

А. В. Зими́на, А. А. Алекса́ндров

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Аннотация. В 2022 году возникли проблемы с обслуживанием техники зарубежных компаний, покинувших Россию из-за санкций. Резинотехнические материалы отсутствуют, а параллельный импорт увеличивает стоимость и сроки поставки. Это отрицательно сказывается на работе многих предприятий и компаний, которые нуждаются в качественном и своевременном обслуживании техники. К сожалению, ситуация не предвещает скорого улучшения и требует комплексного подхода для решения этой проблемы.

Целью работы является создание резинотехнического изделия.

В процессе исследования технологии создания резинотехнических изделий использованы сравнение и анализ.

В результате исследования авторами были рассмотрены методы изготовления резинотехнических изделий. Определены более подходящие технологии. Выявлены преимущества и недостатки некоторых технологий. Предложены пути их решения.

Выводы исследования могут быть использованы на практике.

Ключевые слова: сложная конфигурация, резинотехнические изделия, пресс-форма, 3D-сканер и 3D-принтер.

A. V. Zimina, A. A. Alexandrov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

MANUFACTURING OF RUBBER PRODUCTS OF COMPLEX CONFIGURATION

Abstract. In 2022, there were problems with the maintenance of equipment of foreign companies that left Russia due to sanctions. There are no rubber materials, and parallel imports increase the cost and delivery time. This negatively affects the work of many enterprises and companies that need high-quality and timely maintenance of equipment. Unfortunately, the situation does not portend a speedy improvement and requires a comprehensive approach to solve this problem.

The purpose of the work is to create a rubber product.

In the process of researching the technology of creating rubber products, comparison and analysis were used.

As a result of the study, the authors considered the methods of manufacturing rubber products. More suitable technologies have been identified. The advantages and disadvantages of some technologies are revealed. The ways of their solution are proposed.

The findings of the study can be used in practice.

Keywords: complex configuration, rubber products, mold, 3D scanner and 3D printer.

Введение

В современном машиностроении множество изделий имеют сложную конфигурацию.

Сложные конфигурации – это конфигурации, объединенные большим количеством различных поверхностей. К примерам можно отнести крыльчатки, колёса, турбины, винты, полумуфты двигателя автомобиля, корпуса насоса, поршни и тд. Такие конфигурации включают большое число элементов и имеют различные виды связей [1]. Для обеспечения эффективности и точности проектирования и производства изделий, имеющих сложную конфигурацию, используются специализированные программы и технологии, такие как компьютерное моделирование и аддитивные технологии.

Методы получения резинотехнических изделий сложной конфигурации [2]:

– Литье в форму. Метод заключается в том, что резиновую смесь, проработанную специальными добавками, заливают в форму, где она остывает и принимает нужную форму.

– 3D-печать. Это процесс 3D-печати, в котором нить твердого термопластичного материала плавится в нагретом до высокой температуры сопле и подается к экструзионной головке. 3D-принтер в соответствии с программой доставляет материал на сборную платформу по заданной траектории, где материал охлаждается [3].

– Компрессионное формование. Этот метод заключается в том, что резиновую смесь закладывают в две нагретые формы, которые затем сжимаются и присоединяются друг к другу. В результате получается изделие нужной формы. В этом методе используется вулканизация – обработка резинового изделия высокой температурой и давлением, что служит для усиления его свойств.

– Холодная вулканизация. Данный метод представляет собой применение специального клея или мастик для соединения различных резиновых изделий.

– Ламинирование. Этот метод представляет из себя склеивание резиновых изделий с другими материалами, например, текстильными или металлическими.

В нашем случае были рассмотрены такие технологии, как прессование и печать на 3D-принтере, так как они больше подходят для производства небольшого количества деталей с высокой степенью точности и качества. Кроме того, прессование и печать на 3D-принтере позволяют создавать детали с уникальной формой и конструкцией, которые трудно или невозможно получить другими способами.

Печать на 3D-принтере.

Для того, чтобы произвести печать изделий из резинотехнических материалов, необходимо создать трехмерную модель. Существует два основных способа ее создания: использование 3D-сканера или измерительных инструментов в сочетании с применением современных систем автоматизированного проектирования.

После проведения 3D-сканирования (рис.1), были обнаружены определенные недостатки, такие как:

– Не все объекты можно сканировать с высоким качеством. Основными сложностями являются: 3D-сканирование имеет свои ограничения. Например, некоторые объекты слишком сложны для точного сканирования (объекты, имеющие множество осей, с труднодоступными частями), а другие слишком необычны или из-за своей текстуры (мягкие, гибкие, имеющие степени подвижности, не обладающие жесткостью объекты) и материала (мех, волосы, ворс) могут отражать свет приводя к неточности изображений.

– Обработка занимает много времени: трудность в работе со сложными формами и необходимость дополнительной обработки. Полученные данные требуют обработки, чтобы создать конечный 3D-образ (рис.2). Это может занимать много времени, особенно в случае, когда требуется создание детальной текстуры и других дополнительных элементов. А внутренние отверстия, которые имеют разные оси и конфигурацию, так и вовсе невозможно получить.

– Отсутствие возможности передачи модели в системы автоматизированного моделирования для ее дальнейшей доработки, из-за большой емкости файла, содержащего результаты сканирования модели.

Из указанных недостатков следует, что более целесообразным вариантом будет использование метода самосканирования (с помощью инструментов и программ моделирования).

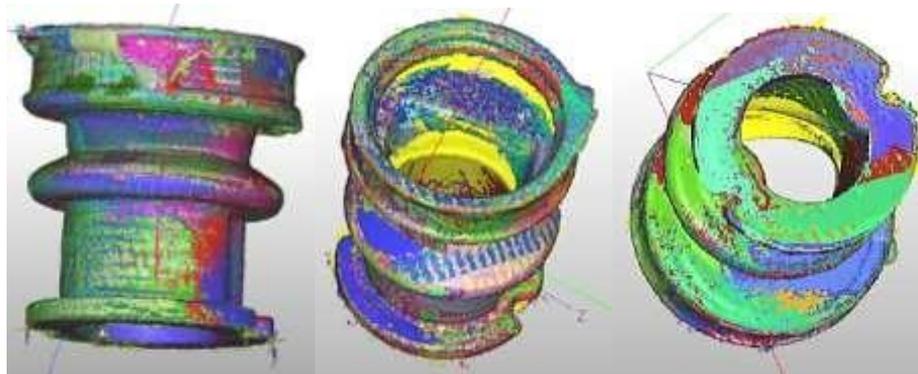


Рис.1. Совмещенные сканы в один объект



Рис.2. Готовая модель

Распечатав изделие (рис.4), и проведя испытания, было выявлено, что:

– точность размеров изделия на высоком уровне (погрешность до 3%, ниже представлен график (рис.3) зависимости погрешности от размеров);

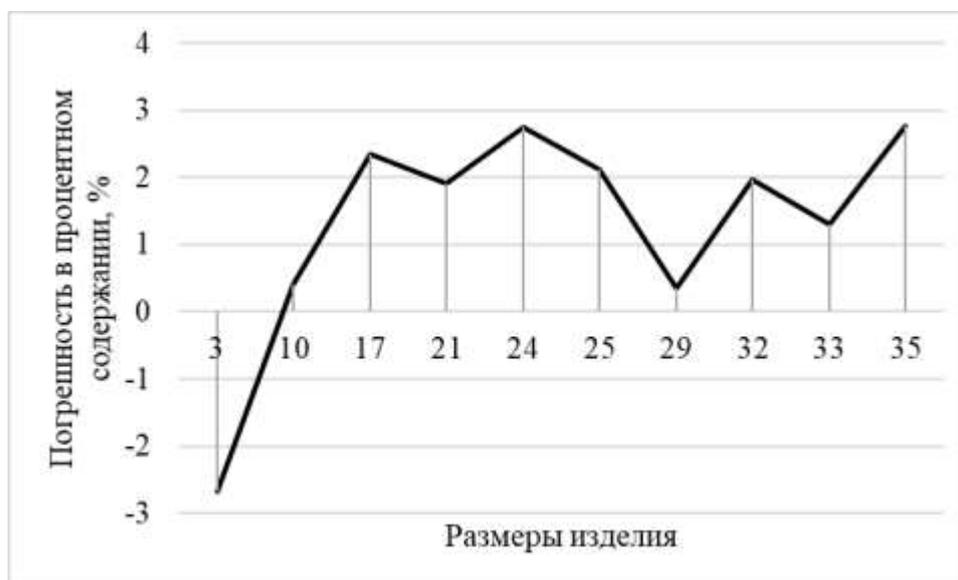


Рис.3. График зависимости погрешности от размера

– материал маслобензостойкой;

– часто со сложными изделиями происходит расслаивание материала, что приводит к дефектам и разрушению изделия.

Однако, чтобы получить желаемое качество, необходимо учитывать ряд параметров (режимов) печати. Различные настройки 3D-принтера могут влиять на конечный результат. Например, одним из важных параметров является настройка скорости печати. Если скорость печати будет слишком большой, то резина может вытекать из сопла и испортить качество

изделия. С другой стороны, если скорость печати будет слишком мала, то потребуется больше времени на печать, что может быть неэффективным.



Рис.4. Напечатанная модель

Кроме того, важным параметром является настройка температуры подогрева печатной поверхности. Для резиновых материалов обычно требуется более высокая температура, чем для других пластиков. При недостаточном подогреве поверхности может возникнуть срыв печати, а при избыточном - изделие может превратиться в "кушетку".

Другим важным параметром является настройка подачи материала. Для получения хорошего качества 3D-печати необходимо правильно настроить расход материала, подачу пленки в сопло и давление в сопле. Кроме того, необходимо учитывать, что некоторые материалы требуют дополнительной обработки, например, вспенивания.

Немало важную роль в создании деталей имеет используемый материал, который заправляется в 3D-принтер [4, 5].

Для печати РТИ на 3D-принтере можно использовать различные материалы, включая: TPU, TPE, SBS, LSR и flex – это эластичные материалы, которые обеспечивают гибкость и прочность. Они могут использоваться для печати уплотнительных и амортизационных элементов.

Выбор материала зависит от требований по механическим свойствам, точности и детализации, а также от целей использования печати РТИ.

Наш выбор пал на TPU, так как из всех перечисленных выше, он оказался более гибким и прочным, а также стоек к маслам и бензину.

Преимущества и недостатки технологий.

Если сравнивать методы изготовления РТИ, такие как прессование и создание на 3D-принтере, то можно выделить ряд преимуществ и недостатков [6, 7, 8]:

– Точность: 3D-принтеры могут иметь ограниченную точность и разрешение печати, что может привести к ошибкам в изготовлении РТИ. Прессование также имеет ограниченную точность, но позволяет производить изделия с однородностью. Однородность подразумевает под собой схожесть состава (или изготовление из одинаковых материалов), а также возможность выполнять одни и те же функции, заменять друг друга.

– Не все материалы могут быть использованы для печати на 3D-принтере, что может ограничить выбор материалов для изготовления РТИ. Прессование может быть проведено с использованием различных материалов, таких как натуральный каучук, синтетические полимеры и термопластичные эластомеры. Это позволяет создавать изделия с различными свойствами и для разных применений.

– Прочность: изготовленные на 3D-принтере РТИ могут быть менее прочными, чем изготовленные прессованием, из-за ограничений в материалах и технологии печати.

– Низкая стоимость: использование 3D-печати для производства РТИ экономически выгодно, но оборудование очень дорогое. Прессование РТИ – это экономичный процесс

производства, так как он позволяет производить большие партии изделий за короткий промежуток времени. Это также позволяет снизить стоимость производства РТИ.

– Срок службы: РТИ, изготовленные на 3D-принтере, могут иметь более короткий срок службы, чем изготовленные прессованием, из-за менее прочной конструкции и материалов.

– Гибкость производства: на 3D-принтере можно создавать форму, которую можно легко изменять и точно передавать параметры для повторного использования, в отличие от прессования.

Таким образом наш выбор пал на метод прессованием, потому что он является эффективнее и позволяет получить изделия разной сложности конфигурации, с высокой точностью и большим сроком службы.

Изготовление пресс-формы.

Так как для изготовления изделия прессованием, нам необходима пресс-форма, рассмотрим ее технологию изготовления. Существуют разные технологии изготовления пресс-форм, такие как [9, 10, 11]:

- на станках с ЧПУ (числовым программным управлением);
- на 3D-принтере;
- методом литья.

Метод литья позволяет получить пресс-форму из металла с высокой точностью и повторяемостью, что важно для производства высококачественных деталей. Кроме того, этот метод подходит для больших и сложных пресс-форм, которые не всегда возможно изготовить на станках с ЧПУ или 3D-принтере. Использование метода литья также позволяет быстрее получить готовую пресс-форму, чем при других методах. Поэтому был выбран метод литья [12]. В целом, выбор технологии изготовления пресс-формы зависит от конкретной задачи и ее требований. Проанализировав все плюсы и минусы разных методов литья, был выбран метод формовочного литья. Он представляет собой процесс наполнения жидкого металла в заранее подготовленную форму, в которой он затвердевает и принимает нужную форму.

Технология формовочного литья достаточно проста и может быть применена для получения деталей разной сложности. Она широко используется в различных отраслях промышленности, в том числе в производстве автомобильных запчастей, бытовой техники, мебели и другое [13].

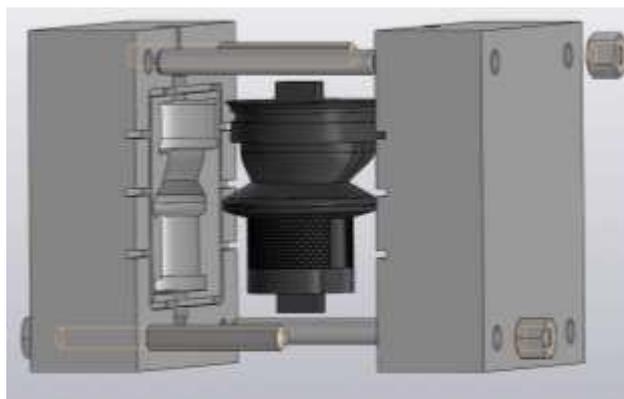


Рис.5. Пресс-форма в разобранном виде

Литье пресс-формы данной детали производилось в гипсовые формы, по следующей технологии [14, 15]:

005 Создание моделей:

Создать модели пресс-формы в системе трехмерного проектирования – КОМПАС-3D;

010 Изготовление моделей:

Распечатать полумодели на 3D-принтере;

015 Изготовление силиконовых моделей:

Развести силикон;

Залить силикон в напечатанные модели и подождать его затвердевания;

Вынуть силиконовые модели из напечатанных;

020 Изготовление литейных форм:

Собрать опоки;

Установить опоку на вибростол и поместить в нее силиконовую модель;

Развести гипс;

Залить гипс в опоку;

Включить вибростол и подождать минуту, выключить;

Дождаться затвердевания гипса;

Вынуть полуформу из опок;

Вынуть силиконовую модель из полуформы;

025 Прокалка форм:

Включаем нагрев муфельной печи ПМ-14М1П-1250Т;

Поместить полуформы в рабочую камеру;

Продержать на температуре 150°C от 1 до 2 часов, далее на температуре 400°C от 30 мин до 2 часов, далее на температуре плавления алюминия $\approx 750^\circ\text{C}$ до 1 часа (плавное нагревание).

030 Плавка металла:

На температуре 650°C поместить тигель в рабочую камеру;

Произвести плавку металла;

035 Заливка формы:

Достать полуформу из печи;

Обсыпать стенки полуформы песком;

Достать тигель из печи;

Снять шлак с поверхности металла;

Произвести заливку металла в полуформу;

После затвердевания и остывания расплава извлечь отливку из полу-формы;

040 Слесарная:

Запилить, зачистить заусенцы, притупить острые кромки (рис.6);

045 Механическая обработка:

Зачистить, удалить наплывы.



Рис.6. Металлические полуформы

Так как при литье алюминия возникают проблемы с обтеканием углов, были проведены испытания, в которых мы узнали с какими углами и радиусами мы можем производить отливку алюминием.



Рис.7. Отливка формы

Все результаты измерений были сведены в таблицы.

Таблица 3 – Диаметры окружностей

| 3D модель, мм | Распечатанная модель, мм | Силиконовая модель, мм | Металлическая модель, мм |
|---------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| 30 | 29,55 | 29,35 | 29,1 |
| 25 | 24,6 | 24,4 | 24,15 |
| 20 | 19,6 | 19,5 | 19,3 |
| 15 | 14,6 | 14,45 | 14,35 |
| 10 | 9,75 | 9,5 | 9,5 |
| 5 | 4,5 | 4,5 | 4,35 |

Таблица 4 – Размеры квадратов

| 3D модель, мм | Распечатанная модель, мм | Силиконовая модель, мм | Металлическая модель, мм |
|---------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| 30 • 30 | 29,7 • 29,6 | 29,5 • 29,35 | 29,15 • 29,1 |
| 25 • 25 | 24,8 • 24,65 | 24,5 • 24,4 | 24,75 • 24,3 |
| 20 • 20 | 19,7 • 19,45 | 19,5 • 19,4 | 19,65 • 19,4 |
| 15 • 15 | 14,75 • 14,5 | 14,6 • 14,4 | 14,75 • 14,6 |
| 10 • 10 | 9,85 • 9,5 | 9,6 • 9,5 | 9,9 • 9,6 |
| 5 • 5 | 4,9 • 4,65 | 4,6 • 4,5 | 4,9 • 4,55 |

Соотнеся результаты измерений металлической модели с 3D моделью, была выявлена зависимость погрешности в % содержания от измерений. В дальнейшем следует учитывать то, что чем меньше размеры, тем выше погрешность.

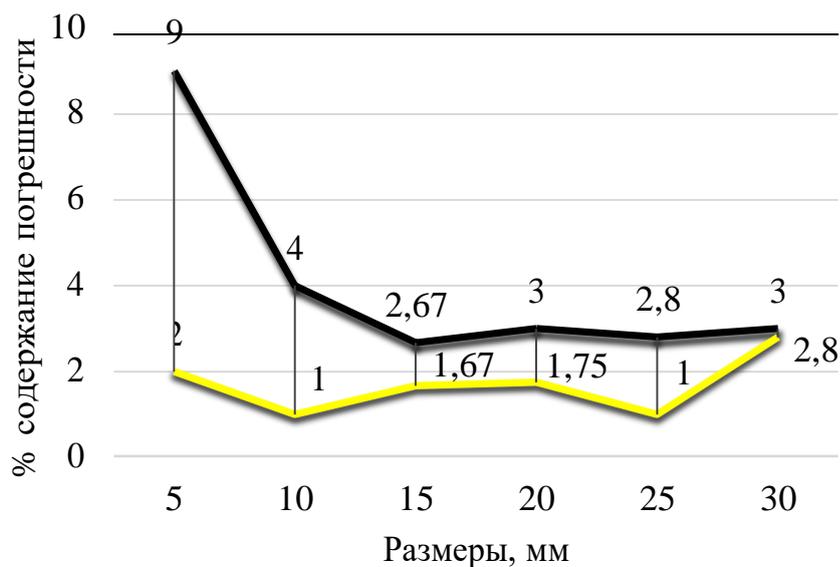


Рис.8. График зависимости погрешности от размеров квадратов

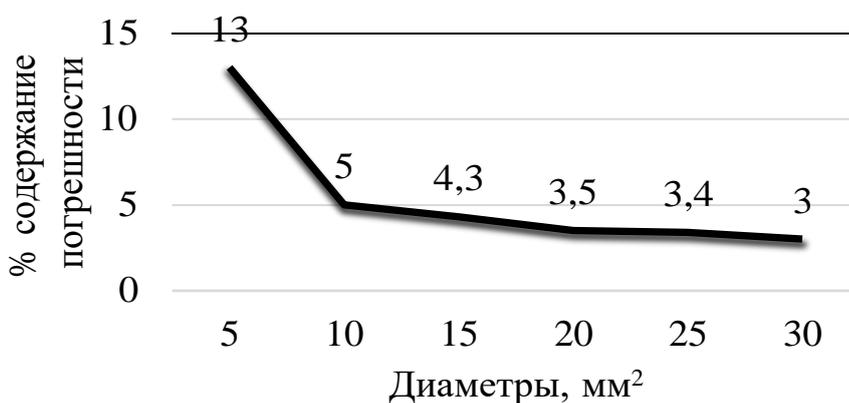


Рис.9. График зависимости погрешности от диаметров окружностей

Заключение

В рамках работы были изучены существующие методы получения резинотехнических изделий. Было проведено сканирование изделия, создание его 3D-модели и последующее изготовление с использованием 3D-принтера.

В процессе изготовления была создана пресс-форма для получения конечного продукта. При этом были изучены особенности конструирования пресс-форм и выбраны наиболее подходящие материалы для ее изготовления.

В заключении хочется отметить, что изготовление пресс-формы и резинотехнического изделия является сложным и трудоемким процессом, но при правильном подходе и использовании современных методов и технологий, такой подход может значительно упростить производство и повысить качество конечного продукта. Рекомендуется использовать полученные знания и опыт при разработке новых резиновых изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы применения аддитивных технологий при изготовлении литейных форм сложной конфигурации / статья / А. В. Зими́на, А. А. Александров, Н. А. Задорожний, И. В. Москвитин, В. С. Зверев – М. : Молодая наука Сибири, ИрГУПС, 2023. – 7 с. (дата обращения: 24.05.2023).

2. Технология переработки пластических масс (теория и практика) / учебное пособие / М. С. Щербаклова, А. С. Москалев, А. С. Казакова ; под редакцией О. В. Кармановой. – М. : Лань, ВГУ-ИТ, 2022. – 73 с. (дата обращения: 22.05.2023).
3. Процессы 3D-печати – Режим доступа: https://ru.zahn-info-portal.de/wiki/a-3D_printing_processes (дата обращения: 22.05.2023).
4. Аддитивные технологии и материалы / учебное пособие / А. И. Горунов. – М. : Лань, КНИТУ-КАИ, 2019. – 56 с. (дата обращения: 22.05.2023).
5. Современные технологии производства // Аддитивные технологии и литейное производство. – Режим доступа: <https://extxe.com/9761/additivnye-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo/> (дата обращения: 30.11.2022).
6. Современные технологии производства // Пять технологий цифровой эры промышленности. – Режим доступа: <https://controlengrussia.com/innovatsii/pyat-tehnologii/> (дата обращения: 30.11.2022).
7. Аддитивные технологии в машиностроении / учебное пособие / Е. Г. Кравченко, А. С. Верещагина, В. Ю. Верещагин. – М. : Комсомольский на Амуре государственный университет, 2018. – 140 с. (дата обращения: 10.12.2022).
8. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / учебное пособие / С. А. Корнилович. – М. : Лань, Омский ГАУ, 2017. – 100 с. (дата обращения: 22.05.2023).
9. Программирование обработки на станках с ЧПУ / учебное пособие / Э. М. Берлинер, А. А. Варфоломеев. – М. : Лань, Московский Политех, 2013. – 80 с. (дата обращения: 22.05.2023).
10. Внедрение инноваций // Аддитивные технологии и их возможности. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/6284222d9a79472c8b9a67bc> (дата обращения: 30.11.2022).
11. Технология литья / учебное пособие / В. Г. Кузнецов, Ф. А. Гарифуллин, Г. С. Дьяконов. – М. : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012. – 148 с. (дата обращения: 20.03.2023).
12. Металловедение и технология конструкционных материалов / учебное пособие / Л. В. Костылева, В. А. Моторин. – М. : Волгоградский государственный аграрный университет, 2017. – 144 с. (дата обращения: 20.03.2023).
13. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / Часть 2 / учебное пособие / Н. М. Романченко. – М. : Лань, КрасГАУ, 2022 – 267 с. (дата обращения: 22.05.2023).
14. Разработка технологических процессов изготовления деталей общего и специального машиностроения / учебное пособие / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. – М. : Санкт – Петербургский государственный политехнический университет, 2013. – 221 с. (дата обращения: 20.03.2023).
15. Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве / учебное пособие / В. П. Должиков. – М. : Лань, 2022. – 328 с. (дата обращения: 20.03.2023).

REFERENCES

1. Prospects for the use of additive technologies in the manufacture of molds of complex configuration / article / A.V. Zimina, A. A. Alexandrov, N. A. Zadorozhny, I. V. Moskvitin, V. S. Zverev - M. : Young Science of Siberia, IrGUPS, 2023. – 7 p. (accessed: 05/24/2023).
2. Technology of plastic mass processing (theory and practice) / textbook / M. S. Shcherbakova, A. S. Moskalev, A. S. Kazakova ; edited by O. V. Karmanova. – M. : Lan, VGUIT, 2022. — 73 p. (date accessed: 05/22/2023).
3. 3D printing processes – Access mode: https://ru.zahn-info-portal.de/wiki/a-3D_printing_processes (date of circulation: 22.05.2023).
4. Additive technologies and materials / textbook / A. I. Gorunov. – M. : Lan, KNIU-KAI, 2019. – 56 p. (date of circulation: 22.05.2023).
5. Modern production technologies // Additive technologies and foundry production. – Access mode: <https://extxe.com/9761/additivnye-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo/> (accessed: 11/30/2022).
6. Modern production technologies // Five technologies of the digital era of industry. – Access mode: <https://controlengrussia.com/innovatsii/pyat-tehnologii/> (accessed: 11/30/2022).

7. Additive technologies in mechanical engineering / textbook / E. G. Kravchenko, A. S. Vereshchagina, V. Yu. Vereshchagin. - M. : Komsomolsk on Amur State University, 2018. – 140 p. (accessed: 10.12.2022).
8. Materials science. Technology of structural materials / textbook / S. A. Korni-lovich. – M. : Lan, Omsk State University, 2017. – 100 p. (accessed: 05/22/2023).
9. Programming of processing on CNC machines / textbook / E. M. Berliner, A. A. Varfolomeev. – M. : Lan, Moscow Polytechnic University, 2013. – 80 p. (accessed: 05/22/2023).
10. Introduction of innovations // Additive technologies and their capabilities. – Access mode: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/6284222d9a79472c8b9a67bc> (date of reference: 11/30/2022).
11. Casting technology / textbook / V. G. Kuznetsov, F. A. Garifullin, G. S. Dyakonov. – M. : Kazan National Research Technological University, 2012. – 148 p. (date of publication: 03/20/2023).
12. Metallology and technology of structural materials / textbook / L. V. Kostyleva, V. A. Motorin. – M. : Volgograd State Agrarian University, 2017. – 144 p. (accessed: 03/20/2023).
13. Materials Science. Technology of structural materials / Part 2 / textbook / N. M. Romanchenko. – M. : Lan, KrasGAU, 2022 – 267 p. (date of application: 22.05.2023).
14. Development of technological processes for manufacturing parts of general and special machine-building / textbook / M. A. Zlenko, A. A. Popovich, I. N. Mutylyna. – M. : St. Petersburg State Polytechnic University, 2013. – 221 p. (date of application: 20.03.2023).
15. Development of technological processes of machining in small-scale production / textbook / V. P. Dolzhikov. – M. : Lan, 2022. – 328 p. (accessed: 03/20/2023).

Информация об авторах

Зими́на Арина Влади́мировна - студентка группы КТ.1-19-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: ziminpa56@gmail.com.

Александров Андрей Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры Автоматизированные производственные процессы, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: andreyalexandrov2008@yandex.ru.

Information about the authors

Zimina Arina Vladimirovna – student of the group СТ.1-19-1, Irkutsk State Transport University, e-mail: ziminpa56@gmail.com.

Alexandrov Andrey Alekseevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Production Processes, Irkutsk State Transport University, e-mail: andreyalexandrov2008@yandex.ru.