

УДК 621.01

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МКА НК

© 2023 Д.В. Антипов¹, М.А. Михеев¹ В.И. Панин¹, А.С. Шульга²

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Россия

² Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс» (АО «Прогресс»), г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 19.06.2023

В данной статье проводятся исследования, разрабатываются технологические рекомендации, включающие выбор материала, проектно-конструкторских решения для корпусных деталей МКА НК с учетом возможности их изготовления методами аддитивного производства и дальнейшей роботизированной сборки «под ключ».

Ключевые слова: сборочное производство, манипуляторы, аддитивное производство, серийное производство, высокоточное производство, малые космические аппараты (МКА).

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-104-109

EDN: TGAXBN

На сегодняшний день разработка малого космического аппарата нано класса (МКА НК) с учётом динамично меняющейся целевой нагрузки и используемой элементной базы является крайне актуальной. Конъюнктура рынка диктует постоянное изменение особенностей конструктивных элементов, которые необходимо разместить во вновь разрабатываемом изделии. В имеющихся условиях производитель МКА НК может успешно конкурировать только, имея высокотехнологичные высоко унифицированные производственные решения, позволяющие в кратчайшие сроки адаптироваться под новые конкретные задачи заказчика и постоянно обновляющуюся номенклатуру элементной базы. Также весьма актуальными являются сроки разработки прототипов, проведение на них всех необходимых испытаний и исследований с последующим допуском к установке МКА НК на РН, его вывод на орбиту и выполнение целевой задачи.

Для производства МКА НК в рамках изучаемого процесса предлагается широко использовать аддитивные технологии. Аддитивные технологии (АТ, англ. Additive Manufacturing) — это технологии послойного наращивания объектов, также распространено наименование «3D-печать». Название происходит от английского слова add – добавлять. АТ – это группа технологических методов производства изделий и прототипов, основанных на поэтапном форми-

Антипов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении. E-mail: antipov.dv@ssau.ru
Михеев Михаил Александрович, аспирант.
Панин Вадим Игоревич, аспирант.
Шульга Александр Сергеевич, заместитель начальника отдела аддитивных технологий РКЦ «Прогресс».

ровании изделия путём добавления материала на основу.

В качестве основной АТ для изготовления корпусной части и конструктивных элементов МКА НК в рамках данного проекта предлагается использовать FDM печать.

FDM (Fused Deposition Modeling) послойная укладка полимера - аддитивная технология, широко используемая для создания трёхмерных моделей как при прототипировании, так и промышленном производстве.

Конструкция печатающей головки при использовании FDM печати 3D принтера представлена на рисунке 1.

При изготовлении изделий, предназначенных для выведения на околоземную орбиту, планируется применять печать высокотемпературным суперконструкционным термопластом РЕЕК (ПЭЭК - полиэфирэфиркетон) на промышленных 3D принтерах.

Выбор высокотемпературного суперконструкционного термопластичного полимера полиэфирэфиркетон (ПЭЭК, РЕЕК – лат.) объясняется широким диапазоном температур эксплуатации, высоким уровнем удельных физико-механических свойств, крайне низкой гигроскопичностью, а также высокой стойкостью к радиационному воздействию (см. таблицу 1). Также данный материал обладает высокими триботехническими свойствами, имеющими большое значение при расчете и реализации операции отделения изделия от транспортного пускового контейнера.

При аддитивной переработке данного материала необходимо отметить возможность изготовления сложных пространственных форм, выполнения различной плотности заполнения стенок деталей и заложения уникальных вну-

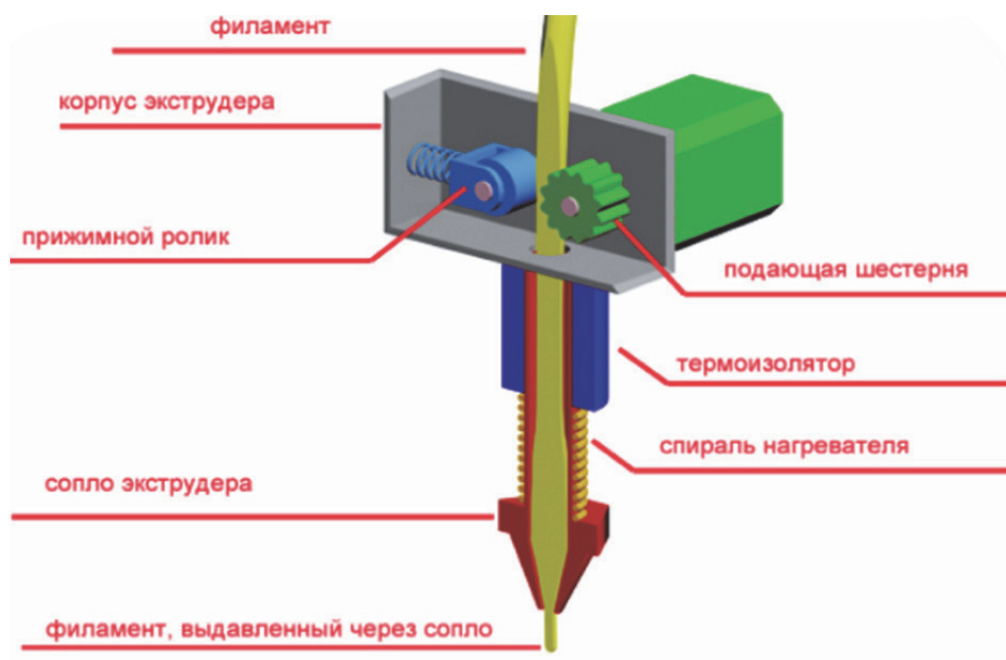


Рисунок 1 – Печатающая головка FDM 3D принтера

Таблица 1 – Свойства ПЭЭК

№	Свойства полиэфирэфиркетона (ПЭЭК/PEEK) при аддитивной переработке	Значения
1	Плотность, кг/м ³	1250-1350
2	Прочность при растяжении, МПа	90-100
3	Модуль упругости при растяжении, ГПа	до 3,6
4	Температура эксплуатации, °С	от -150 до +270
5	Гигроскопичность, % за более 24 час.	0,1
6	ТКЛР, 1/К (до 150°С)	40-50x10 ⁻⁶
7	Минимальное газовыделение в вакууме	да
8	Химическая стойкость к большинству кислот и пару	да
9	Стойкость к β-, γ-, рентгеновскому, ИК и УФ излучению	высокая

тренних полостей. Так же необходимо отметить относительно низкую себестоимость процесса формирования и сжатые сроки изготовления готовых уникальных изделий. Рабочая область печати промышленного высокотемпературного 3D принтера показана на рисунке 2.

В рамках данного процесса разработка конструкторских решений в части корпусных деталей МКА НК проводится исходя из задачи максимального применения при изготовлении уникальных возможностей высокотехнологичного аддитивного производства, а также в обеспечении высокой степени автоматизации (роботизации) процесса серийной сборки изделия.

С учетом возможностей аддитивной печати на промышленных 3D принтерах высокотемпературными термопластичными материалами предлагается максимально снизить количество сборочных корпусных деталей, болтовых, винтовых и клеевых соединений за счет печати монолитного основания аппарата с соответству-

ющим количеством подблоков (юнитов). При этом значительно повышается жесткость и размеростабильность корпуса изделия, максимально упрощается технологический процесс сборки МКА НК, что в свою очередь способствует увеличению автоматизации (роботизации) данного процесса.

Отработка технологичности печати вновь разрабатываемого корпуса МКА НК проводится в САМ модуле – слайсере для подготовки управляющей программы для 3D принтера «G-code» (см. рисунок 5).

Возможности аддитивного производства позволяют практически без дополнительной механической постобработки изготавливать сложные пространственные формы, применять решения для облегчения конструкции и размещать в корпусе изделия различные элементы аппаратуры: панели солнечных батарей, различные сенсоры, элементы системы связи, дополнительные разъемы и прочее.

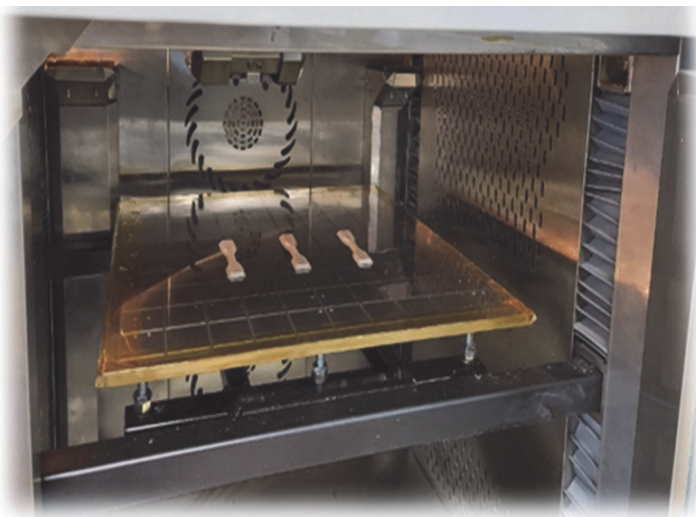


Рисунок 2 – Рабочая область печати промышленного 3D принтера

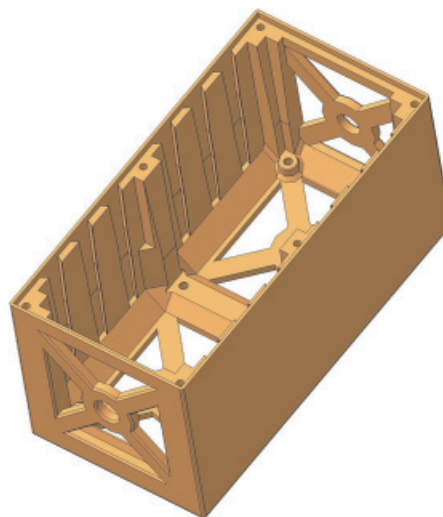


Рисунок 3 – Проект корпуса МКА НК, изготавливаемого с применением аддитивного производства

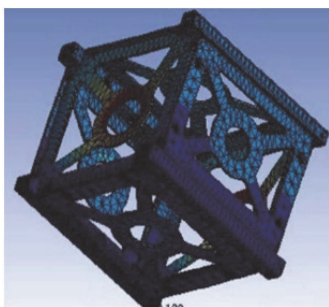


Рисунок 4 – Расчет прочности корпуса МКА НК в САЕ модуле

В корпусе вновь разрабатываемого МКА НК при его 3D печати планируется выполнять технологические отверстия для фиксации в них автоматических захватов робота сборщика.

Для установки монтируемой стенки аппарата в его корпусе (рис. 7) выполнено специальное место, имеющее конусный профиль, необходимый для реализации автоматизированной сборки изделия. Крепление монтируемой стенки планируется производить в шести точках, в специально отпечатанных технологических приливах в корпусе аппарата специальными болтами, предназначенными для фиксации в полимерных материалах.

На рис. 8 показаны конструкторские решения в элементах корпуса вновь разрабатываемого аппарата, предназначенные для повышения жесткости изделия и улучшения технологичности его сборки, а также для увеличения полезной нагрузки за счет более рационального использования внутреннего пространства аппарата. Такие решения возможно применять при изготовлении деталей именно методом аддитивного формирования. При правильном проектировании и расположении изготавливаемых деталей при печати, можно практически избежать необходимости постобработки. За счет этого повышается степень автоматизации тех-

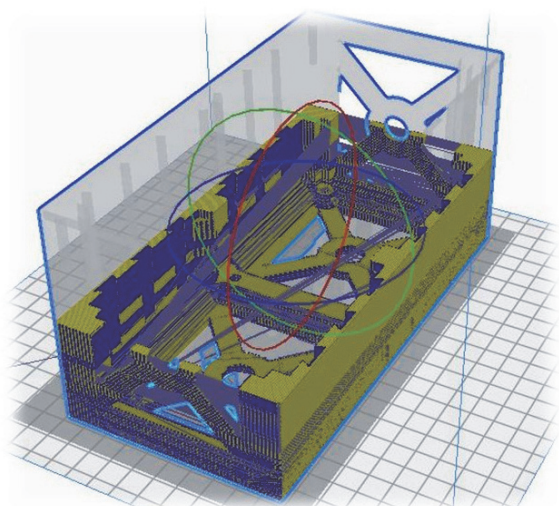


Рисунок 5 – Подготовка управляющего кода для печати корпуса МКА НК в САМ модуле

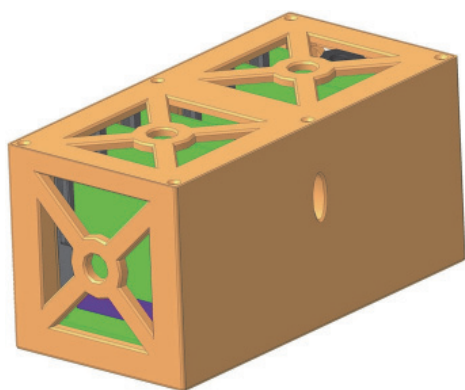


Рисунок 6 – Технологические отверстия для фиксации автоматических захватов в корпусе аппарата

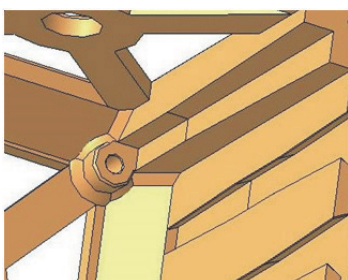
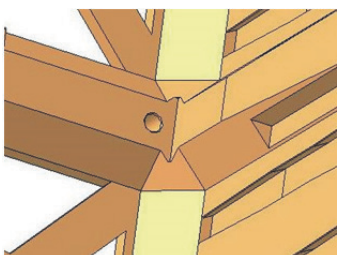


Рисунок 8 – Конструктивные решения для увеличения жесткости корпуса изделия с учетом возможностей аддитивного производства

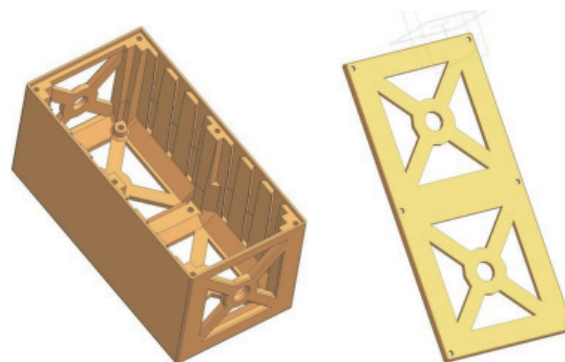


Рисунок 7 – Установка монтируемой стенки аппарата в его корпусе

нологии и, как следствие, снижается цикл производства готовых изделий.

Предлагаемый подход к проектированию и изготовлению корпусных деталей позволяет производить как сплошное заполнение (100%) стенок изделия материалом (см. рисунок 9), так и применять полое заполнение стенок, например, на 50% и менее с целью облегчения конструкции, изменения теплоизоляционных свойств стенок и возможности размещения различных дополнительных элементов (см. рисунок 10).

Таким образом, в результате исследования были разработаны технологические рекомендации, включающие выбор материала, проектно-конструкторских решений для корпусных деталей МКА НК с учетом возможности их изготовления методами аддитивного производства «под ключ».

Практическая значимость результатов работы заключается в применении технологических





Рисунок 9 – Оработка внутреннего заполнения стенок корпуса МКА НК материалом - 100%

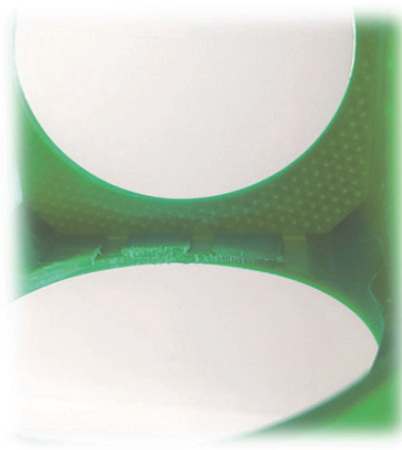


Рисунок 10 – Оработка внутреннего заполнения стенок корпуса МКА НК материалом - 60%

решений для автоматизированного производства и дальнейшей роботизированной сборки МКА НК, позволяющих снизить трудоёмкость, повысить производительность, качество выходной продукции и универсальность использования конструкторско-технологических решений под различные задачи заказчика.

Теоретическая значимость научной деятельности заключается в разработке конструктивных решений МКА НК для автоматизации производства с учетом дальнейшей роботизированной сборки МКА НК с помощью технологии аддитивного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрченко, В.В. Анализ кинематических схем движения экструза 3d-принтера / В.В. Юрченко, М.В. Кубриков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2017. – 207 с.
2. Антонова, В.С. Аддитивные технологии: учебное пособие / Антонова В.С., Осовская И.И. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 30 с.
3. Валетов, В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учебное пособие / В.А. Валетов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.
4. Валетов, В.А. Новые технологии в приборостроении: учебное пособие / В.А. Валетов, С.В. Бобцова. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. – 120 с.
5. Валетов, В.А. Влияние RP-технологий на качество изделий: статья/ В.А. Валетов, С.В. Бобцова // Инструмент и технология. – 2004. №№ 19-20. – С. 20-24.
6. Валетов, В.А. Изготовление пресс-форм с помощью RP-технологий / В.А. Валетов, С.В. Бобцова // Научно-технический вестник, выпуск 15. – СПбГУИТМО, 2004. – С. 306-308.
7. Гарретт, Баннинг. Программируемый мир / Баннинг Гарретт, Томас Кемпбелл, Скайлар Тиббитс // В мире науки. – 2015. – № 1. – С.68-75.
8. Дуб, А.В. Технологии на вырост / А.В. Дуб // ВМН, спецвыпуск. – 2015. – С. 84-91.

DESIGN AND TECHNOLOGY SOLUTIONS FOR ADDITIVE MANUFACTURING OF BODY PARTS OF A SMALL SPACIC NANO-CLASS VEHICLE

© 2023 D.V. Antipov¹, M.A. Mikheev¹, V.I. Panin¹, A.S. Shulga²

¹ Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

² Joint-Stock Company «Rocket and Space Center «Progress» (JSC «Progress»)

In this article, research is carried out, technological recommendations are developed, including the choice of material, design solutions for hull parts of small spacecraft NC, taking into account the possibility of their manufacture by additive manufacturing methods and further robotic assembly on a turnkey basis.

Keywords: assembly production, manipulators, additive manufacturing, serial production, high-precision production, small spacecraft (SSC).

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-104-109

EDN: TGAXBN

REFERENCES

1. *Yurchenko, V.V.* Analiz kinematicheskikh skhem dvizheniya ekstruda 3d-printera / V.V. Yurchenko, M.V. Kubrikov // Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavтики, 2017. – 207 s.
2. *Antonova, V.S.* Additivnye tekhnologii: uchebnoe posobie / Antonova V.S., Osovskaya I.I. – SPb.: VSHTe SPbGUPTD, 2017. – 30 s.
3. *Valetov, V.A.* Additivnye tekhnologii (sostoyanie i perspektivy): uchebnoe posobie / V.A. Valetov. – SPb.: Universitet ITMO, 2015. – 63 s.
4. *Valetov, V.A.* Novye tekhnologii v priborostroenii: uchebnoe posobie / V.A. Valetov, S.V. Bobcova. – SPb.: SPbGU ITMO, 2004. – 120 s.
5. *Valetov, V.A.* Vliyanie RP-tekhnologij na kachestvo izdelij/ V.A. Valetov, S.V. Bobcova // Instrument i tekhnologiya. – 2004. №№ 19-20.– S. 20-24.
6. *Valetov, V.A.* Izgotovlenie press-form s pomoshch'yu RP-tekhnologij: stat'ya/ V.A. Valetov, S.V. Bobcova // Nauchno-tekhnicheskij vestnik, vypusk 15. – SPbGUITMO, 2004. – S. 306-308.
7. *Garrett, Banning.* Programmiruemyy mir / Banning Garrett, Tomas Kempbell, Skajlar Tibbits // V mire nauki. – 2015. – № 1. – S.68-75.
8. *Dub, A.V.* Tekhnologii na vyrost / A.V. Dub // VMN, specvypusk. – 2015. – S. 84-91.

Dmitry Antipov, Doctor of Technics, Associate Professor at the Department of Aircraft Production and Quality Control in Mechanical Engineering. E-mail: antipov.dv@ssau.ru
Mikhail Mikheev, Graduate Student.
Vadim Panin, Graduate Student.
Alexander Shulga, Deputy Head of the Additive Technologies Department of the Progress RCC.