

А.В. Зими́на, А.А. Алекса́ндров, Н.А. Задо́рожний, И.В. Москвита́н, В.С. Зве́рев

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Аннотация. *В последнее время актуализировались вопросы, связанные с нахождением изделий для обслуживания зарубежной техники. Предметом исследования является технология создания резинотехнических расходных изделий сложной конфигурации с помощью аддитивных технологий.*

Целью работы является обоснование выбора аддитивных технологий; выявление их преимуществ и недостатков.

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

В результате исследования авторами были рассмотрены вопросы мелкосерийного литейного производства сложных форм. Определены более подходящие технологии. Выявлены основные проблемы при изготовлении изделий литьем. Предложены пути их решения.

Выводы исследования могут быть использованы на практике.

Ключевые слова: *литейное производство, аддитивные технологии, сложные формы.*

A. V. Zimina, A. A. Alexandrov, N. A. Zadorozhny, I. V. Moskvitin, V. S. Zverev

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

PROSPECTS FOR THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF MOLDS OF COMPLEX CONFIGURATION

Abstract. *Recently, issues related to the search for products for the maintenance of foreign equipment have been updated. The subject of the study is the technology of creating rubber consumables of complex configuration using additive technologies.*

The aim of the work is to substantiate the choice of additive technologies; identification of their advantages and disadvantages.

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

As a result of the study, the authors considered the issues of small-scale foundry production of complex forms. More appropriate technologies have been identified. The main problems in the manufacture of products by casting are revealed. Ways to solve them are proposed.

The findings of the study can be used in practice.

Keywords: *foundry, additive technologies, complex shapes.*

Введение

При производстве изделий машиностроения наряду с прокатом, ковкой, и др. методами формообразования, активно используется один из способов получения заготовок – литье.

Литье – изготовление заготовки или изделия из жидкого материала заполнением им полости заданных форм и размеров с последующим затвердеванием [1]. Это один из основных методов формообразования, который позволяет изготавливать изделия нужной формы. Из общего количества деталей машин, производимых различными методами, отливки составляют около 30...40% [2]. При мелкосерийном производстве выпуск продукции ограничивается небольшим количеством разнообразного литья с использованием универсального оборудования и приспособления [3].

При изготовлении изделий литьем существует ряд проблем:

- сложность автоматизации процессов;
- тяжелые условия труда;

- высокая трудоемкость;
- долгий производственный цикл;
- роль человеческого фактора;
- дороговизна изготовления форм.

Особенно это актуально при изготовлении форм сложной конфигурации.

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 [4].

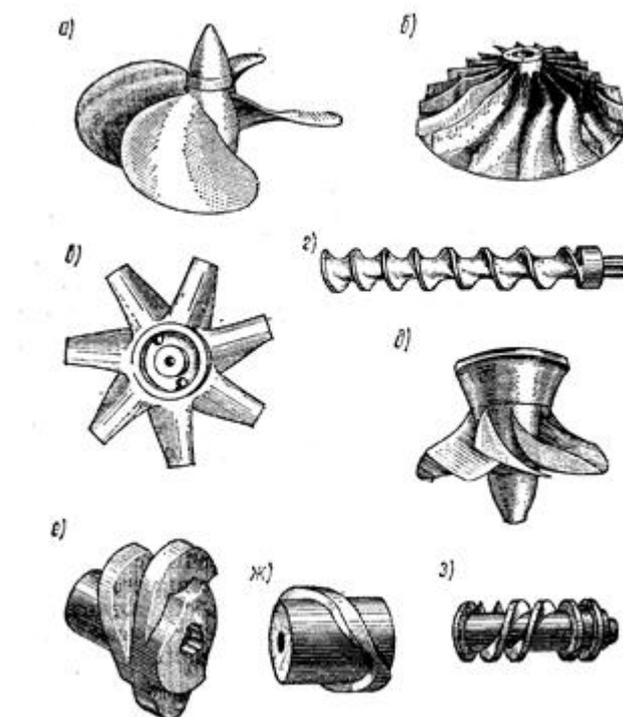


Рис.1. Виды деталей сложной конфигурации,

где: а) гребной винт; б) крыльчатка; в) колесо насоса; г) винт с переменным шагом; д) колесо водяной турбины; е) дисковый кулачок; ж) цилиндрический кулачок; з) блок из кулачков

На сегодняшний день на предприятиях формы сложной конфигурации изготавливают различными методами, из которых самыми распространенными являются: ковка, литье, штамповка и механообработка [5].

Исходя из выше сказанного, мы можем сделать вывод, что литье является трудоемким, длительным и затратным методом формообразования изделий, имеющих сложную форму. Для удешевления изготовления форм, сокращения времени и сокращения трудоемкости используют современные технологии, такие как [6]:

- «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) – внедрение физических устройств с датчиками, сетевого подключения и других компонентов для обмена данными;
 - искусственный интеллект (ИИ) позволяет производителям обрабатывать огромные объемы данных, генерируемые их производствами, операциями и потребителями, и преобразовывать эти данные в решения;
 - современная робототехника – справляется с «монотонной, грязной и опасной» работой, и в настоящее время автоматизировано уже 10% производственных задач;
 - носимая электроника – кардинально меняет способ передачи информации пользователю, предлагая немедленный доступ к критичным данным;
 - аддитивные технологии – технологии послойного наращивания и синтеза объектов.
- Одно из основных преимуществ данного метода является возможность создания геометриче-

ских форм практически неограниченной сложности [7]. Аддитивные технологии являются не только современными и высокоэффективными, но и инновационными по своей сути [8].

Для мелкосерийного производства подходят аддитивные технологии. Поэтому учитывая все выше сказанное, для совершенствования технологических процессов могут применены аддитивные технологии. Этот выбор позволит сильно сократить время производительности и трудоемкость.

Способы изготовления литейной формы.

В производстве существуют следующие методы изготовления литейной оснастки: вручную или с использованием механообрабатывающего оборудования.

Сущность литейного производства состоит в получении заготовок или деталей путем заливки расплавленного материала заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки или детали. При охлаждении залитый материал затвердевает и сохраняет очертания той полости, в которую был залит [9]. Литые заготовки (отливки) в дальнейшем подвергаются механической обработке. Литьем получают отливки как простой, так и сложной конфигурации с внутренними полостями.

В зависимости от объема производства, материала детали сложности конфигурации, размерной точности, шероховатости поверхности и других факторов применяют различные способы литья: в песчано-глинистые разовые формы, оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением, центробежное литье и другие. Технологическая схема почти любого из применяемых способов включает основные позиции, рис. 1 [10].

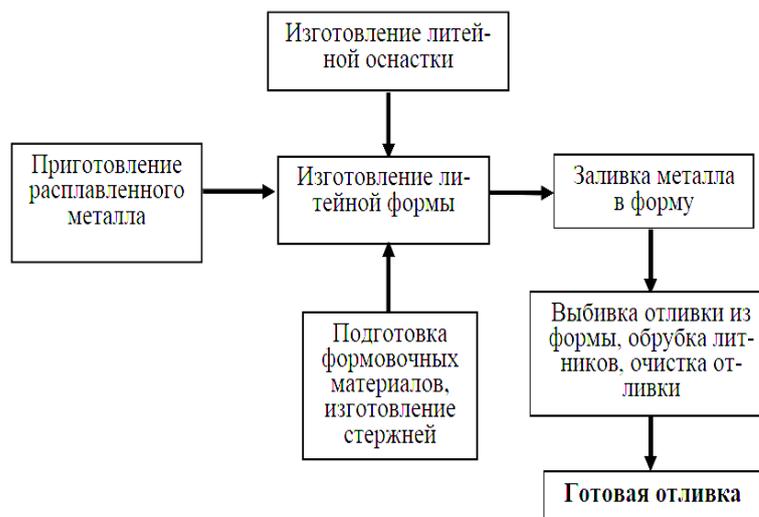


Рис.2. Общая технологическая схема изготовления отливок

Обычно литейная форма состоит из верхней и нижней полуформ, которые изготавливают по литейным моделям в опоках. Для изготовления литейной формы используют литейную оснастку, состоящую из модельного комплекта и литейных опок. Модели могут быть неразъемными, разъемными или с отъемными частями. Отверстия, полости и другие сложные контуры в отливке образуют с помощью стержней соответствующей конфигурации [11].

Для изготовления деталей сложной конфигурации нецелесообразно создавать технологическую оснастку под серийное производство. Эта весьма дорогостоящая продукция – литейная оснастка – оказывается разовой, которая в дальнейшей работе над изделием не используется. Поэтому каждое приближение конструкции детали к окончательной версии требует зачастую и новой технологической оснастки, поскольку переделка старой оказывается чрезмерно трудоемкой или вообще невозможной. И в этой связи традиционные методы оказываются не только дороги в плане материальных потерь, но и чрезвычайно затратны по времени.

Использование аддитивных технологий в литейном производстве.

На сегодняшний день аддитивные технологии активно используются в промышленности [12]. 3D-печать позволяет «выращивать» литейные модели и формы, которые невозможно было изготовить традиционными способами, а также значительно сокращает сроки изготовления модельной оснастки.

К преимуществам получения литейных форм аддитивными методами относится [13]:

- экономия времени на изготовление модельной оснастки;
- сокращение срока создания прототипов;
- высокая точность;
- возможность вносить изменения в конструкцию
- изготовление любой формы.

В оснащение Центра (бюро, которое ориентировано на изготовление продукции с активным применением аддитивных технологий) аддитивных технологий входят следующие основные группы оборудования [14]:

- Аддитивные машины (изготовление литейных моделей).
- Формовочное оборудование (изготовление гипсокерамических монолитных и керамических оболочковых форм).
- Термическое оборудование (вытапливание восковых и выжигание полистирольных моделей, прокалка форм, термообработка отливок).
- Литейное оборудование (атмосферное, вакуумное, центробежное и т. д. литьё).
- Контрольно-измерительное оборудование (контроль химического анализа металла, измерение твердости, контроль геометрии моделей и отливок, контроль внутренней структуры отливок, входной и выходной контроль).
- Механообрабатывающее оборудование (финишная обработка).

Приводя пример изготовления литейных форм с использованием аддитивных технологий, рассмотрим технологический процесс.

Процесс литья начинается с создания 3D-модели оснастки. Инженер-технолог или технолог-литейщик определяет линию разъема, усадку, уклон и другие параметры. Затем эти данные передаются в аддитивную установку (3D-принтер). Одно из преимуществ этой технологии в том, что, если модель по геометрии помещается в камеру построения, за одну операцию можно напечатать сразу несколько моделей. Печать изделия происходит слой за слоем, где сначала материал равномерно тонким слоем распределяется по всей плоскости камеры построения, а потом, по траектории на этот слой наносится связующее вещество, склеивая частицы материала между собой, образуя сечения будущего изделия [15].

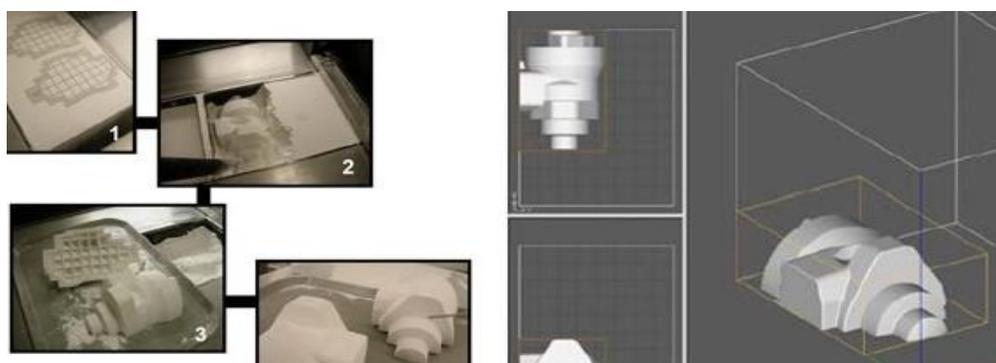


Рис. 3. Модель в виртуальной камере построения и во время 3D печати

Следующий этап – обработка модели. Для экономии материала модель сделана пустотелой, с внутренним оребрением. В случае необходимости, пустой объем заливается простой эпоксидной смолой, чтобы придать конструкции большую жесткость. После этого поверхность подвергается обработке (шпаклевке и шкурению) и покрывается специальной краской для модельной оснастки. Весь цикл изготовления методом литья занимает не больше недели.

Таким образом, применение аддитивных технологий при литье имеет следующие явные плюсы по сравнению с классическими методами:

- значительное сокращение производственного цикла;
- нет необходимости задействовать в процессе производства несколько инженеров-технологов или других специалистов;
- на 3D-принтере можно напечатать одновременно несколько изделий.

Заключение

Разработка изготовления форм позволит сэкономить на производстве изделий, уменьшить риски ошибки проектирования, сократить время и трудоемкость производства. Способ получения литейных форм сложной конфигурации при помощи аддитивных технологий является актуальным, поэтому его необходимо исследовать на нахождения решения создания технологического процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве / учебное пособие / В. П. Должиков. – М. : Лань, 2022. – 328 с.
2. Введение в инженерную деятельность. Машиностроение / учебное пособие для вузов / Ю. М. Зубарев. – М. : Лань, 2022. – 232 с.
3. Основы конструирования деталей машин. Литые детали / учебное пособие / А. В. Тюняев. – М. : Лань, 2022. – 192 с.
4. Виды сложных поверхностей // Технология машиностроения. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9730102/> (дата обращения: 30.11.2022).
5. Методы изготовления деталей: все о металлообработке. – Режим доступа: <https://www.boris88.ru/informacziya/poleznyie-stati/article2/> (дата обращения: 30.11.2022).
6. Современные технологии производства // Пять технологий цифровой эры промышленности. – Режим доступа: <https://controlengrussia.com/innovatsii/pyat-tehnologij/> (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.
8. Аддитивные технологии и материалы / учебное пособие / А. И. Горунов. – М. : Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева, 2019. – 56 с.
9. Технологические процессы в машиностроении / учебное пособие / Л. Н. Самойлова, Г. Ю. Юрьева, А. В. Гирн. – М. : Лань, 2022. – 156 с.
10. Металловедение и технология конструкционных материалов / учебное пособие / Л. В. Костылева, В. А. Моторин. – М. : Волгоградский государственный аграрный университет, 2017. – 144 с.
11. Технология литья / учебное пособие / В. Г. Кузнецов, Ф. А. Гарифуллин, Г. С. Дьяконов. – М. : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012. – 148 с.
12. Внедрение инноваций // Аддитивные технологии и их возможности. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/6284222d9a79472c8b9a67bc> (дата обращения: 30.11.2022).
13. Аддитивные технологии в литейном производстве. – Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/additive-technologies-foundry/> (дата обращения: 30.11.2022).
14. Современные технологии производства // Аддитивные технологии и литейное производство. – Режим доступа: <https://extxe.com/9761/additivnye-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo/> (дата обращения: 30.11.2022).
15. 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.

REFERENCES

1. Development of technological processes of machining in small-scale production / textbook / V. P. Dolzhikov. – M. : Lan, 2022. – 328 p.
2. Introduction to engineering. Mechanical engineering / textbook for universities / Y. M. Zubarev. – M. : Lan, 2022. – 232 p.
3. Fundamentals of machine parts design. Cast parts / textbook / A.V. Tyunyaev. – M. : Lan, 2022. – 192 p.
4. Types of complex surfaces // Technology of mechanical engineering. – Access mode: <https://studfile.net/preview/9730102/> (accessed: 11/30/2022).
5. Methods of manufacturing parts: all about metalworking. – Access mode: <https://www.boris88.ru/informacziya/poleznyie-stati/article2/> (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.
8. Additive technologies and materials / textbook / A. I. Gorunov. – M. : Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, 2019. – 56 p.
9. Technological processes in mechanical engineering / textbook / L. N. Samoylova, G. Y. Yurieva, A.V. Girn. – M. : Lan, 2022. – 156 p.
10. Metallovedenie i tekhnologiya constructional materials / textbook / L. V. Kostyleva, V. A. Motorin. – M. : Volgograd State Agrarian University, 2017. – 144 p.
11. Casting technology / textbook / V. G. Kuznetsov, F. A. Garifullin, G. S. Diakonov. – M. : Kazan National Research Technological University, 2012. – 148 p.
12. Introduction of innovations // Additive technologies and their capabilities. – Access mode: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/6284222d9a79472c8b9a67bc> (accessed: 11/30/2022).
13. Additive technologies in foundry production. – Access mode: <https://blog.iqb.ru/additive-technologies-foundry/> (accessed: 11/30/2022).
14. Modern production technologies // Additive technologies and foundry production. – Access mode: <https://extxe.com/9761/additivnyie-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo/> (accessed: 11/30/2022).
15. Development of technological processes for manufacturing parts of general and special machine-building / textbook / M. A. Zlenko, A. A. Popovich, I. N. Mutylina. – M. : St. Petersburg State Polytechnic University, 2013. – 221 p.

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.

Задоро́жний Никита Алексеевич - студент группы КТ.1-21-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: nik.zadorozhniy.10@mail.ru.

Москви́тин Иннокенти́й Влади́мирович - студент группы КТ.1-21-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: moskva.inno032003@gmail.com.

Зверев Виталий Сергеевич - студент группы КТ.1-20-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: vzverev145@gmail.com.

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.

Zadorozhny Nikita Alekseevich – student of group CT.1-21-1, Irkutsk State Transport University, e-mail: nik.zadorozhny.10@mail.ru.

Moskvitin Innokenty Vladimirovich – student of group CT.1-21-1, Irkutsk State Transport University, e-mail: moskva.inno032003@gmail.com.

Zverev Vitaly Sergeevich - student of the group CT.1-20-1, Irkutsk State Transport University, e-mail: vzverev145@gmail.com.