

Канд. техн. наук А.М. Потапов, д-р техн. наук В.А. Коваленко, Е.В. Шилина,  
С.А. Шилин, А.В. Алешин

## СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ И ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ ТИПА "КОКОН"

*Рассмотрен вопрос создания разборных металлических оправок со вспомогательной технологической оснасткой для серийного изготовления корпусов типа "кокон".*

*Розглянуто питання створення розбірних металевих оправок з допоміжною технологічною оснасткою для серійного виготовлення корпусів типу "кокон".*

*Development and manufacture of metal dismountable mandrels with auxiliary fittings for serial production of cocoon-type cases are under consideration.*

Развитие современной ракетно-космической техники (РКТ) требует широкого применения новейших полимерных композиционных материалов (ПКМ) и технологий на их основе. Известно [1-4], что использование ПКМ взамен традиционных металлов и сплавов в типовых конструкциях РКТ позволяет снизить их массу на 25-40%. При этом современные подходы к изготовлению изделий из ПКМ позволяют еще более повысить исходные упругопрочностные свойства армирующих волокон и, как следствие, дополнительно снизить массу разрабатываемых конструкций.

Повышение эффективности корпусов ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ) в настоящее время является весьма актуальной задачей. При проведении работ по совершенствованию корпусов РДТТ

требования к обеспечению их минимальной массы и высокой надежности конструкции вынуждают применять только высокоэффективные материалы, такие как высокопрочные высокомодульные углеродные волокна, стали с пределом прочности более 1,8 ГПа, титановые сплавы и др. В то же время изготовление таких конструкций требует создания специального оборудования и технологической оснастки, а также проведения исследований, направленных на совершенствование технологий их изготовления.

Изготовление конструкций типа "кокон" из ПКМ обычно проводится на намоточных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) (рис. 1) путем программной укладки пропитанного связующим армирующего материала на формообразующую поверхность оправки.



Рис. 1. Намоточный станок с ЧПУ

Ранее для изготовления таких корпусов применялись наборные оправки из гипсовых или песчано-полимерных элементов.

Изготовление таких оправок и их удаление из корпуса после его термообработки являются достаточно сложными, трудоемкими

ми и, как следствие, дорогостоящими процессами. Причем перед изготовлением каждого корпуса было необходимо изготовить такую оправку. Кроме того, низкие и нестабильные упругопрочностные характеристики материала таких оправок затрудняют получение необходимых выходных геометрических параметров корпуса и серийное производство корпусов ракетных двигателей.

Поэтому для обеспечения серийного изготовления корпусов типа "кокон" целесообразно:

- проработать возможность применения оправок многократного использования (металлических, полимерных и др.);
- конструктивно обеспечить процесс извлечения такой разборной оправки из готового корпуса через его полюсное отверстие.

Разработка такой оправки позволит обеспечить:

- стабильные геометрические размеры корпуса при многократном использовании оправки;
- существенное снижение стоимости изготовления корпусов.

В данной работе рассмотрена возможность создания специальной оснастки для серийного изготовления корпусов ракетных двигателей на основе высокопрочного высокомодульного углеродного волокна.

Работы по созданию металлической разборной оправки для серийного производства были проведены на ГП "КБ "Южное" в 2014-2015 гг. Разработка и изготовление оправки проводились совместно с ООО "Империя металлов" для корпуса маршевой двигательной установки (МДУ) (рис. 2). Габаритные размеры корпуса: диаметр – 900 мм, длина – 3000 мм.

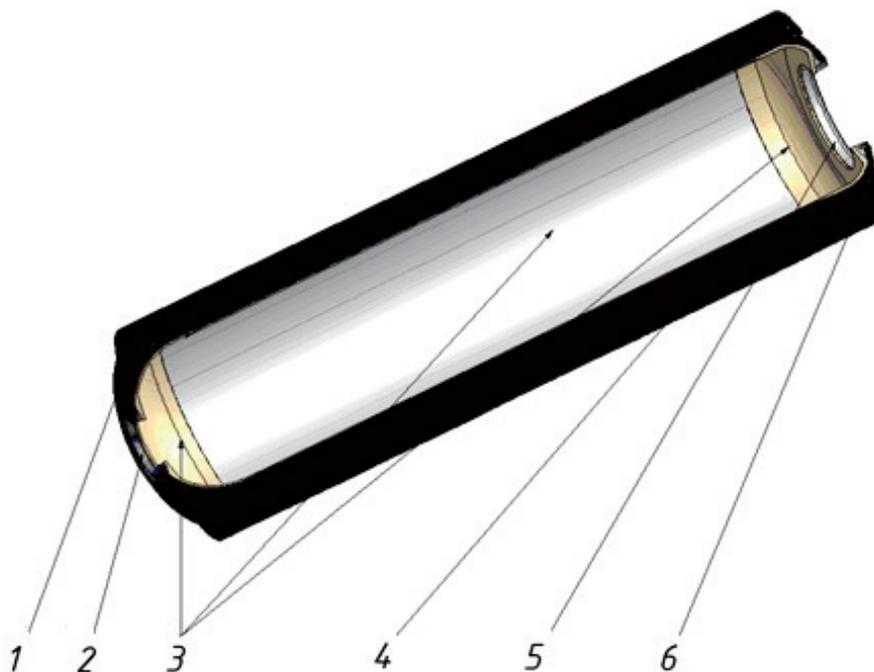


Рис. 2. Общий вид корпуса МДУ:

1 – передний узел стыка; 2 – передний фланец; 3 – внутреннее теплозащитное покрытие;  
4 – силовая оболочка; 5 – задний фланец; 6 – задний узел стыка

Анализ предполагаемой конструкции данного корпуса позволил определить следующие критерии проектирования оправки (рис. 3):

- оправка должна состоять из карт (формообразующих секций), которые извлекаются из отвержденного корпуса дви-

гателя через полюсное отверстие в большем фланце;

- оправка должна иметь приспособления для фиксации карт и закладных элементов (фланцев), обеспечивающие точность их позиционирования;

– конструкция оправки и применяемые для ее изготовления материалы должны обеспечивать не менее 100 циклов "разборка-сборка" оправки без изменения ее геометрии;

– конструкция оправки должна обеспечивать максимально высокую точность формообразующей поверхности (до 0,05 мм).

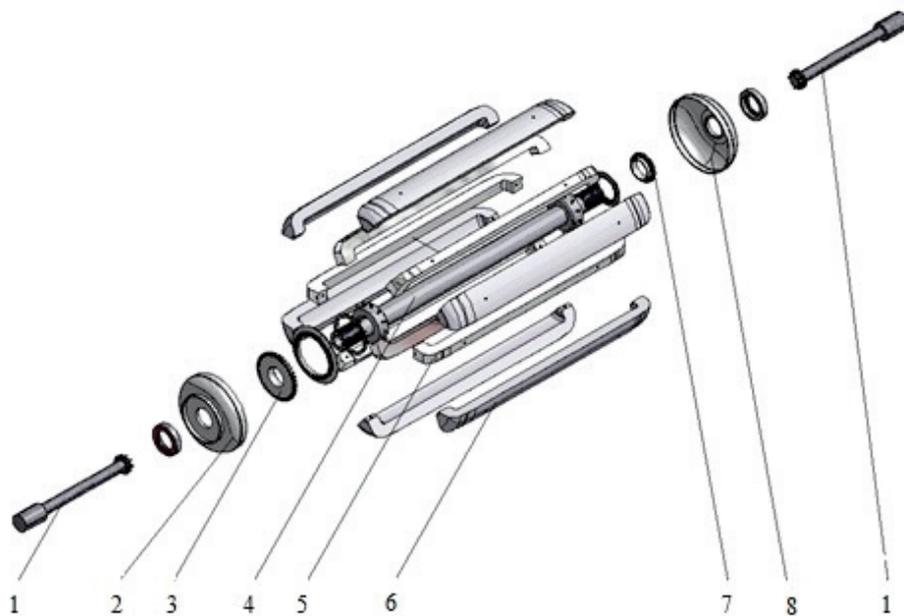


Рис. 3. Конструктивные элементы оправки:

1 – передняя и задняя цапфы; 2 – заднее ложное днище; 3 – задний фланцедержатель; 4 – вал;  
5 – выпадающие карты; 6 – замыкающие карты; 7 – передний фланцедержатель; 8 – переднее ложное днище

Оправка представляет собой полый вал-основу, имеющий специально обработанные посадочные поверхности, на которых базируются формообразующие карты (замыкающие и выпадающие). Количество и форму карт выбирают исходя из диаметра отверстия в большем фланце (рис. 4).

Карты крепятся изнутри вала при помощи специальных фиксирующих болтов. Такая конструкция обеспечивает создание формообразующей поверхности для укладки на ней внутреннего теплозащитного покрытия (ВТЗП), последующей намотки и механической обработки силовой оболочки корпуса двигателя.



Рис. 4. Общий вид оправки в сборе

Дополнительно для обеспечения полного технологического цикла изготовления корпуса были разработаны вспомогательные средства технологического оснащения:

- стапель сборки оправки;
- стапель разборки оправки;
- платформа с приспособлением для вращения оправки в печи;
- слесарный стапель;
- кондукторы для сверления отверстий и вклейки закладных элементов.

Стапель сборки (рис. 5) представляет собой раму с подвижными ложементами-люнетами и неподвижными ложементами-домкратами. Один из ложементов-люнетов оснащен червячным редуктором с приводным маховиком для вращения вала во время сборки оправки. В процессе сборки оправки вал-основа проворачивается в стапеле и при помощи крана проводится монтаж карт на вал с учетом их маркировки. Предусмотрена также возможность установки на оправку в сборочном стапеле штатных фланцев с днищами ВТЗП, ложных днищ и цапф.

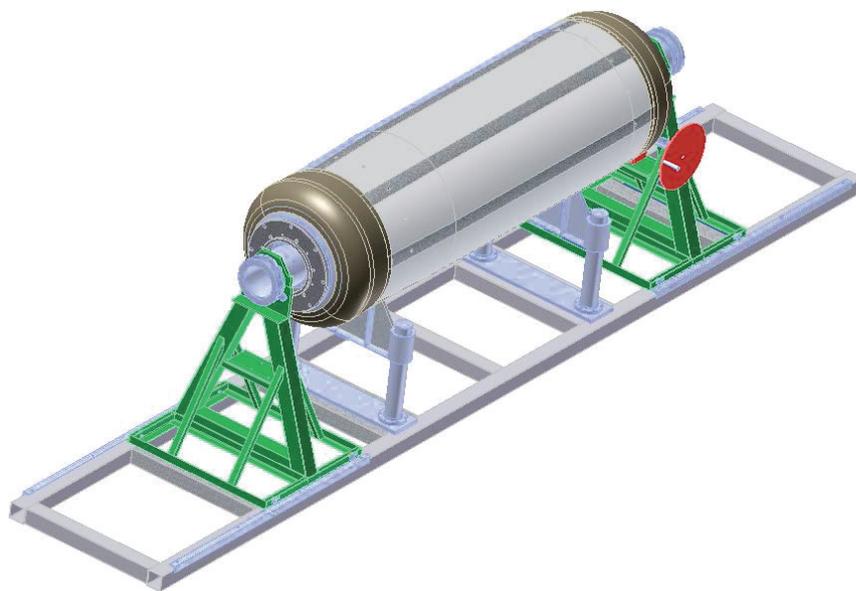


Рис. 5. Стапель сборки оправки

Для обеспечения равномерного распределения связующего в композиционном материале в процессе термообработки заготовки корпуса в печи аэродинамического

нагрева разработаны специальные тележки с приспособлением для вращения оправки в печи, конструктивная схема которых изображена на рис. 6.

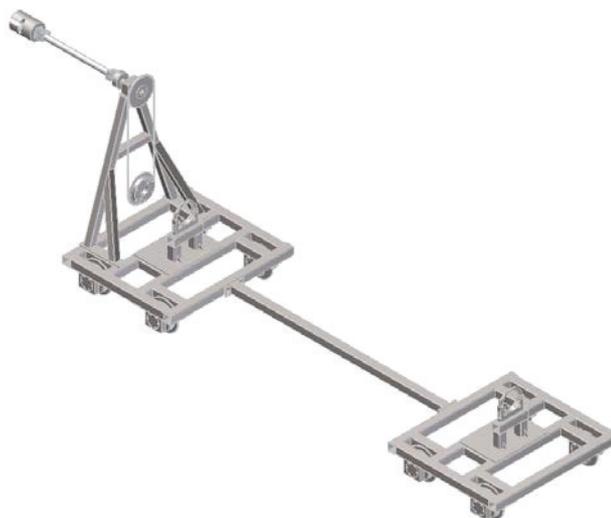


Рис. 6. Тележки с приспособлением для вращения оправки в печи

Для извлечения разборной оправки из корпуса предназначен стапель разборки (рис. 7). Он представляет собой рамную конструкцию, в которую вертикально помещается оправка с заготовкой корпуса двигателя. Кантование оправки с заготовкой корпуса в вертикальное положение

проводится краном при помощи специальной поворотной стойки, расположенной на стапеле сборки оправки. При разборке оправки с помощью домкрата и крана извлекают вал. Далее поэтапно извлекают карты – сначала выпадающие, затем замыкающие.

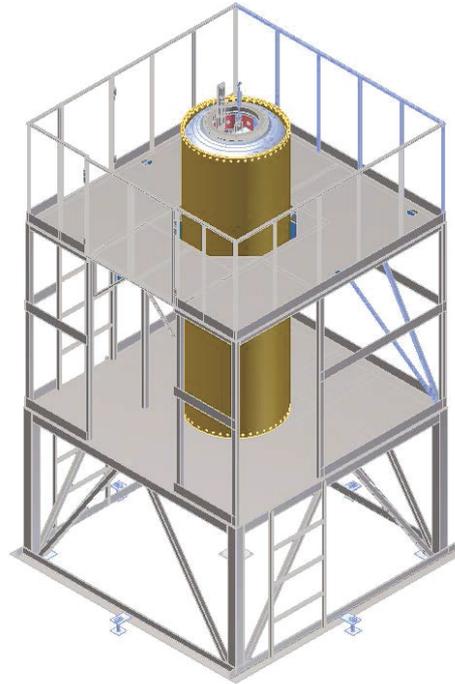


Рис. 7. Стапель разборки оправки

Для выполнения слесарных операций с заготовкой корпуса разработан слесарный стапель (рис. 8). Он представляет собой раму с ложементом и приводом вращения оправки (ручной редуктор).

Сверление отверстий и вклейка закладных элементов в узлах стыка осуществляются при помощи специальных кондукторов, которые базируются по заранее обработанным торцам корпуса МДУ.



Рис. 8. Слесарный стапель с кондукторами для сверления отверстий

В настоящее время на ГП "КБ "Южное" проведена полная технологическая отработка изготовления корпусов типа "кокон" на разработанной технологической оснастке.

Технология изготовления корпуса РДТТ состоит из следующих операций:

- сборка металлической разборной оправки;
- изготовление чехлов теплозащитного покрытия корпуса, их сшивка и установка на оправку;
- установка переднего и заднего днищ, нанесение ВТЗП на цилиндрическую часть оправки;
- намотка силовой оболочки корпуса на пятикоординатном намоточном станке с ЧПУ;

- установка ложных днищ;
- намотка оболочки связи и узлов стыка;
- отверждение заготовки корпуса в аэродинамической печи;
- проведение механической обработки.

Основными отличительными технологическими операциями изготовления корпуса типа "кокон" на металлической разборной оправке от песчано-полимерных являются сборка оправки, намотка силовой оболочки и извлечение оправки из заготовки корпуса.

Сборку оправки осуществляют на сборочном стапеле при помощи балочного крана (рис. 9). Монтаж карт проводится поэтапно: монтаж выпадающих, затем замыкающих карт.



Рис. 9. Сборка оправки

Намотка силовой оболочки и узлов стыка (рис. 10, 11) проводилась спирально-кольцевой "мокрой" намоткой углеродного волокна, пропитанного эпоксидным

связующим на пятикоординатном намоточном станке MAW 20 FB5/1 с программным управлением.



Рис. 10. Намотка силовой оболочки



Рис. 11. Намотка узлов стыка

Извлечение оправки из заготовки корпуса осуществлялось в стапеле разборки в вертикальном положении. Оправка с заготовкой корпуса кантовалась в вертикальное положение большим полюсом вверх при помощи специальной поворотной стойки стапеля сборки. Установка в стапель раз-

борки осуществлялась с опиранием по узлам стыка корпуса. При помощи домкрата и балочного крана осуществлялись распрессовка и извлечение вала-основы, затем поочередно извлекались выпадающие и замыкающие карты (рис. 12, 13).



Рис. 12. Извлечение вала



Рис. 13. Извлечение карт

#### Выводы

На ГП "КБ "Южное" спроектирована и изготовлена технологическая оснастка, предназначенная для изготовления корпусов РДТТ методом "мокрой" намотки, не имеющая на сегодняшний день аналогов.

Разработанная технологическая оснастка позволяет обеспечить полный технологический цикл изготовления корпуса МДУ методом "мокрой" намотки на станке с ЧПУ.

Особенностью разработанной оснастки (в отличие от используемой ранее) является ее многократное использование, что приводит к существенному снижению стоимости изготавливаемых с ее помощью корпусов РДТТ.

Разработанная конструкция разборной оправки и используемые материалы обеспечивают существенное повышение стабильности геометрических параметров изготавливаемых с ее помощью корпусов двигателей.

#### Список использованной литературы

1. Джур Є.О. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник/ Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, Т.А. Манько, В.Г. Сітало, Ф.П. Санін, А.Ф. Санін. – К.: Вища освіта, 2003. – 399 с.
2. Карпов Я.С. Проектирование оболочек вращения из композиционных материалов: Учеб. пособие /Я.С. Карпов, П.М. Гагауз. – Х.: ХАИ, 2010. – 64 с.
3. Коваленко В.А. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения ее массовой и функциональной эффективности / В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев// *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – №5(82). – С. 14-20.
4. Кондратьев А.В. Обзор и анализ мировых тенденций и проблем расширения применения в агрегатах ракетно-космической техники полимерных композиционных материалов / А.В. Кондратьев, В.А. Коваленко // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр.* – Х.: ХАИ, 2011. – №3(67). – С. 7–18.

Статья поступила 08.02.2016