

**Ключевые слова:**

ЧПУ, фрезерные станки серии СВО, копирование, вафельный фон

ЧИСЛОВОЕ ПРОГРАММНО-КОПИРОВАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФРЕЗЕРНЫМИ СТАНКАМИ СЕРИИ СВО – ВАЖНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЧПУ

Олег ПАСЬ, Николай СЕРКОВ

Рассмотрены предпосылки возникновения и развития числового программно-копировального управления (ЧПКУ) фрезерными станками серии СВО для обработки изделий с вафельным фоном.

ВВЕДЕНИЕ

Мировой рынок космических изделий характеризуется устойчивой конкуренцией между основными производителями ракетно-космической техники (РКТ). Конкурентоспособность отечественной ракетно-космической отрасли в значительной степени определяется совершенством технологического оборудования, в частности, многокоординатных станков с ЧПУ.

В конструкциях несущих корпусов (баки, отсеки, купола и т.п.) изделий РКТ используются вафельные оболочки [1–2] различной геометрической формы – цилиндрические, конические, сферические и др., изготавливаемые по специальной технологии с применением высокопрочных алюминиевых сплавов.

Технология получения вафельного фона относится к классу уникальных и требует применения специальных фрезерных станков с ЧПУ.

На рис. 1 показаны различные способы обработки вафельного фона [3]. Изготовление вафельной обечайки возможно посредством размерного химического травления, фрезерования плоских панелей с последующим их сворачиванием в обечайку или механической обработки уже свернутой поверхности.

В зарубежной практике наблюдается повышенное внимание к станкам для обработки «незамкнутой геометрии», что, возможно, обусловлено принципиальным различием в технологическом подходе к фор-

мированию вафельной обечайки в практике отечественного и мирового ракетостроения. При отечественном подходе преимущественно обечайку сначала сворачивают и сваривают из листового металла (проката), а затем обрабатывают. В зарубежной практике наоборот – сворачивают и сваривают заранее обработанные листы.

Можно утверждать, что числовое программное управление в настоящее время остается одним из основных мощных средств автоматизации машиностроительного производства. На фоне этого, казалось бы, копировальная обработка, из которой родилось числовое программное управление, полностью ушла в про-

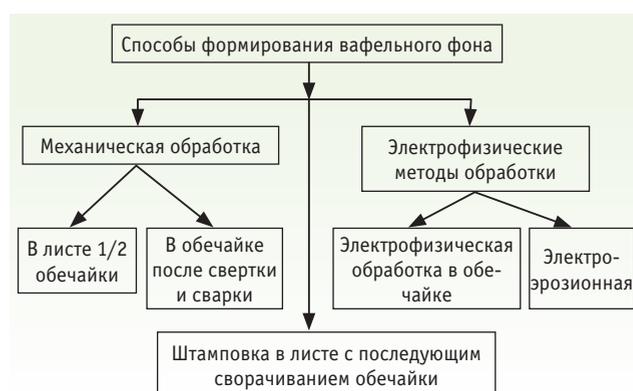


Рис. 1. Способы изготовления вафельного фона

шное. Но есть отрасли машиностроения, где копировальная обработка, хотя и в измененном виде – в виде числового программно-копировального управления, продолжает существовать и развиваться. Такой отраслью является изготовление ракетно-космической техники. Остановимся на этом подробнее.

ПРОГРАММНО-КОПИРОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ «ВАФЕЛЬНОЙ» ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Несущие корпуса изделий РКТ изготавливаются по специальной технологии с применением высокопрочных материалов на специальных фрезерных станках с ЧПУ.

В качестве примера на рис. 2а показано применение вафельной конструкции обечайки в корпусе американского перспективного космического корабля «Орион» [4], а на рис. 2б – сегмент вафельной обечайки [4].

Вафельная конструкция обечайки – это тонкостенное полотно, изготовленное из высокопрочного алюминиевого сплава с продольными, поперечными или диагональными ребрами, образующимися при формировании ячеек и выполненными с полотном за одно целое [5].

Вариант обечайки (рис. 3), характерный для изделий РКТ [6], представляет собой несколько сегментов плит конической формы толщиной 19 мм, сваренных между собой, в которых располагаются карманы размером 100×100 мм и глубиной 17 мм. При этом толщина стенки между карманами – $3 \pm 0,2$ мм, толщина дна (остаточного полотна) соответственно $2 \pm 0,2$ мм.

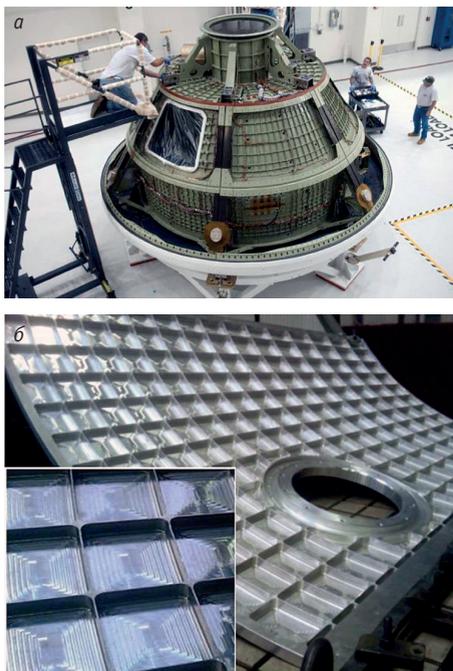


Рис. 2. Применение вафельной конструкции обечайки в корпусе американского перспективного космического корабля «Орион»: а – фрагмент сборки корабля «Орион», б – сегмент вафельной обечайки

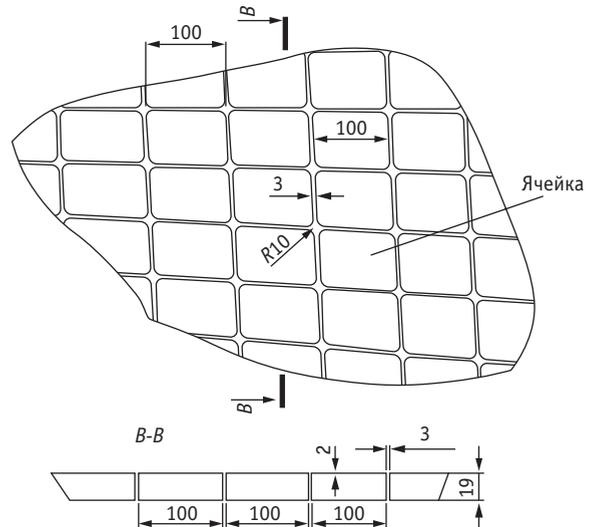


Рис. 3. Фрагмент обечайки

Шероховатость поверхностей задается на уровне Ra 3,2 мкм. Радиус скругления в углах по ребрам составляет 10 мм, радиус скругления по дну – 2 мм. Обечайка с такими точностными характеристиками может быть изготовлена механической обработкой [6].

Характерной особенностью вафельной конструкции обечайки изделий РКТ являются ее большие размеры и тонкостенность. Вследствие этого возникают существенные трудности обеспечения заданной точности и производительности изготовления обечайек (пониженная технологическая жесткость и виброустойчивость системы СПИД).

Независимо от принципиального различия в технологическом подходе к формированию корпусных изделий отечественного и зарубежного ракетостроения, повышение виброустойчивости системы СПИД достигается в большинстве случаев применением специального подвижного упора, располагаемого с противоположной стороны обрабатываемого листа обечайки или панели напротив фрезы, как это показано на рис. 4 [7].

На рис. 5 представлен общий вид станка мод. PERFORM F5X1 фирмы Dufieux Industrie SA (Франция), подготовленного для зеркального фрезерования панели азробуса [8–9].

Как уже отмечалось, при отечественном технологическом подходе обечайку сначала сваривают из листового металла, а затем обрабатывают. Если применять традиционные технологии числового программного управления, при которых обработка ведется от технологических баз заготовки по управляющей программе, составляемой по чертежу, то это требует недопустимо больших припусков на обработку и соответственно приводит к чрезмерно большой трудоемкости и себестоимости обработки. При применении программно-копировальной стратегии обработки [10, 12] эти трудности успешно преодолеваются.

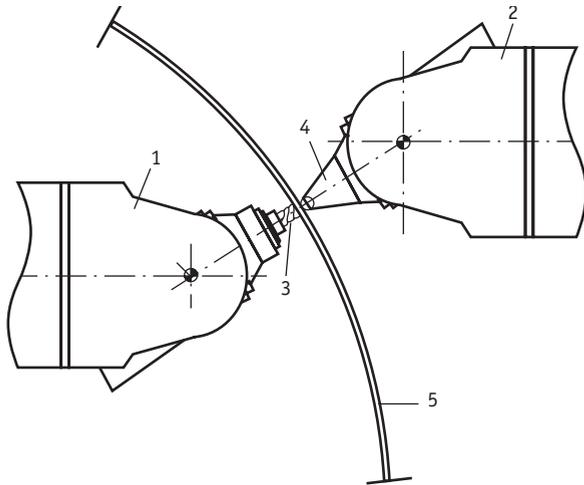


Рис. 4. Схема зеркального фрезерования панелей: 1 – шпиндельная головка, 2 – головка, несущая упор, 3 – фреза, 4 – упор, 5 – обрабатываемая панель



Рис. 5. Общий вид станка мод. PERFORM F5X1 с панелью аэробуса, подготовленной для зеркального фрезерования

С самого начала для достижения «постоянства» остаточного полотна независимо от погрешности формы внутренней поверхности при обработке вафельного фона применялась схема программно-копировальной обработки, приведенная на рис. 6а [10].

Здесь: КГ – копировальная головка, ФГ – фрезерная головка, П – привод скобы, ЧПУ – система числового программного управления, З – заготовка.

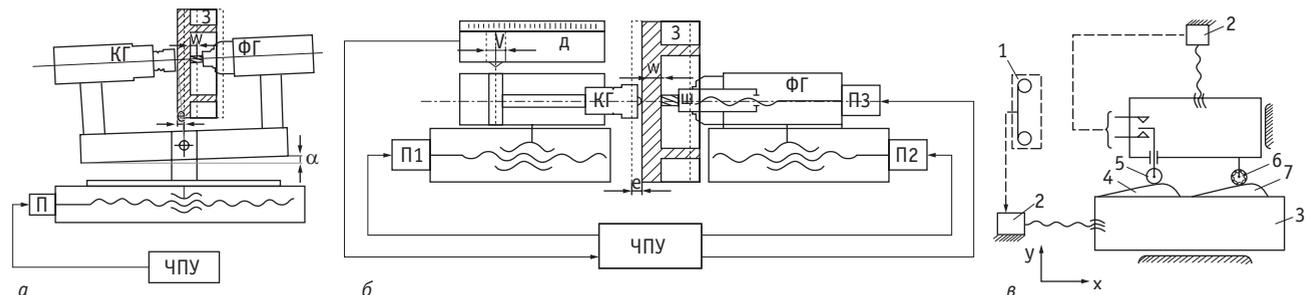


Рис. 6. Различные схемы программно-копировальных фрезерных станков: а – с механическим (силовым) копированием одной из поверхностей обрабатываемой детали, б – с электромеханическим копированием одной из поверхностей обрабатываемой детали, в – с копиром, установленным рядом с обрабатываемой деталью

В данной схеме копировальная и фрезерная головка установлены на «скобе» и «жестко» связаны между собой. Стратегия обхода кармана фрезерной головкой задается программой, копировальная головка повторяет движение фрезерной головки, выступая в роли подвижного упора с противоположной стороны. При наличии отклонения ϵ погрешности формы заготовки скоба, установленная на шарнире, поворачивается на угол α , что, в свою очередь, вызывает дополнительное смещение w фрезерной головки, которое компенсирует возникшее отклонение.

Таким образом, данную схему обработки можно отнести к «механическому (силовому) копированию». Эта схема программно-копировальной обработки вафельного фона была реализована в программно-копировальных станках серии СВО [11].

На рис. 6б представлена схема станка [12], в котором реализовано дальнейшее развитие программно-копировальной стратегии (электромеханическое копирование) обработки вафельного фона. Здесь: КГ – копировальная головка, ФГ – фрезерная головка, П1 – привод перемещения копировальной головки, Д – датчик перемещения поршня-штока пневмоцилиндра копировальной головки, П2 – привод перемещения фрезерной головки по координате, ПЗ – привод осевого перемещения фрезерной головки, Ш – шпиндель фрезерной головки, ЧПУ – система числового программного управления, З – заготовка.

В данной схеме копирования фрезерная и копировальная головки механически развязаны. Связь между ними осуществляется следящей системой (датчик Д → система ЧПУ → ПЗ – привод осевого перемещения фрезерной головки). Ведущее движение копировальной и фрезерной головки осуществляется в соответствии с управляющей программой ЧПУ.

Копировальная головка под действием встроенного в нее пневмоцилиндра прижимается с заданным усилием к внутренней стенке заготовки, выполняя роль подвижного упора. Датчик, установленный здесь же в копировальной головке, отслеживает перемещение штока пневмоцилиндра. Сигнал v с датчика Д поступает в систему ЧПУ, которая корректирует поло-

жение фрезерной головки, задавая корректирующее воздействие W приводу осевого перемещения фрезерной головки. Корректирующее воздействие равно отклонению e внутренней поверхности заготовки с противоположной стороны заготовки.

Принцип программно-копировальной обработки известен давно [13]. Он был применен в начальной стадии освоения станков с ЧПУ (60-е годы прошлого столетия) для повышения надежности обработки деталей сложной формы на станках с управляющей программой на магнитной ленте (рис. 6в). Здесь: 1 – система ЧПУ с управляющей программой на магнитной ленте, 2 – приводы по координате X и Y , 3 – подвижный стол станка, 4 – копир, 5 – копировальный ролик, 6 – фреза, 7 – обрабатываемая деталь.

Характерное отличие программно-копировального станка по схеме рис. 6а–б от станка по рис. 6в заключается в том, что в них в качестве копира используется одна из поверхностей обрабатываемой детали. Сочетание числового программного управления с копированием одной из поверхностей обрабатываемой детали (заготовки) позволило существенно повысить точность и эффективность (производительность) обработки фрезерованием деталей – обечаек с вафельным фоном.

На рис. 7 показан общий вид специального фрезерного станка с ЧПУ мод. СВО 25, созданного во ФГУП «НПО «Техномаш» [14]. Станок предназначен для обработки тонкостенных обечаек (с вертикальной осью вращения) диаметром от 2500 до 5000 мм и высотой 2200 мм. На станке проводится высокопроизводительная обработка вафельного фона на внутренних и наружных поверхностях тонкостенных цилиндрических деталей из алюминиевых и титановых сплавов.

Стратегия обработки вафельного фона в соответствии с рис. 6б была также реализована в специальном фрезерном станке портальной компоновки для обработки вафельного фона [15].

Станки портальной компоновки моделей ПФ262Ф4В-2ВФУ и ПФ522Ф4В-2ВФУ, которые эксплуатируются в настоящее время на Красноярском машиностроительном заводе, позволяют фрезеровать вафельный фон на цилиндрических обечайках диаметром до 3000 мм и днищах диаметром до 2500 мм с копированием остаточной толщины полотна от задней стенки листа с точностью $\pm 0,1$ мм [16].

ВЫВОДЫ

1. Числовое программное управление технологическим оборудованием, в частности многокоординатными металлорежущими станками с ЧПУ, является в настоящее время одним из основных средств автоматизации машиностроительного производства, включая ракетно-космическую отрасль.



Рис. 7. Специальный фрезерный станок с ЧПУ мод. СВО 25

2. В числовом программном управлении станками сформировалось новое направление: числовое программно-копировальное управление (ЧПКУ), позволяющее существенно повысить производительность и точность обработки вафельного фона обечаек.
3. Необходимо дальнейшее развитие научно-исследовательских работ, направленных на создание эффективных структур станков, оснащенных системами числового программно-копировального управления, а также на выявление предельных технологических и точностных возможностей обработки вафельного фона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кац И. Л. К истории создания конструкции, метода расчета и примеров реализации вафельных обечаек баков ракет // [сайт]. [Электронный ресурс]. URL: <https://listak.livejournal.com/2484.html> (дата обращения: 05.05.2018).
2. Ворожейкин В. А. Сквозная технология изготовления несущих корпусов изделий ракетно-космической техники // [сайт]. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/skvoznaya-tehnologiya-izgotovleniya-nesuschih-korpusov-izdeliy-raketno-kosmicheskoy-tehniki> (дата обращения: 05.05.2018).
3. Батрутдинов Р. Г., Сысоев С. К. Технология изготовления вафельного фона в обечайках летательных аппаратов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2011. Т. 1. № 7. С. 7–8 URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologiya-izgotovleniya-vafelnogo-fona-v-obechaykah-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 07.05.2018).
4. Зайцев А. М. Разработка направлений повышения эффективности технологической подготовки производства деталей и узлов ракетно-космической техники: Дис. ... канд. техн. наук. — М., 2016. 166 с.

5. ГОСТ 22350-91. Корпус ракеты на жидком топливе. Термины и определения. Введ. 15.05.91 — М.: Госстандарт Союза ССР, Изд-во стандартов.
6. **Зайцев А. М., Шачнев С. Ю.** Определение технологичности обечайки с вафельной конструкцией // РИТМ машиностроение. 2018. № 4. С. 42–43.
7. **Ranczuk R., & Foissac P.-Y.** (2010). Process and device for machining of panels. US Patent 7, 682, 112 B2.
8. Технология зеркального фрезерования. <http://www.aviascons.ru/> (дата обращения: 30.07.2018).
9. METHOD AND DEVICE FOR MACHINING PANELS. EP 1 689 558 B1. Оpub. 06.08.2008 Bulletin 2008/32. <https://patentimages.storage.googleapis.com/37/5d/a2/36cc0d9d783a6e/EP1689558B1.pdf> (дата обращения: 30.07.2018).
10. **Тюлевин С. В., Котов А. Н., Коротков А. Н., Ковалев А. М.** Станок горизонтальный фрезерный многошпиндельный / патент RU 2465104, МПК В23С3/04, публикация патента: 27.10.2012, подача заявки: 2011-10-26. <http://www.freepatent.ru/patents/2465104> (дата обращения: 30.07.2018).
11. НПО ТЕХНОМАШ URL: <http://www.tmnpo.ru/node/293> (дата обращения: 07.05.2018).
12. **Котов А. Н., Чуйкин С. А., Милехин Е. С., Макаров Ю. Н., Коротков А. Н., Володина С. А.** Металлообрабатывающий станок / патент RU 2397049 МПК В23С3/00, публикация патента: 20.08.2010, подача заявки: 29.01.2009. <https://findpatent.ru/patent/239/2397049.html> (дата обращения: 07.08.2018).
13. **Кисляков Е. И., Кобринский А. Е., Колисков А. Ш., Левковский Е. И., Попов В. Е., Шаскольский Б. В., Алексеев В. Н.** Многокоординатная система программного управления // А.С. СССР № 204098. Опубликовано 09.10.1967 г. с приоритетом от 13.12.1965 г. МПК В23с G05g.
14. Станок специальный фрезерный с ЧПУ модели СВО 25. ФГУП «НПО. «Техномаш». <http://www.tmnpo.ru/node/296> (дата обращения: 07.08.2018).
15. **Писаренко А. А., Ковалев А. М.** Механообрабатывающий центр модели «СВО-3500» для формирования вафельного фона на крупногабаритных корпусных конструкциях изделий ракетно-космической техники // Вестник «ФГУП «НПО «Техномаш». 2018. № 6. С. 86–90.
16. <http://www.krasm.com/production/production.aspx?itemId=99>

ПАСЬ Олег Викторович –

начальник отдела механообработки и автоматизации ФГУП «НПО «Техномаш»

СЕРКОВ Николай Алексеевич –

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



СПРАВОЧНИК ПО ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ

Редактор оригинального издания Катаяма С.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2015. — 704 с. + 32 с. цв. вкл.
ISBN 978-5-94836-420-9

Цена 2800 руб.

Среди технологий, предназначенных для обработки материалов лазером, особо выделяется лазерная сварка, включившая в себя последние достижения в разработке лазерных устройств. Для ее правильного применения и использования требуется ясное понимание физических механизмов и явлений, сопровождающих лазерную сварку. Поэтому в справочнике рассмотрены разнообразные лазерные или гибридные процессы сварки, сварка различных видов материалов, а также приведено описание металлургических, химических и механических аспектов сварки.

Справочник разделен на четыре части. В разделе I рассмотрены базовые принципы физических процессов сварки и раскрыты причины появления дефектов. Раздел II посвящен конкретным технологиям, в нем рассмотрена лазерная сварка различных материалов. В разделе III представлены методы численного моделирования процесса лазерной сварки, описана процедура калибровки инструментов в роботизированной сварке. В разделе IV рассмотрены конкретные значения рабочих параметров и условий сварки в промышленных применениях.

Книга адресована студентам, инженерам, ученым, преподавателям и станет важной и полезной для всех, кто интересуется лазерной сваркой, — от новичков до специалистов и экспертов.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru

YASKAWA

100-ЛЕТНИЙ ОПЫТ РАБОТЫ
В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЕМ



- Преобразователи частоты от 0,4 до 12 000 кВт
- Шпиндельные двигатели
- Комплексные сервоприводы от 0,003 до 75 кВт
- Линейные сервосистемы
- Контроллеры управления движения
- Программируемые логические контроллеры
- Роботы

КОСПА

КОМПОНЕНТЫ
И СИСТЕМЫ
ПРОМЫШЛЕННОЙ
АВТОМАТИЗАЦИИ



+7 (495) 660-28-22; www.cospa.ru

ООО «КОСПА» ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР И СЕРВИСНЫЙ ЦЕНТР YASKAWA