // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – Пермь: ПНИПУ, 2014. – № 36. – С. 64 – 76.
5. Пат. 1004134 СССР М.Кл³ В 29 D 23/12. Оправка для изготовления изделий методом намотки [Текст] / И.А. Кожевин, С.А. Хомяков, Р.Г. Залялетдинов (СССР). – № 3337918/23-05; заявл. 03.09.81; опубл. 15.03.83, Бюл. № 10. – 3 с.
6. Пат. 478740 СССР М.Кл В 29d 23/12. Оправка для изготовления стеклопластиковых изделий намоткой [Текст] / Г.Ф. Северов, А.И. Зайцев, А.М. Чвикалов, В.А. Кузьмин (СССР). – № 1778224/23-5; заявл. 27.04.72; опубл. 30.07.75, Бюл. № 28. – 2 с.
7. Пат. 2504471 Российская Федерация, МПК В29С 53/82. Разборная оправка [Текст] / Д.А. Лаптев, Д.А. Попова; заявитель и патентообладатель ООО «Пермский завод «Машиностроитель». – № 2012130738/05; заявл. 17.07.12; опубл. 20.01.14, Бюл. № 2. – 10 с.

Поступила в редакцию 12.12.2016.

*Рецензент: д-р техн. наук В.А. Коваленко,
ГП «Конструкторское бюро «Южное»
им. М.К. Янгеля», г. Днепр.*