

## МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.914.02

DOI 10.52928/2070-1616-2023-47-1-2-10

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПЕЧАТИ МОДЕЛЕЙ ИЗ ПЛАСТИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК, канд. техн. наук С.А. ПОРТЯНКО, Е.М. ТИХОН  
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Рассмотрено формирование конструкций модульных режущих инструментов с использованием унифицированного режущего блока. Приведены математические зависимости для определения геометрических параметров стружко- и потокоотводящих канавок инструментов, результаты компьютерного и физического моделирования работы торцовых фрез и расточных головок в жидкосыпучих средах. Рассмотрены преимущества технологий проектирования и изготовления режущих инструментов с использованием 3D-печати моделей по сравнению с традиционными технологиями.*

**Ключевые слова:** 3D-печать, пластиковый материал, технология проектирования, блочно-модульный режущий инструмент, торцовая фреза, технология изготовления.

**Введение.** При проектировании сборных режущих инструментов ведущими инструментальными фирмами используется модульный принцип построения их конструкций, когда такие узлы и детали, как картриджи, механизмы закрепления и балансирования, корпуса и др., выполняются в виде соединяемых модулей [1; 2]. Анализ модульных инструментальных систем показывает [3–5], что фирмы для сохранения конкурентных преимуществ на рынке предлагают оригинальные конструкции модулей, что затрудняет их взаимозаменяемость в инструментах разных производителей, а иногда и в разных типах режущих инструментов одного и того же производителя.

При разработке модульных инструментальных систем необходимо учитывать существующую тенденцию к увеличению частоты вращения режущих инструментов, что приводит к снижению мощности привода станка и накладывает ограничения на габаритные размеры сборных режущих инструментов<sup>1</sup>.

В настоящее время отсутствует единая классификация модульных конструкций режущих инструментов, которая могла бы служить основой для разработки технологии их проектирования. В результате каждая фирма использует свою систему проектирования, основанную на стандартах ISO, создания эскизных, технических и рабочих проектов, компьютерного проектирования, изготовления экспериментальных и опытных образцов, что усложняет и удорожает конструкторскую и технологическую подготовку производства конкретного режущего инструмента. При этом не в полной мере используются возможности технологии проектирования с привлечением моделей, макетов и темплетов, в частности, моделей, получаемых 3D-печатью<sup>2</sup>. Имеются сведения<sup>3</sup> об аддитивном производстве режущих инструментов фирмы «Sandvik Coromant», которое обеспечивает изготовление корпусов из титановых и дюралевых сплавов и картриджей из пластиковых материалов, облегчающих вес режущих инструментов, сокращение времени и затрат на производство.

**Основная часть.** Предложена инструментальная система [6], включающая блоки и модули, из которых формируются сборные режущие инструменты различных типов.

Формирование сборных режущих инструментов, например, торцовых фрез, предусматривает выбор пластины режущей (ПР) исходя из формы обрабатываемой поверхности и конструктивного элемента детали, свойств материалов, режимов обработки и т.д. (рисунок 1).

Пластина режущая устанавливается в блок резцовый (БР), отличительной особенностью которого является технологичность присоединительных (базирующих) поверхностей державки – выполняются открытыми, для установки ПР и зажимного элемента в виде клиноприхвата. Блок резцовый, в свою очередь, устанавливается

<sup>1</sup> Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка [Электронный ресурс] // САПР и графика. – 2002. – № 11. URL: <http://www.sapr.ru/articl/8151> (дата обращения: 19.09.2021).

<sup>2</sup> Аддитивное производство придает проектированию новый смысл [Электронный ресурс]. URL: [https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/mww/pages/inn\\_amcenter.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/mww/pages/inn_amcenter.aspx) (дата обращения: 21.01.2021).

<sup>3</sup> Фреза CoroMill® 390 со сниженной массой, изготавливаемая по технологии аддитивного производства [Электронный ресурс]. URL: [https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coromill\\_390/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coromill_390/pages/default.aspx) (дата обращения: 21.01.2021).

в модуль корпусной (МК) по цилиндрическим (базирующим) поверхностям и зажимается или прихватным, или одно-, двухклиновым механизмами. Модуль корпусной может быть снабжен модулем балансировочным (МБ), а сам МК с помощью модуля присоединительного (МП) в виде державки, оправки, хвостовика и т.п. устанавливается в резцедержателе, шпинделе, палете, инструментальном магазине и т.п. станка.

Преимущество предлагаемой системы сборных режущих инструментов по сравнению с аналогами состоит в использовании унифицированного БР, который может быть установлен в различные типы режущих инструментов (токарные, осевые, фрезерные, расточные и т.д.), что обеспечивает сокращение финансовых и временных затрат как на этапе изготовления, так и на этапе эксплуатации режущего инструмента.

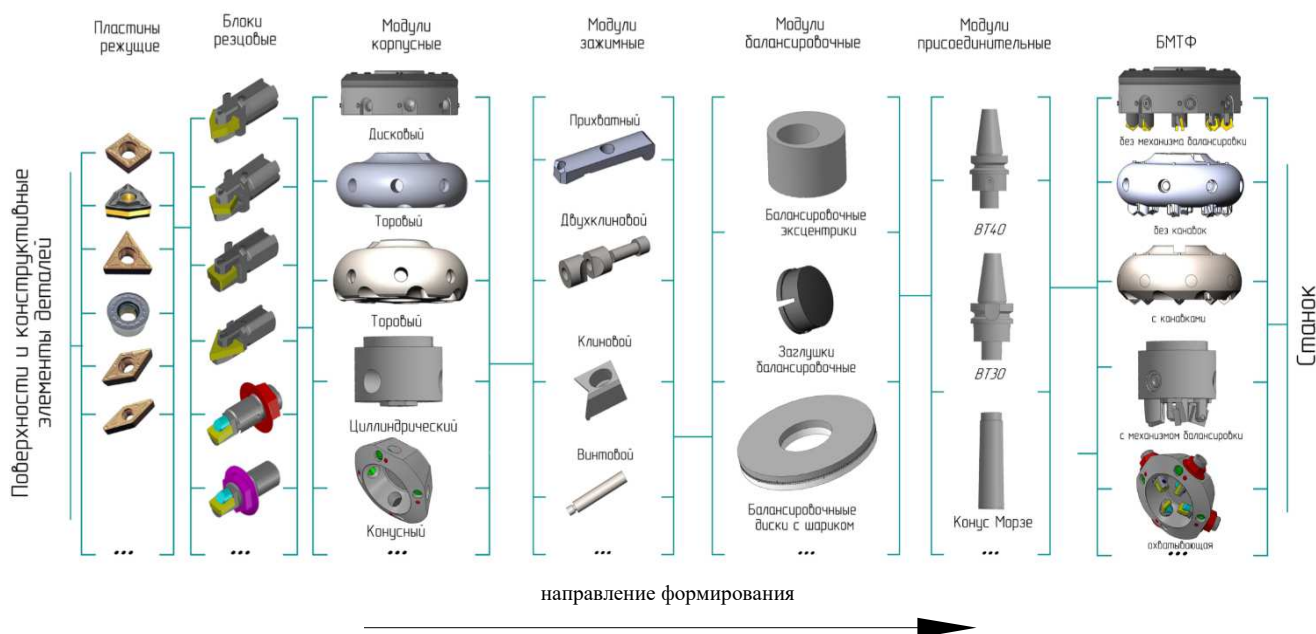
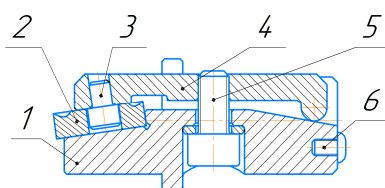


Рисунок 1. – Схема формирования сборных торцовых фрез

Блок резовый <sup>4, 5</sup> состоит из державки 1 с открытыми пазами для установки ПР 2, штифта 3, прихвата 4. Зажим ПР 2 прихватом 4 осуществляется с помощью винта 5. В торцевой части БР устанавливается регулировочный винт 6 (рисунок 2).



1 – державка; 2 – пластина режущая; 3 – штифт; 4 – прихват;  
5 – винт; 6 – регулировочный винт

Рисунок 2. – Эскиз блока резового

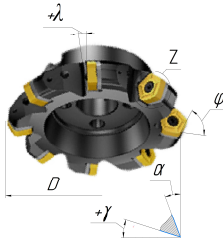
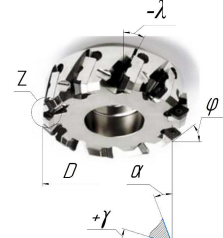
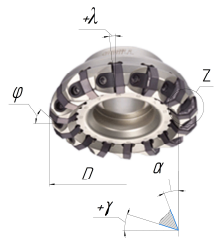
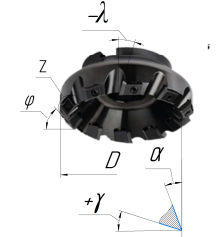
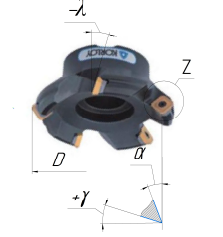
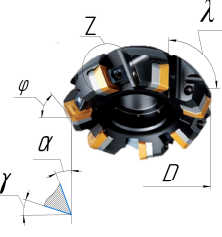
Как показывает анализ сборных торцовых фрез зарубежных фирм, формы модулей корпусных сборных торцовых фрез в преобладающем большинстве выполняются цилиндрическими или коническими и дают возможность сочетать различные комбинации: диск и конус, цилиндр и два конуса и т.д., что позволяет создавать многообразие модулей корпусных и режущего инструмента (таблица 1).

Одним из важных конструктивных элементов модуля корпусного сборных торцовых фрез являются стружкопотокоотводящие канавки, параметры формы которых определяются диаметром  $D$ , числом зубьев  $z$ , передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  углами, углом в плане  $\phi$  и углом наклона режущей кромки  $\lambda$ .

<sup>4</sup> ВУ 19260 С1. 2012.

<sup>5</sup> ВУ 19226 С1. 2012.

Таблица 1. – Конструктивные формы сборных торцовых фрез

		
Сборная торцовая фреза Sandvik Coromant CoroMill 360–160Q40-Z8E	Сборная торцовая фреза Seco Quattro mill-Al R220.53-0100-09-10A	Сборная торцовая фреза Iscar F45WG-16MILL D080-10-27-FX-R08
		
Сборная торцовая фреза Widia M68 SE1203	Сборная торцовая фреза Korloy FMAC (M) 3000-A	Сборная торцовая фреза Pramet F60SB22X

Для проведения исследований в качестве режущих инструментов-аналогов были выбраны торцовые фрезы «ВНИИИнструмента», фирмы «Seiko», разработанные фрезы из металлических материалов диаметром 125 мм и 63 мм и предлагаемые усовершенствованные конструкции фрез из пластиковых материалов (таблица 2) [7].

Таблица 2. – Конструкции экспериментальных образцов сборных торцовых фрез

Наименование	Внешний вид сборной торцовой фрезы	Наименование	Внешний вид сборной торцовой фрезы
1. Фреза «ВНИИИнструмента»		4. Фреза «Seiko»	
2. Разработанная фреза Ø125 мм		5. Разработанная фреза Ø63 мм	
3. Разработанная фреза из пластикового материала		6. Разработанная торцовая фреза	

В усовершенствованных конструкциях рекомендуется использовать ранее полученные результаты математического моделирования формирования поверхностей корпусов и стружкопотокоотводящих канавок [7]. В частности, поверхности корпусов выполняются в виде сочетания или цилиндрических и конических поверхностей, или сопрягаемых двух торцовых периферийных и конической торцовой поверхностей. Форма и направление стружкопотокоотводящих канавок выбираются исходя из полученных математических зависимостей [8]:

$$\eta_{ci} = \arctg \left[ \cos \gamma_i \cdot \operatorname{tg}(\nu \pm \arccos \left[ \frac{N \cdot \cos \nu \cdot \cos \theta}{P_z \cdot \cos(\theta + \gamma_i)} \right]) \right], \quad (1)$$

$$\partial y = \frac{\mu \cdot \partial W \cdot S}{F}, \quad (2)$$

где  $\nu = \arctg\left(\frac{P_y}{P_z}\right)$  – вспомогательный угол, град;

$\theta = \arctg\left(\frac{P_x}{N_{yz}}\right) = \arctg\left(\frac{P_x \cdot \cos \nu}{P_z \cdot \cos(\lambda_i - \nu)}\right)$  – вспомогательный угол, град;

$\delta u$  – изменение координаты препятствия по нормали к линейной скорости потока смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС), м;

$\mu$  – коэффициент динамической вязкости среды, Па·с;

$\partial W$  – изменение скорости потока СОТС, м/с;

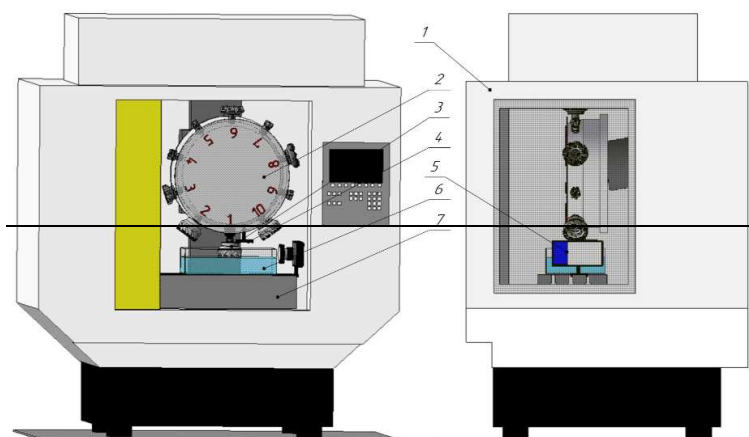
$S$  – площадь препятствия, м<sup>2</sup>;

$F$  – сила взаимодействия СОТС и препятствия, Н.

Компьютерное моделирование с использованием программного обеспечения Solid Works Flow Simulation и Cinema 4D подтверждают полученные математические зависимости и позволяют выбирать обтекаемые формы корпусов и ориентированные направления стружкопотокоотводящих канавок исходя из конкретных условий обработки.

Были проведены экспериментальные исследования гидро- и аэродинамических свойств образцов сборных торцовых фрез, изготовленных с использованием FDM технологии 3D-печати из пластикового материала марки PLA, а также из металлических материалов.

Экспериментальная установка монтируется на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ Robodrilл  $\alpha$ -D21LiB 1 и включает магазин станка 2, сборные торцовые фрезы 3, камеру Huawei P20 Pro 4, камеру Huawei P20 Pro 4, зеркальный фотоаппарат Canon 1200D 5, емкость с жидкой или сыпучей средой 6 (рисунок 3).



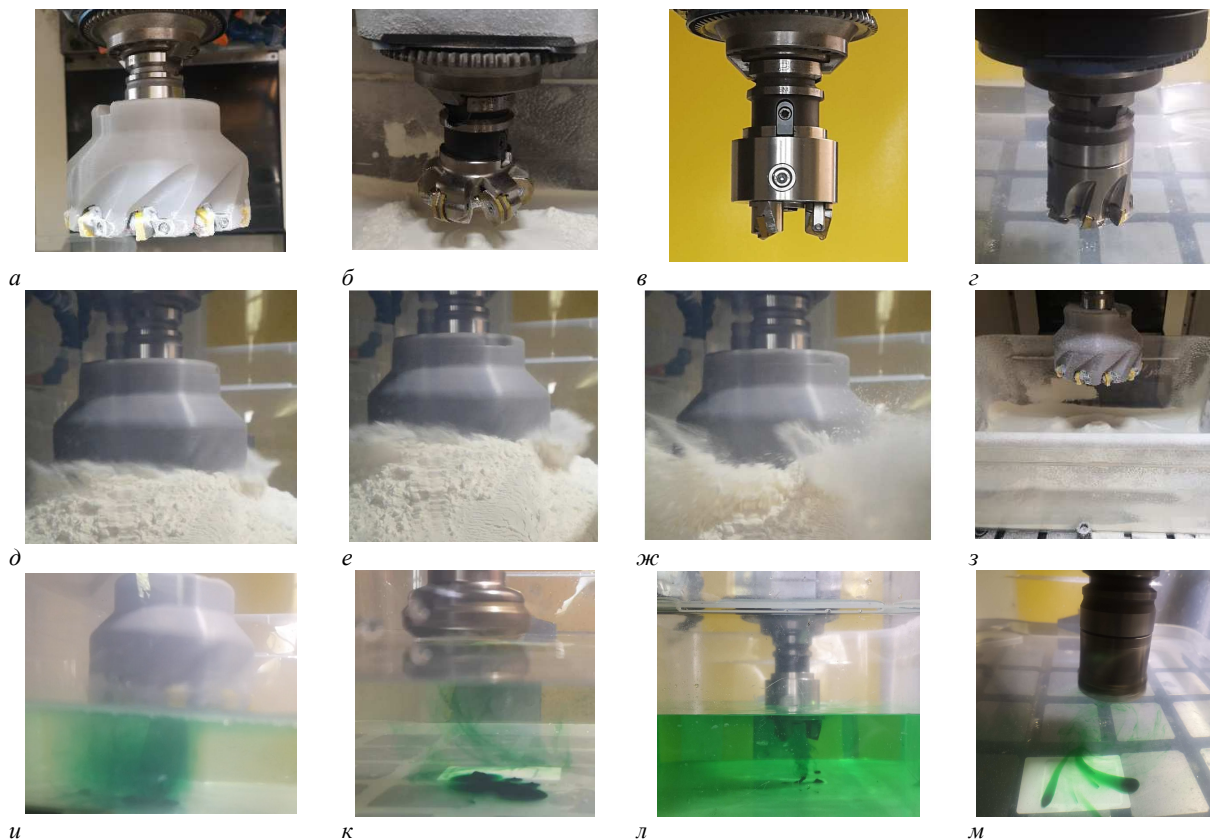
1 – вертикально-обрабатывающий центр с ЧПУ Robodrilл  $\alpha$ -D21LiB; 2 – магазин станка;  
3 – сборная торцовая фреза; 4 – камера Huawei P20 Pro; 5 – зеркальный фотоаппарат Canon 1200D;  
6 – емкость с жидкой или сыпучей средой; 7 – стол станка

Рисунок 3. – Схема установки для исследования сборных торцовых фрез

Фрагменты физического моделирования работы сборных торцовых фрез в жидкосыпучих средах представлены на рисунке 4, а-м.

Как видно из представленных фрагментов, обеспечивается обтекание конструктивных элементов сборных торцовых фрез (ПР, БР, стружкопотокоотводящих канавок) из пластикового материала марки PLA сыпучей (область белого цвета, рисунок 4, д-з) и жидкой (рисунок 4, и-м) средами. Отчетливо видно, что обтекание осуществляется с последующим удалением сыпучей среды ориентированно в строго заданном направлении из зоны соприкосновения ПР со средой наружу (рисунок 4, д), также наблюдается движение частиц сыпучей среды по стружкопотокоотводящим канавкам (рисунок 4, е, ж), что подтверждает ранее полученные рекомендации по значениям угла наклона режущей кромки. На рисунке 4, з показано распределение частиц сыпучей среды после завершения эксперимента. Фрагменты моделирования (рисунок 4, и) подтверждают взаимосвязь с компьютерным моделированием работы сборных торцовых фрез в жидкой среде по программе Cinema 4D: окрашивание жидкой среды красителем однородно и распределено в направлении удаления от оси вращения к периферии сборной торцовой фрезы. На рисунках 4, к, м наблюдаются затягивание красителя и образование воронки в области оси вращения сборных торцовых фрез из металлических материалов фирм «Seiko» (рисунок 4, б) и «Isca» (рисунок 4, г), т.к. угол наклона режущих кромок имеет отрицательные значения, а геометрическая форма МК является сложной, что нежелательно из-за попадания стружки в зону резания. Сборная торцовая фреза на рисунке 4, в имеет цилиндрическую форму с равномерно установленными по окружности БР, что

в процессе работы (рисунок 4, л) приводит к перераспределению красителя равномерно без образования воронки в области оси вращения сборной торцевой фрезы.



*а* – макет сборной торцевой фрезы из пластикового материала; *б* – сборная торцевая фреза «Seiko»;  
*в* – разработанная сборная торцевая фреза из металлического материала; *г* – сборная торцевая фреза «Iscag»;  
*д-ж* – распределение потоков в сыпучей среде; *и-м* – распределение потоков в жидкой среде

**Рисунок 4. – Фрагменты моделирования работы сборных торцевых фрез в жидкосыпучих средах**

На основании проведенных исследований предлагается технология проектирования сборных торцевых фрез, которая отличается от известных использованием моделей, получаемых 3D-печатью из пластиковых материалов. Она включает следующие этапы: подготовка к 3D-печати; 3D-печать деталей; постобработка.

В свою очередь процесс подготовки к 3D-печати содержит следующие этапы настройки программного продукта в Simplify 3D:

- 1) присваивается имя процесса, степень заполнения объекта и обновляется профиль настроек; 2) назначается диаметр сопла принтера, коэффициент величины экструзии, а также ее ширина; задается величина подъема сопла над печатающимся объектом; 3) в группе настроек «слой» задается высота слоя печати (как правило, величина, равная 1/2 диаметра сопла), количество внешних сплошных слоев и внешних параметров; выбирается привязка стартовых точек начала печати к вымышленной точке с координатами  $X$  и  $Y$ ; 4) выбирается тип (форма) внутреннего заполнения модели (линии, треугольники, сетка, волны, сотовое заполнение), а также настройка материала поддержки, который помогает напечатать нависающие элементы модели; 5) настраивается температура печати, стола; 6) настраивается скорость и система охлаждения модели при печати; 7) выбираются расширенные настройки высоты начала и окончания процесса, настройки поведения слайсера при обработке моделей, содержащих ошибки, настройки печати тонких стенок.

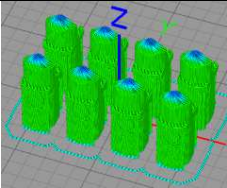
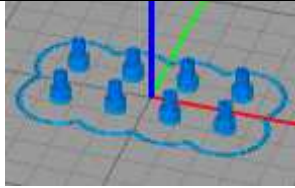
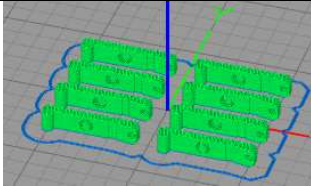
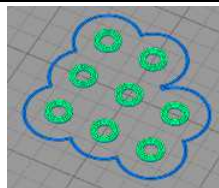
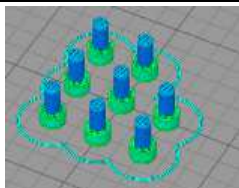
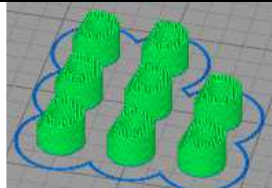
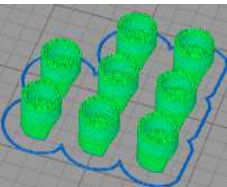
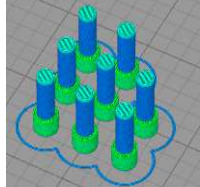
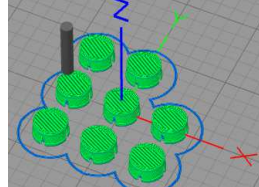
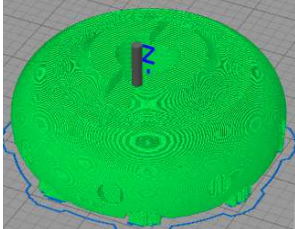
На этапе 3D-печати деталей осуществляется следующая последовательность переходов:

- 1) передать 3D-модель прототипа в формате STL в программное обеспечение 3D-принтера; 2) расположить модель в виртуальной рабочей зоне; 3) сгенерировать элементы вспомогательных конструкций (из специального материала поддержки); 4) произвести расчет путей перемещения печатной головки; 5) произвести расчет времени выращивания прототипа; 6) разогреть стол до температуры 60–120 °С; 7) печатать изделие, выдерживая температуру экструдера 210–285 °С, скорость перемещения сопла – 40 мм/с, согласно исходной 3D-модели; 8) убрать вспомогательные конструкции.

Основные характеристики 3D-печати деталей сборной торцевой фрезы представлены в таблице 3.



Таблица 3. – Основные характеристики 3D-печати деталей сборной торцовой фрезы

Деталь	Характеристики 3D-печати	Деталь	Характеристики 3D-печати	Деталь	Характеристики 3D-печати
Державка	 $t_{печати} = 85$ мин; $l_{нити} = 5108$ мм; $m = 15,4$ г	Штифт	 $t_{печати} = 4$ мин; $l_{нити} = 65,9$ мм; $m = 0,2$ г	Прихват	 $t_{печати} = 18$ мин; $l_{нити} = 1052,9$ мм; $m = 3,7$ г
Шайба	 $t_{печати} = 1$ мин; $l_{нити} = 70$ мм; $m = 0,21$ г	Винт БР	 $t_{печати} = 11$ мин; $l_{нити} = 370,8$ мм; $m = 1,1$ г	Сухарь резьбовой	 $t_{печати} = 21$ мин; $l_{нити} = 1511$ мм; $m = 4,6$ г
Сухарь упорный	 $t_{печати} = 17$ мин; $l_{нити} = 1052$ мм; $m = 4$ г	Винт МЗ	 $t_{печати} = 24$ мин; $l_{нити} = 1321$ мм; $m = 4$ г	Балансировочная заглушка	 $t_{печати} = 14$ мин; $l_{нити} = 788$ мм; $m = 2,4$ г
МК	 $t_{печати} = 958$ мин; $l_{нити} = 138377$ мм; $m = 417$ г				

Как следует из таблицы 3, основное время печати всех элементов сборной торцовой фрезы составляет  $t_{печати} = 19$  ч 22 мин (1153 мин); длина пластиковой нити  $l_{нити} = 149\,716,4$  мм (149,7 м); количество материала печати  $m = 452,61$  г (0,45261 кг). Основные затраты на печать пластиковых деталей сборных торцевых фрез при стоимости 1 г материала примерно 10 коп. составляет порядка 45,3 бел. руб.

Для сравнения рассмотрен технологический маршрут изготовления сборной торцовой фрезы из металла с использованием механической обработки на станках с ЧПУ. Технологический маршрут изготовления сборных торцевых фрез может быть составлен на изделие в целом и на его конструктивные элементы (сборочные единицы), которые затем собираются традиционными технологическими методами. Например, технологический маршрут изготовления модуля корпусного (см. таблицу 2, п. 6) включает следующие основные операции.

#### 005 Заготовительная.

1. Отрезать заготовку с заданными размерами диаметра и длины или штамповать заготовку с припусками на обработку.

#### 010 Токарная с ЧПУ.

1. Точить торец начисто\*.
2. Центровать\*.
3. Сверлить посадочные отверстия заданного диаметра\*.
4. Рассверлить посадочные отверстия заданных диаметра и длины\*.
5. Расточить посадочные отверстия до окончательных размеров диаметра и длины.

#### 015 Токарная с ЧПУ.

1. Сверлить 6 отверстий на торце для установки БР\*.
2. Сверлить 6 отверстий на цилиндрической поверхности для установки МЗ\*.

020 Токарная с ЧПУ.

1. Точить торец с другой стороны МК\*.
2. Расточить отверстия до требуемых размеров\*.
3. Фрезеровать шпоночный паз под торцовую шпонку\*.

025 Фрезерная с ЧПУ.

1. Расфрезеровать 6 отверстий для установки БР\*.
2. Фрезеровать 6 пазов для отвода стружки\*.

030 Токарная с ЧПУ.

1. Точить тороидальную периферийную и сферическую торцовую поверхности\*.

\* Размеры уточнить в зависимости от конструкции сборной торцовой фрезы.

Технологическая схема сборки конструктивных элементов торцовой фрезы включает следующие операции (рисунок 5):

005 Комплектовочная.

010 Сборочная «Блока резцового».

015 Сборочная «Модуля зажимного».

020 Сборочная «Торцовой фрезы».

025 Сборочная «Модуля балансировочного».

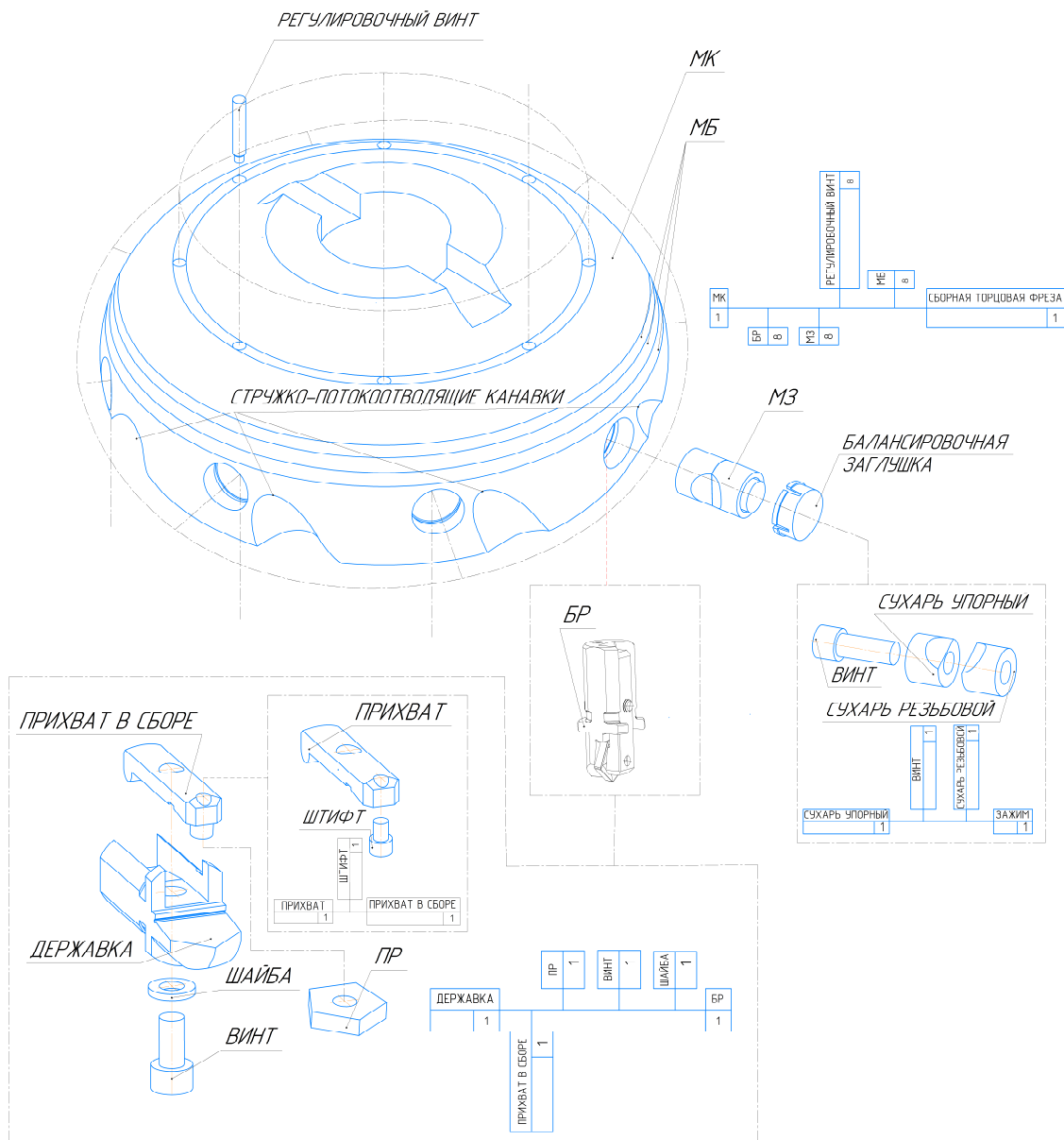


Рисунок 5. – Технологическая схема сборки торцовых фрез

Предлагается следующая последовательность сборки торцовых фрез:

1) процесс сборки БР начинается со сборки прихвата и штифта – в отверстии прихвата позиционируется штифт с предварительно установленной ПР. Затем полученная сборочная единица устанавливается в пазу державки по посадке и закрепляется с помощью винта с шайбой, обеспечивая прижим основания и боковой поверхности ПР к установочной и направляющей поверхностям державки;

2) сборка торцовых фрез начинается со вставки МЗ (сборочная единица: сухарь упорный и резьбовой с винтом) в соответствующие отверстия МК, с предварительно поджатым винтом. Затем последовательно вставляются БР в базисные отверстия МК с ориентацией ПР на заданный угол наклона режущей кромки, осуществляется настройка радиального и торцового биения БР с помощью регулировочных винтов и поворота БР вокруг собственной оси и окончательно закрепляется БР модулем зажимным (МЗ);

3) при необходимости устанавливается МБ в виде балансировочных заглушек, эксцентриков или дисков с шариком, производится его регулировка.

Примерная оценка стоимости работы по механической обработке корпуса и других деталей, а также сборки торцовой фрезы в единичном и мелкосерийном производствах показывает, что финансовые затраты составят порядка 660 руб.

Учитывая, что проведение НИОК(Т)Р требует изготовления экспериментальных и опытных образцов в количестве не менее 2–3 штук каждого, то затраты составят порядка 1320–1980 руб., что примерно в 15 раз больше, чем при использовании образцов сборных торцовых фрез из пластиковых материалов.

#### Заключение.

1) предложены конструкции сборных торцовых фрез с тороидальными периферийными и конусообразными или сферическими торцовыми поверхностями МК, стружкопотокоотводящими канавками на торце и периферии под углом наклона 25–35°, что обеспечивает аэрогидродинамическую обтекаемость сборных торцовых фрез и ориентированный отвод потоков СОТС и стружки из зоны резания, а также МБ, исключая биение сборных торцовых фрез при высокой частоте их вращения;

2) разработана технология проектирования сборных торцовых фрез с использованием моделей из пластиковых материалов, получаемых 3D-печатью, что обеспечивает сокращение времени и финансовых затрат по сравнению с проектированием по другим стандартным методикам;

3) разработаны технологические процессы изготовления сборных торцовых фрез из металлических материалов для единичного и мелкосерийного типов производств, в т.ч. технологические схемы сборки торцовых фрез.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Modular systems – a new standard. Machinery and production engineering. – 1987. – № 3725. – P. 31–35.
2. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 240 с.
3. Попок Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Ч. 1. Термины и система обозначения режущих пластин, державок и модулей // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2012. – № 3. – С. 71–81.
4. Попок, Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Ч. 2. Механизмы крепления модулей // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2012. – № 11. – С. 11–19.
5. Попок Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Ч. 3. Инструментальные системы для многоцелевой обработки // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2013. – № 3. – С. 19–37.
6. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий, П.А. Витязь, М.Л. Хейфец и др.; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 316 с. – (Технологические комплексы: проектирование, производство, применение).
7. Попок Н.Н., Портянко С.А. Подготовка производства блочно-модульных фрез с использованием 3D-прототипирования // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. – 2021. – № 1 (40). – С. 94–106.
8. Моделирование и регулирование стружкообразования и потоков смазочно-охлаждающей технологической среды при фрезеровании / Н.Н. Попок, С.А. Портянко, Е.М. Тихон и др. // Вестн. БарГУ. Сер. Техн. науки. – 2021. – № 1 (9). – С. 27–36.

#### REFERENCES

1. *Modular systems – a new standard. Machinery and production engineering.* – 1987. – № 3725. – P. 31–35.
2. Vasil'ev, A.L. (1989). *Modul'nyi printsip formirovaniya tekhniki.* M.: Izd-vo standartov. (In Russ.)
3. Popok, N.N. (2012). Analiz tendentsii proektirovaniya instrumental'nykh sistem. Chast' 1. Terminy i sistema oboznacheniya rezhu-shchikh plastin, derzhavok i modulei [Analysis of trends in the design of instrumental systems. Part 1. Terms and designation system for cutting inserts, holders and modules]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universitetata. Seriya V, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Science]*, (3), 71–81. (In Russ., abstr. in Engl.)
4. Popok, N.N. (2012). Analiz tendentsii proektirovaniya instrumental'nykh sistem. Chast' 2. Mekhanizmy krepneniya modulei. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universitetata. Seriya V, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Science]*, (11), 11–19. (In Russ., abstr. in Engl.)



5. Popok, N.N. (2013). Analiz tendentsii proektirovaniya instrumental'nykh sistem. Chast' 3. Instrumental'nye sistemy dlya mnogotselevoi obrabotki [Analysis of trends in the design of instrumental systems. Part 3. Tool systems for multi-purpose processing]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universitetata. Seriya V, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Science]*, (3), 19–37. (In Russ., abstr. in Engl.)
6. Rusetskii, A.M., Vityaz', P.A., Kheifets, M.L., Danilov, V.A., Kiselev, R.A., Krut'ko, V.S. ... Klimenko, S.A. (2014). *Konstruirovaniye i osnashcheniye tekhnologicheskikh kompleksov*. Minsk: Belarus. Navuka. (In Russ.)
7. Popok, N.N. & Portyanko, S.A. Podgotovka proizvodstva blochno-modul'nykh frez s ispol'zovaniem 3D-prototipirovaniya [Preparing the production of block-modular cutters using 3D prototyping]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universitetata [Bulletin of the Vitebsk State Technological University]*, 1 (40), 94–106. (In Russ., abstr. in Engl.)
8. Popok, N.N. Portyanko, S.A. Tikhon, E.M. & Anisimov V.S. (2021). Modelirovaniye i regulirovaniye struzhkoobrazovaniya i potokov smazочно-okhlazhdayushchei tekhnologicheskoi sredy pri frezerovanii [Modeling and regulation of chip formation and flows of the lubricating-cooling technological medium during milling]. *Vestnik BarGU. Seriya Tekhnicheskie nauki [Bulletin of the BarSU. Series Technical sciences]*, 1 (9), 27–36. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 16.12.2022

### TECHNOLOGY FOR DESIGNING BLOCK-MODULAR CUTTING TOOLS USING 3D-PRINTING OF MODELS PLASTIC MATERIALS

**N. POPOK, S. PORTYANKO, E. TIKHON**  
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

*The designs formation of modular cutting tools using a unified cutting block is considered, mathematical dependences are given for determining the geometric parameters of tools chip and flow-removing grooves, the results of computer and physical operation modeling of face mills and boring heads in liquid-free-flowing media, the advantages of technologies for designing and manufacturing cutting tools using 3D printing models compared to traditional technologies.*

**Keywords:** 3D printing, plastic material, design technology, block-modular cutting tool, end mill, manufacturing technology.