УДК 67.05
DOI 10.47367/0021-3497_2026_3_337

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ANALYSIS OF PROMISING METHODS FOR OBTAINING COMPONENTS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT COMPONENTS USING ADDITIVE TECHNOLOGIES

Н.С. ФЕДЬКИН, Д.Ю. ЗАПОРОЖАН, А.В. КАНАТОВ

N.S. FEDKIN, D.YU. ZAPOROZHAN, A.V. KANATOV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: nickit.fedkin@yandex.ru

В статье представлен обзор основных направлений возможного применения аддитивных технологий в проектировании и изготовлении отдельных элементов технологических машин и агрегатов. Изложены основные критерии, предъявляемые к наиболее ответственным компонентам промышленной системы, с целью поиска путей их модернизации с учетом внедрения новых конструкционных материалов. Анализ научно-технической литературы позволил дать оценку наиболее перспективным видам 3D-печати, которые имеют первостепенное значение в машиностроении. Рассмотрены особенности технологического процесса 3D-печати в области специализированного машиностроения. Представлены результаты анализа востребованности и применения аддитивных технологий в разных отраслях народного хозяйства. Дана оценка специальных материалов для 3D-печати сложных геометрических форм конструкций деталей в машиностроении. Представлены особенности технологического процесса создания прототипа компонентов технологического оборудования на базе аддитивных технологий. Рассмотрены вопросы создания твердотельной модели в среде SolidWorks с последующей трансформацией в форматы, поддерживаемые устройствами с ЧПУ. Перечислены преимущества, недостатки, возможности и ограничения метода. Даны рекомендации по выбору современных образцов оборудования 3D-печати для реализации инженерных задач в машиностроении.

The article provides an overview of the main areas of possible application of additive technologies in the design and manufacture of individual elements of technological machines and units. The main criteria for the most critical

components of the industrial system are outlined in order to find ways to modernize them, taking into account the introduction of new structural materials. The analysis of scientific and technical literature allowed us to evaluate the most promising types of 3D printing, which are of primary importance in mechanical engineering. The features of the technological process of 3D printing in the field of specialized mechanical engineering are considered. The results of the analysis of the demand and application of additive technologies in various sectors of the national economy are presented. An assessment of special materials for 3D printing of complex geometric shapes of component structures in machine construction is given. The features of the technological process of creating a prototype of technological equipment components based on additive technologies are presented. The issues of creating a solid-state model in the SolidWorks environment with subsequent transformation into formats supported by CNC devices are considered. The advantages, disadvantages, possibilities and limitations of the method are listed. Recommendations are given on the selection of modern samples of 3D printing equipment for the implementation of engineering tasks in mechanical engineering.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, жаккардовый станок, FDM, корпус блока управления подъема ремизок, 3D-принтер, специализированное машиностроение, программа для задания рисунка и вида переплетения нитей основы и утка.

Keywords: additive technologies, 3D printing, jacquard machine, FDM, remizok lifting control unit housing, 3D printer, specialized mechanical engineering, a program for specifying the pattern and type of weave of warp and weft threads.

Введение

В условиях восстановления промышленного суверенитета и в рамках «Стратегии развития промышленности РФ до 2035 г.» российская промышленность проявляет растущий интерес к перспективным процессам и исследованиям новых технологий, в том числе технологий быстрого прототипирования, поскольку именно эти направления ускоряют переход к цифровым технологиям, новым материалам и способам конструирования [1, 2]. Высокую точность обработки деталей механизмов и узлов технологического оборудования можно получить на современных 3D-принтерах и ЧПУ станках с многоосевым позиционированием обрабатывающего инструмента или заготовки. Важным аспектом в обеспечении прочностных характеристик деталей являются материалы, из которых они изготовлены. Поиск новых составов и компонентов, входящих в группу полимерных композитов, представляет собой основополагающую задачу.

Аддитивные технологии – это современная технология, направленная на создание штучных изделий временного использования или прототипов компонентов промышленных машин и агрегатов на основе заранее созданных цифровых моделей изделий [3, 4]. Аддитивные технологии на современном этапе развития позволяют снизить стоимость отдельных элементов конструкции технологического оборудования за счет новых материалов, применяемых в технологии 3D-печати. Развитие данной технологии происходило в различных областях с использованием разнообразных материалов, но наибольший вклад был сделан в машиностроении и дизайне [5].

Современная промышленность выходит на новый уровень в производстве технологического оборудования. В настоящее время наиболее важной частью проектирования и изготовления машин и агрегатов текстильной и легкой промышленности является технология создания цифрового двойника и прототипа деталей станка с целью миними-

зации затрат на проведение натурных испытаний [6, 7]. Аддитивное производство позволяет создавать сложные компоненты конструкций, снижать количество используемого материала, а также сокращать время основного технологического процесса.

Методы

Трехмерная печать является оптимальным вариантом для изготовления прототипов или временных компонентов специализированных машин. Аддитивные технологии в связке со специализированным программным обеспечением позволяют быстро создавать необходимые изделия без ожидания поставки стандартных компонентов. Данный аспект очень важен при выполнении ремонтных работ, которые необходимо провести срочно. Также важно то, что 3D-принтер может изготавливать уникальные детали, что может быть полезно при усовершенствованиях конструкций и проверке предлагаемого варианта технологического оборудования [8].

Аддитивные технологии применяются во многих областях. На рис. 1 представлено процентное соотношение, демонстрирующее сферы, в которых 3D-печать используется наиболее часто [9].

Рис. 1

Технологии 3D-печати включают в себя разнообразные методы создания изделий, но общей чертой является то, что во всех вариантах материал наносится на основу в несколько слоев до достижения необходимой толщины и формы. Преимущества трехмерной печати заключаются в возможности изготовления деталей сложной геометрии с оптимальным соотношением материалоемкости к площади обработки [10]. Наиболее распространенные способы печати представлены на рис. 2 [11].

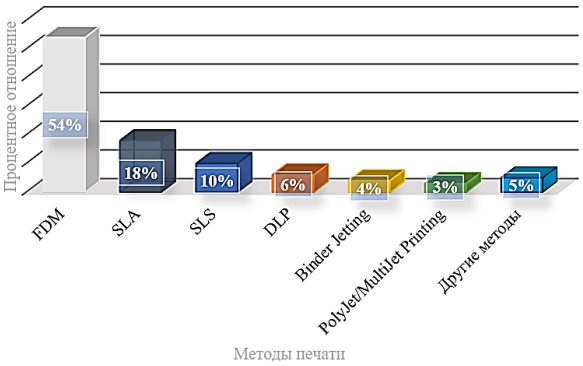

Рис. 2

Из рис. 2 видно, что метод FDM-печати является наиболее распространенным, но это не означает, что он занимает лидирующие позиции во всех областях, например, в медицинской области большее распространение имеет метод SLA.

Для печати в стереолитографии применяются различные жидкие фотополимерные смолы, затвердевающие от ультрафиолета [12]. Чаще всего встречаются акриловые смолы, но также применяются эпоксидные, уретановые и биосовместимые смолы [13]. Для улучшения характеристик итогового изделия в смолы могут добавляться наполнители, например, пигменты и фотосенсибилизаторы.

Если говорить о машиностроении, то FDM-печать остается одной из основных методик.

В связи с ограничениями жесткости и прочности из пластика можно изготовить не все виды деталей машин и агрегатов легкой и текстильной промышленности. Условно детали можно разделить: по степени нагрузки (с малой – до 10 кг/см^2, средней – 10…50 кг/см^2, большой нагрузкой – свыше 50 кг/см^2), по виду возможных деформаций (с продольной или поперечной), по степени теплоизоляции (с низкой – 0,15 Вт/(м·К), средней – 0,05…0,15 Вт/(м·К), высокой теплоизоляцией – ниже 0,05 Вт/(м·К)) или по степени теплоустойчивости – низкотеп-

лоустойчивые (около 100°С), среднетеплоустойчивые (до 500…600 °С), высокотеплоустойчивые (свыше 600 °С), сверхвысокотеплоустойчивые материалы (выше 1200 °С). Характеристики некоторых элементов конструкции машин и агрегатов представлены в табл. 1 [14].

Таблица 1

Вид детали	Степень нагрузки	Вид деформации	Теплоизоляция	Теплоустойчивость
Рычаг	Средняя (2 МПа)	Продольная	Низкая (0,18 Вт/(м·К)	Высокая (700ºС)
Шестерня	Большая (6 МПа)	Поперечная	Средняя (0,12 Вт/(м·К)	Средняя (550ºС)
Распредвал	Средняя (2,5 МПа)	Поперечная	Средняя (0,08 Вт/(м·К)	Средняя (400ºС)
Кулачок	Средняя (3 МПа)	Поперечная	Средняя (0,09 Вт/(м·К)	Средняя (450ºС)
Шатун	Большая (5,5 МПа)	Продольная	Средняя (0,11 Вт/(м·К)	Высокая (650ºС)
Коленчатый вал	Большая (7,5 МПа)	Продольная	Низкая (0,19 Вт/(м·К)	Высокая (900ºС)

Анализ данных по степени нагружения основных деталей технологического оборудования показал значительный интерес к изготовлению малонагруженных деталей методом FDM-печати с применением разных видов пластика. Выявленные преимущества и недостатки отражены в разработанной табл. 2.

Таблица 2

Преимущества	Недостатки
Невысокая стоимость оборудования и расходных материалов. Термопластичные нити, используемые в этих устройствах, отличаются относительной дешевизной. FDM предоставляет широкий спектр материалов для печати, включая ABS, PLA, PETG и другие виды пластика, что позволяет подобрать оптимальный материал для каждой конкретной задачи.	Изготовление сложных деталей, состоящих из множества мелких элементов, требует значительных временных затрат, поскольку предполагает нанесение большого количества слоев.
Эксплуатация технологии FDM отличается предельной простотой и доступностью.	Вследствие особенностей процесса экструзии и толщины нитей изделия, созданные методом FDM-печати, могут обладать шероховатой поверхностью.

На рис. 3, а представлен 2D-чертеж корпуса-рамы держателя группы пневмоцилиндров, отвечающих за автоматизацию процесса управления элементами, придающими движение ремизкам. Одной из основных сборочных единиц, входящих в конструкцию блока цифрового управления движением исполнительного органа, является пневмоцилиндр, показанный на рис. 3, б (1 – торцевая заглушка, 2 – гайка, 3 – компенсационное кольцо, 4 – интегральный поршень с отлитой под давлением направляющей, 5 – основание, 6 – демпфирующие прокладки, 7 – передняя крышка, 8 – вкладыш, 9 – комбинированный элемент уплотнения грязесъемника, 10 – шток поршня). Особенностью его работы является возможность обеспечения двухстороннего движения штока цилиндра на требуемую величину. Это достигается за счет наличия в конструкции двух отдельных зон подачи сжатого воздуха. В связи с тем, что модернизация ведется без изменения основной конструкции рамы, важно обеспечить размещение всех исполнительных органов в ограниченной зоне. Исполнительным органом в данной конструкции является пневмоцилиндр, поэтому важно обеспечить жесткость его фиксации в корпусе управляющего блока и одновременно свободное взаимодействие со всеми 24 кинематическими цепями, отвечающими за перемещение ремизок. Было принято решение использовать цилиндр двустороннего действия для обеспечения прямого и обратного хода.

Далее рассмотрим работу такого цилиндра и установим его оптимальные параметры, такие как диаметр цилиндра, места подвода сжатого воздуха и элементы крепления. Особое внимание уделяется совпадению осей посадочных отверстий рамы с осью цилиндра, так как даже незначитель-

ные отклонения от горизонтали могут привести к заклиниванию механизма управления ремизками и нарушению технологического процесса создания рисунка переплетения нитей.

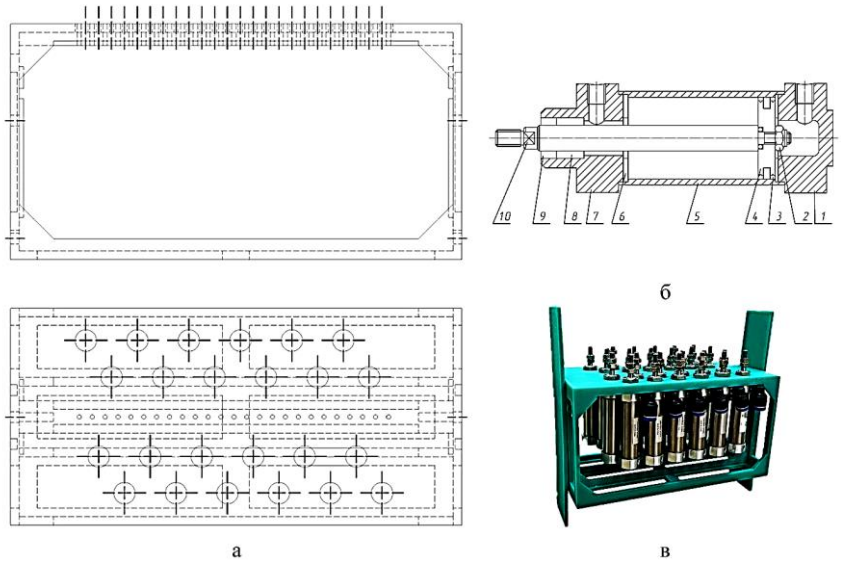

Рис. 3

Общий вид проектируемого блока цифрового управления движением показан на рис. 3, в. Данный блок служит элементом модернизации конструкции ткацкой машины АТ-100-5М, повышающим производительность, степень автоматизации и удобство ввода данных для создания узора на полотне [15, 16]. На практике установлено, что нагрузки в зоне механического программоносителя являются допустимыми для каркасных элементов, выполненных с помощью технологии 3D-печати с применением группы пластиков повышенной прочности – полиамид (PA), поликарбонат (PC), сополимер поликарбоната и ABS-пластика (PC-ABS), полиэтилентерефталат-гликоль (PETG), модифицированный полиактид (PLA+), а сама технология 3D-печати такими пластиками может быть использована при изготовлении корпусных деталей технологического оборудования, так как точность корпусных деталей не превышает точности по квалитету 11-14 (0,1…0,5 мм) (ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, термины, определения и обозначения. URL: https://docs.cntd.ru/document /1200005264 (дата обращения: 13.07.2025)). Для увеличения ресурса и снижения износа вследствие воздействия агрессивных сред и неблагоприятных факторов можно получать металлическое напыление и дополнительное упрочнение пластика филаментами.

Разработанный и изготовленный экспериментальный лабораторный образец корпуса-рамы предназначен для проведения первичного эксперимента с целью определения возможности установки блока в рабочую зону станка и определения его оптимальных параметров. После проведения комплекса испытаний и с учетом доработки конструкции рамы планируется изготовление итогового варианта из высокотемпературного полиэфирэфиркетона PEEK. Такой материал обладает высокой химической стойкостью, повышенной жесткостью и устойчивостью к износу [17].

Применение изделий из разнообразных видов пластика в машиностроении позволит снизить общую массу изделий, поскольку пластиковые элементы легче металлических аналогов, улучшить коррозионную стойкость компонентов машин, повысить шумо- и виброизоляцию, что достигается за счет поглощения звуковых и вибрационных волн пластиком.

Основными элементами конструкции принтера, работающего с применением FDM-технологии, являются рабочий стол и экструдер, подающий основной и дополнительный филамент [18]. При необходимости изготавливаемое изделие имеет поддержки.

FDM-технология использует различные термопластики, которые уже активно применяются при изготовлении элементов конструкции различной техники.

Специфика изготовления деталей из пластика требует особого внимания к выбору материала, поскольку пластик должен соответствовать всем предъявляемым требованиям изделия. Машины специального назначения имеют свои специфические требования: прочность, долговечность, устойчивость к коррозии и износу, термостойкость, электроизоляция и другие. Кроме этого, важно правильно настроить параметры печати принтера: температуру экструдера, скорость подачи пластика и высоту слоя. Каждый параметр должен быть адаптирован под выбранный материал и требования изделия.

После печати необходимо провести контроль качества, чтобы изготовленная деталь точно соответствовала размерам и форме. В некоторых случаях для достижения требуемой точности может потребоваться дополнительная обработка детали, например, шлифовка, полировка или покраска.

Аддитивные технологии – полная противоположность традиционным методам механической обработки, таким как фрезерование, резка, сверление, шлифование, и составляют серьезную конкуренцию «субтрактивному производству», где создание внешнего вида изделия происходит за счет удаления лишнего материала [19].

Для печати может использоваться множество видов пластиков, их свойства представляют значительный исследовательский интерес [4]. Наиболее распространенными материалами являются: PLA, ABS, PETG, Nylon, TPU и другие.

Самым распространенным используемым материалом является PLA-пластик – он имеет наименьшую стоимость и обладает свойствами, которых хватает для большинства видов изделий, но он не пригоден для деталей, испытывающих большие нагрузки [20]. При сравнении с PLA-пластиком больше для использования в машиностроении подойдет ABS-пластик, который обладает прочностью на разрыв (σ) обычно в пределах 30…40 МПа, ударной вязкостью около 15…20 кДж/м^2, пределом текучести, устойчивостью к воздействию окружающей среды, например, влаги и ультрафиолетовых лучей, а модуль Юнга (E) материала имеет значения 2000…2500 МПа. Повышенная прочность позволяет выдерживать излишние нагрузки, возникающие при эксплуатации изделий. Увеличить значение показателя прочности можно с помощью добавления в основной материал различных композитов, например, карбоновых волокон, которые помимо прочности увеличивают и термостойкость конечного изделия. При необходимости улучшения механических свойств, повышения устойчивости к износу и химическим веществам может использоваться наполнитель в виде керамических частиц. Чаще всего различные добавки используются в формате порошка, состоящего из частиц сферической формы средним размером 6 мкм.

Ключевыми аспектами технологического процесса изготовления деталей машин посредством аддитивных технологий являются операции, связанные с оптимизацией параметров изготовления, таких как скорость печати и перемещения экструдера, температура сопла и рабочего стола, уровень заполнения изделия материалом, а также расположение поддерживающих элементов. Поскольку каждый материал обладает уникальными характеристиками, подбор оптимальных параметров осуществляется индивидуально на основании рекомендаций производителя.

Конструирование объемной модели осуществляется в CAD-программах, например в AutoCAD, где для этого используются основные инструменты твердотельного моделирования: выдавливание, вращение, вырезание и другие методы. При создании учитываются основные требования 3D-печати,

такие как минимальная толщина стенок, отсутствие элементов без поддержек и допустимые углы наклона. После завершения модели проверяются габариты и геометрия, при необходимости добавляются фаски, скругления или технологические элементы. Готовая модель экспортируется в формат, совместимый с 3D-принтером (STL, OBJ или др.), а затем загружается в слайсер для подготовки к печати, где задаются параметры печати и генерируется G-код.

Для сложных конструкций перед выполнением прототипа отдельного звена кинематической пары может потребоваться проведение анализа методом конечных элементов, который позволяет моделировать поведение материала под разнообразными нагрузками, а также предсказывать проблемные зоны, где возможно появление деформаций, трещин или разрушений. Для этого используется специализированное программное обеспечение, такое как ANSYS, Abaqus или SolidWorks Simulation. Например, подобный анализ с приложением нагрузок может потребоваться для одной из наиболее часто применяемых в машиностроении деталей, а именно двуплечего рычага, который получает движение от поршня пневмоцилиндра электронного блока управления, передняя часть рычага в свою очередь взаимодействует с ремизкой, изменения геометрии рычага позволяют встроить разработанный двуплечий рычаг в имеющуюся конструкцию рамы и обеспечить автоматизацию процесса задания рисунка переплетения нитей. Проведенное в среде SolidWorks Simulation исследование рычага (рис. 4) демонстрирует, что основные нагрузки прикладываются к участку AC длиной l_2 и не являются критическими, отсюда следует, что элемент механизма соответствует критериям прочности и может работать в заданных условиях эксплуатации.

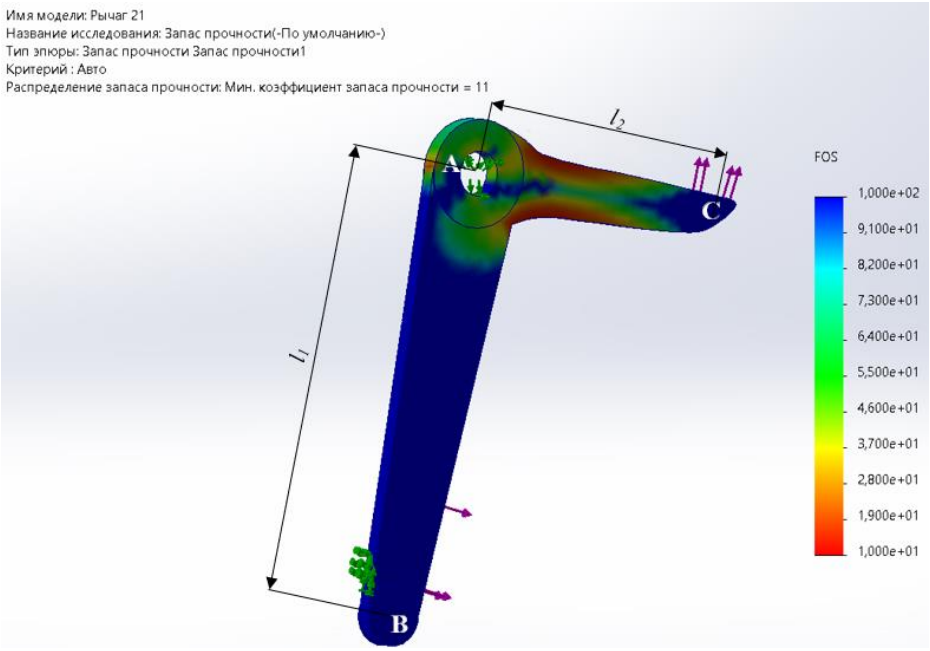

Рис. 4

Результаты и обсуждения

ABS-пластик имеет определенную температуру стеклования – 105°C. При достижении температуры выше данной отметки он начинает терять свою форму, это важно учитывать при эксплуатации изделий в оборудовании, которое достигает высоких температур. В неподходящих условиях ABS-пластик из-за своего коэффициента теплового расширения изменяет размеры.

ABS является хорошим изолятором, об этом необходимо помнить при использования материала в электрических устройствах, он обладает диэлектрическими свойствами, но также следует учитывать возможные эффекты электростатического за-

ряда и разряда. Это особенно важно для станков с внедренным ЧПУ, например, для рассмотренного ранее элемента модернизации станка АТ-100-5М, где за управление пневмоцилиндрами отвечает компьютер.

Данный пластик имеет хорошую устойчивость ко многим химическим веществам, например, маслам, бензину, разбавленным кислотам и щелочам. Если предусматривается контакт изделия с более агрессивной средой, то перед началом эксплуатации необходимо провести экспериментальное исследование, которое определит совместимость.

Одним из ключевых преимуществ печати пластиковых компонентов для машин специального назначения является экономическая выгода аддитивных технологий по сравнению с традиционными методами изготовления деталей и компонентов. В зависимости от сложности конструкции деталей и масштаба производства применение аддитивных технологий может привести к снижению себестоимости и общих затрат на изготовление до 30% [21].

3D-печать является частью масштабной тенденции цифровизации, которая рассматривается как революционная технология [22]. Применение технологии сокращает время, затрачиваемое на технологическое производство, и затраты на разработку и тестирование прототипов технологического оборудования, а это в свою очередь снижает себестоимость готового изделия.

Таким образом, аддитивные технологии позволяют прототипировать конструктивные детали сложной формы и обеспечивать достаточные значения точности их геометрических параметров с учетом требуемого уровня качества.

ВЫВОДЫ

Анализ литературы показал возможность применения ABS-пластика на 3D-принтерах при изготовлении прототипов элементов конструкции технологических машин. Использование технологии позволяет в полной мере учитывать все экономические и технологические преимущества, которые обеспечивает аддитивный способ производства.

Переход на аддитивное производство снижает вес разрабатываемых деталей за счет оптимизации их конструкции, что особенно важно для большинства отраслей промышленности.

Однако 3D-печать имеет ряд ограничений, например, относительно низкую скорость печати и возможную необходимость постобработки деталей.

Аддитивное производство обладает потенциалом для применения в машиностроительной области. 3D-печать может быть полезна при изготовлении компонентов, которые обладают сложной геометрической формой поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белько Т.В., Курбатова М.А.* Дизайн одежды на основе технологии 3D-печати (FDM) // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3(393). С. 170…175. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_170. – EDN DSIIXP.

2. *Кабакова Н.А., Кузнецова П.Н.* Перспективы применения новых технологий на примере аддитивных технологий в сельскохозяйственном машиностроении // Наука и образование. 2024. Т. 7, № 3. – EDN JTLGXY.

3. *Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С. и др.* Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: ассортимент пластмасс инновационной функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5(395). С. 262…267. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_262. – EDN PPWWIR.

4. *Романов П.С., Янковский Д.В.* Быстрое прототипирование и 3D-печать в машиностроении // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. 2014. № 2(5). С. 85…89. – EDN TLAPLX.

5. *Figovsky O., Shteinbok A.* Building 3D printing technology // Ingineering Journal of Don. 2022. No. 5(89). P. 590…602. – EDN JKDMKV.

6. *Strohonov D., Illyashenko Y., Voytenko O. etc.* Equipment for plasma-arc and hybrid welding, 3D printing and coating technologies // Sciences of Europe. 2023. No. 112(112). P. 56…62. – DOI 10.5281/zenodo.7708524. – EDN VXIFYG.

7. *Минец В.В., Татарчук И.Р., Белицкая О.А., Литвин Е.В.* Применение 3D-технологий быстрого прототипирования при изготовлении оснастки обувного производства и апробация формальной модели экспресс-формы для литьевого агрегата // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 329…333. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_329. – EDN TWIIIX.

8. *Королькова А.А., Федькин Н.С., Киселев С.Ю.* Обзор новейших технологий 3D-печати, перспективных для производства обуви // Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления. М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2024. С. 107…113. – EDN RYDUTF.

9. *Capasso I., Andreacola F.R., Brando G.* Additive Manufacturing of Metal Materials for Construction Engineering: An Overview on Technologies and Applications // Metals. 2024. Vol. 14, No. 9. P. 1033. – DOI: 10.3390/met14091033.

10. *Соловьев А.А., Ляшенко Е.Ю., Комолов М.Б., Яковлева К.А.* Исследование кинетики кристаллизации полиэфирэфиркетона с низким значением показателя текучести расплава в изотермическом режиме // Пластические массы. 2021. № 11-12. С. 12…14. – DOI 10.35164/0554-2901-2021-11-12-12-14. – EDN PFLILS.

11. *Wong K. V., Hernandez A.* A Review of Additive Manufacturing // ISRN Mechanical Engineering. – 2012. Vol. 2012. Article ID 208760. 10 p. – DOI: 10.5402/2012/208760.

12. *Костяков А.Е.* Анализ применения различных типов 3D-принтеров в машиностроении // Интерактивная наука. 2023. № 8(84). С. 7…13. – DOI 10.21661/r-560722. – EDN MCTIGU.

13. *Гречухин А.П., Хабибуллоев А.Т., Рудовский П.Н., Рудковский М.Д.* 3D-печать гибкого тканого аналога по FDM-технологии // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 115…120. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_115. – EDN UALFNE.

14. *Борзякова Е.С., Дубинкин Д.М.* Классификация и области применения аддитивных технологий в машиностроении // Россия молодая. Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т имени Т.Ф. Горбачева, 2017. С. 0307001. – EDN MUUOHP.

15. *Галкин А.В., Шумакова Е.А., Кирсанова Е.А.* Модернизация системы управления ткацким станком АТ-100 5М при проектировании переплетений ткани // Дизайн и технологии. 2024. № 101(143). С. 106…113. – EDN PTMLWH.

16. *Галкин А.В., Бородулин А.Д., Кирсанова Е.А.* Модернизация выбора заправочного рисунка ткацкого станка модели АТ-100-5М с использованием микрокомпьютера с графическим интерфейсом // Дизайн и технологии. 2024. № 99(141). С. 84…90. – EDN HBLDJR.

17. *Виндокуров И.В., Пирогова Ю.В., Ташкинов М.А.* Экспериментальное исследование свойств 3Д-печатного PEEK при воздействии физиологических сред и повышенных температур // Новые материалы и технологии в условиях Арктики. Якутск: Северо-Восточный федер. ун-т им. М.К. Аммосова, 2023. С. 173…174. – EDN JPKPPE.

18. *Otargaziyev A.N.* Brief classification of additive technologies // International Scientific and Practical Conference World science. 2018. Vol. 1, No. 5(33). – P. 53…58. – EDN XNKMKD

19. *Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С. и др.* Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: группа крупнотоннажных полимеров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 304…311. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_304. – EDN DMPFLK.

20. *Рукавишников А.А., Колесникова А.Н.* Материалы для машиностроения. Аддитивные технологии в машиностроении // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки. Саратов: Саратов. гос. ун-т генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2024. С. 180…189. – EDN ZVEHQA.

21. *Кровопусков Е.А., Кровопусков П.А.* К вопросу об аддитивных технологиях в машиностроении // Проблемы и перспективы развития современного машиностроения. Липецк: Липецкий гос. техн. ун-т, 2024. С. 46…51. – EDN CQPMOH.

22. *Scott C., Holz M.* An analysis of the influence of 3D printing on supply chain management // Шумпетеровские чтения. 2018. Vol. 1. P. 20…35. – EDN AUXFWF.

R E F E R E N C E S

1. *Belko T.V., Kurbatova M.A.* Clothing design based on 3D-printing technology (FDM) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. № 3(393). P. 170…175. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_170. – EDN DSIIXP.

2. *Kabakova N.A., Kuznetsova P.N.* Prospects for Implementing New Technologies Using Additive Manufacturing in Agricultural Machinery // Science and Education. 2024. Vol. 7, No. 3. – EDN JTLGXY.

3. *Konovalova O.B., Minets V.V., Bokova E.S. etc.* Polymer materials for 3D printing and the possibility of their lise in shoe production: range of plastics of innovative functionality // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. № 5(395). P. 262…267. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_262. – EDN PPWWIR.

4. *Romanov P.S., Yankovsky D.V.* Rapid prototyping and 3D printing in mechanical engineering // Kompleksnye problemy razvitiâ nauki, obrazovaniâ i èkonomiki regiona. 2014. № 2(5). P. 85…89. – EDN TLAPLX.

5. *Figovsky O., Shteinbok A.* Building 3D printing technology // Ingineering Journal of Don. 2022. No. 5(89). P. 590…602. – EDN JKDMKV.

6. *Strohonov D., Illyashenko Y., Voytenko O. etc.* Equipment for plasma-arc and hybrid welding, 3D printing and coating technologies // Sciences of Europe. 2023. No. 112(112). P. 56…62. – DOI 10.5281/zenodo.7708524. – EDN VXIFYG.

7. *Minets V.V., Tatarchuk I.R., Belitskaya O.A., Litvin E.V.* Application of 3D-technologies for fast prototyping in the manufacture of tooling for the production of footwear and approbation of a formal model of express form for a casting unit // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya

Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2(398). P. 329…333. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_329. – EDN TWIIIX.

8. *Korolkova A.A., Fedkin N.S., Kiselev S.Yu.* Overview of the latest 3D printing technologies, promising for shoe manufacturing // Modern engineering problems in the production of consumer goods. Moscow: The Kosygin State University of Russia, 2024. P. 107…113. – EDN RYDUTF.

9. *Capasso I., Andreacola F.R., Brando G.* Additive Manufacturing of Metal Materials for Construction Engineering: An Overview on Technologies and Applications // Metals. 2024. Vol. 14, No. 9. P. 1033. – DOI: 10.3390/met14091033.

10. *Soloviev A.A., Lyashenko E.Yu., Komolov M.B., Yakovleva K.A.* The investigation of low melt flow index polyetheretherketone crystallization kinetics in isothermal model // Plasticheskie massy. 2021. № 11-12. P. 12…14. – DOI 10.35164/0554-2901-2021-11-12-12-14. – EDN PFLILS.

11. *Wong K.V., Hernandez A.* A Review of Additive Manufacturing // ISRN Mechanical Engineering. 2012. Vol. 2012. Article ID 208760. 10 p. – DOI: 10.5402/2012/208760.

12. *Kostyakov A.E.* Analysis of the use of various types of 3D printers in mechanical engineering // Interactive science. 2023. № 8(84). P. 7…13. – DOI 10.21661/r-560722. – EDN MCTIGU.

13. *Grechukhin A.P., Khabibulloev A.T., Rudovsky P.N., Rudkovsky M.D.* 3D printing of a fabric analog using FDM-technology // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2(398). P. 115…120. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_115. – EDN UALFNE.

14. *Borzyakova E.S., Dubinkin D.M.* Classification and Applications of Additive Manufacturing in Mechanical Engineering // Young Russia. Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2017. P. 0307001. – EDN MUUOHP.

15. *Galkin A.V., Shumakova E.A., Kirsanova E.A.* Modernization of the control system of the AT-100 5M loom in the design of fabric weaves // Design and technology. 2024. № 101(143). P. 106…113. – EDN PTMLWH.

16. *Galkin A.V., Borodulin A.D., Kirsanova E.A.* Modernization of the choice of filling pattern loom model AT-100-5M using a microcomputer with a graphical // Design and technology. 2024. № 99(141). P. 84…90. – EDN HBLDJR.

17. *Vindokurov I.V., Pirogova Yu.V., Tashkinov M.A.* Experimental study of the properties of 3D-printed PEEK under the influence of physiological media and elevated temperatures // New materials and technologies in the Arctic. Yakutsk: Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov, 2023. P. 173...174. – EDN JPKPPE.

18. *Otargaziyev A.N.* Brief classification of additive technologies // International Scientific and Practical Conference World science. 2018. Vol. 1, No. 5(33). P. 53…58. – EDN XNKMKD.

19. *Konovalova O.B., Minets V.V., Bokova E.S. etc.* Polymer materials for 3D printing and the possibility of their use in shoe production group of large-tonnage polymers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2(398). P. 304…311.– DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_304. – EDN DMPFLK.

20. *Rukavishnikov A.A., Kolesnikova A.N.* Materials for Mechanical Engineering: Additive Technologies in Machinery // Problems and Prospects of Agricultural Development: Technical and Agricultural Sciences. Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2024. P. 180…189. – EDN ZVEHQA.

21. *Krovopuskov E.A., Krovopuskov P.A.* On the Issue of Additive Technologies in Mechanical Engineering // Problems and Prospects of Modern Mechanical Engineering Development. Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2024. P. 46…51. – EDN CQPMOH.

22. *Scott C., Holz M.* An analysis of the influence of 3D printing on supply chain management // Schumpeter's Readings. 2018. Vol. 1. P. 20…35. – EDN AUXFWF.

Рекомендована кафедрой технологических машин и мехатронных систем РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 13.01.25.