



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-10-14>
УДК 621.74

Поступила 09.07.2020
Received 09.07.2020

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО И ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. А. САДОХА, С. Л. РОВИН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Беларусь, пр-т Независимости, 65. E-mail: rovinsl@mail.ru

Литейное производство является многопрофильной отраслью машиностроения, обеспечивающей получение литых заготовок из различных металлов и сплавов. Серийность производства оказывает большое влияние на эффективность и качество получаемых отливок. Единичное и мелкосерийное литейное производство являются важной составной частью современного машиностроения. В статье представлен структурный анализ технологии получения отливок, рассмотрены отдельные технологические переделы как с точки зрения влияния на эффективность литья, так и с точки зрения обеспечения высокого качества при минимальных затратах. Учитывая особую потребность единичного и мелкосерийного производства литья в технологической гибкости, предложены схемы оптимизации подготовки производства и рационального технологического оснащения. Приведены примеры используемого оборудования.

Ключевые слова. Литейное производство, аддитивные технологии, отливка, смеситель, стержневая смесь, формовочная смесь, литейная оснастка, литейные формы.

Для цитирования. Садоха, М. А. Повышение эффективности производства отливок в условиях мелкосерийного и единичного производства / М. А. Садоха, С. Л. Ровин // Литье и металлургия. 2020. № 3. С. 10–14. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-10-14>.

INCREASING THE EFFICIENCY OF CASTING MANUFACTURE IN SMALL-SCALE AND SINGLE-UNIT PRODUCTION

M. A. SADOKHA, S. L. ROVIN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti Ave.
E-mail: rovinsl@mail.ru

Foundry is a multidisciplinary industry of engineering, providing cast blanks from various metals and alloys. The seriality of production has a great impact on the efficiency and quality of the castings being received. Single-unit and small-scale foundry production is an important part of modern engineering. Structural analysis of casting technology is presented in the article, individual technological changes are considered both in terms of impact on the efficiency of casting, and in terms of high quality assurance at minimal cost. Taking into account the need for a single-unit and small-scale casting in the flexibility of the processes, schemes of organization of technological preparation of production and technological equipment are proposed. Examples of the equipment used are given.

Keywords. Foundry, additive technology, casting, mixer, core mixture, molding mixture, foundry rigging, foundry moulds.

For citation. Sadokha M. A., Rovin S. L. Increasing the efficiency of casting manufacture in small-scale and single-unit production. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 3, pp. 10–14. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-10-14>.

Литейное производство как основная заготовительная база машиностроения располагает огромным ассортиментом технологий и технологического оснащения, которые в той или иной ситуации с разной степенью эффективности могут быть использованы для выполнения конкретных производственных задач. Известно, что одну и ту же отливку можно получать многими способами с применением различных технологических приемов. Однако экономическая эффективность ее производства в разных случаях будет значительно отличаться [1]. Современное машиностроение ставит перед литейным производством новые задачи, решение которых позволит намного быстрее осваивать новые виды продукции, и более динамично развиваться машиностроению в целом. Среди этих задач основными можно считать следующие: увеличение темпов получения опытных образцов отливок; повышение точности литых заготовок; снижение себестоимости отливок; быструю корректировку и доработку конструкции отливок.

При любом варианте получения отливок процесс от постановки задачи до получения литого изделия можно представить в виде ряда последовательных этапов (рис. 1).

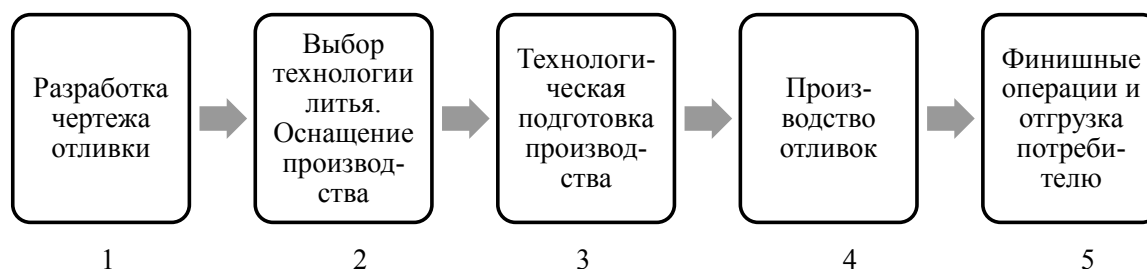


Рис. 1. Основные этапы (стадии) освоения производства новых отливок

Каждый этап вносит свой вклад в общую эффективность производства отливок. Причем серийность производства во многом определяет подходы к выбору той или иной схемы его организации.

Учитывая, что 1–3-й этапы практически не зависят от объемов производства, а затраты по 4-му и 5-му этапам напрямую связаны с объемом выпуска отливок, очевидно, что с ростом объемов производства (серийности) доля 4-го и 5-го этапов в общих затратах на изготовление одной отливки возрастает, а доля 1–3-го – сокращается.

Таким образом, целесообразно использовать разные подходы к подготовке производства отливок в условиях индивидуального, единичного и серийного, массового производства.

Исходя из представленного анализа, можно сформулировать ряд принципов обеспечения максимальной эффективности мелкосерийного и единичного литейного производства [2, 3]:

- максимальное сокращение времени и стоимости технологической подготовки производства, в том числе и изготовления литейной технологической оснастки (обеспечивая не максимальную, но достаточную для малых серий стойкость, работоспособность и долговечность);
- выбор технологии производства отливок с возможностью гибкого регулирования времени, последовательности выполнения отдельных технологических операций и производительности;
- универсальность используемых технологических процессов, материалов и оборудования, которые должны позволять получать отливки из разных сплавов в широком диапазоне размеров и т. п.

К направлениям, которые в условиях мелкосерийного и единичного выпуска отливок позволяют многократно сократить финансовые и временные затраты на подготовку производства, можно отнести применение аддитивных технологий [2, 3].

Использование аддитивных технологий в современном литейном производстве позволяет «выращивать» и модельную оснастку, и непосредственно литейные формы с минимальными трудозатратами и значительным сокращением сроков изготовления. Причем сегодня стоимость изделий, полученных с применением послойного синтеза, уже сопоставима с затратами при традиционных методах изготовления [4–6].

Если традиционный процесс изготовления модельной оснастки с использованием универсальных обрабатывающих станков или станков с ЧПУ требует оперативного взаимодействия между конструкторским бюро, технологическим отделом, модельным участком и литейным цехом, что зачастую затруднено особенно на больших предприятиях из-за различной подчиненности перечисленных служб и сопровождающего документооборота, то изготовление оснастки с применением 3d-печати и современных CAD/CAM/CAE-систем может быть практически полностью реализовано непосредственно с рабочего места конструктор-технолога: по чертежу литой детали конструктор создает виртуальную 3D-модель отливки, размещает ее в литейной форме, рассчитывает литниково-питающую систему (ЛПС), назначает литейно-модельные указания, моделирует процесс заливки литейной формы и процессы формирования отливки, выявляет возможные дефекты, корректирует конструкцию ЛПС, создает виртуальный образ модельного комплекта и распечатывает на 3D-принтере уже готовые к монтажу твердотельные модели [6–8].

При прототипировании, изготовлении пилотных литых изделий, корректировке их конструкции и литейной технологии большие преимущества обеспечивает применение 3D-принтеров для непосредственной печати литейных форм и стержней, что дает возможность вообще исключить из традиционной цепочки получения опытных образцов отливок стадию изготовления модельной оснастки (рис. 2). Учитывая, что при разработке новых литых изделий и освоении их выпуска процесс корректировки

конструкции отливки зачастую повторяется многократно, исключение стадии проектирования и изготовления модельной оснастки позволяет значительно снизить издержки и повысить конкурентоспособность производства.

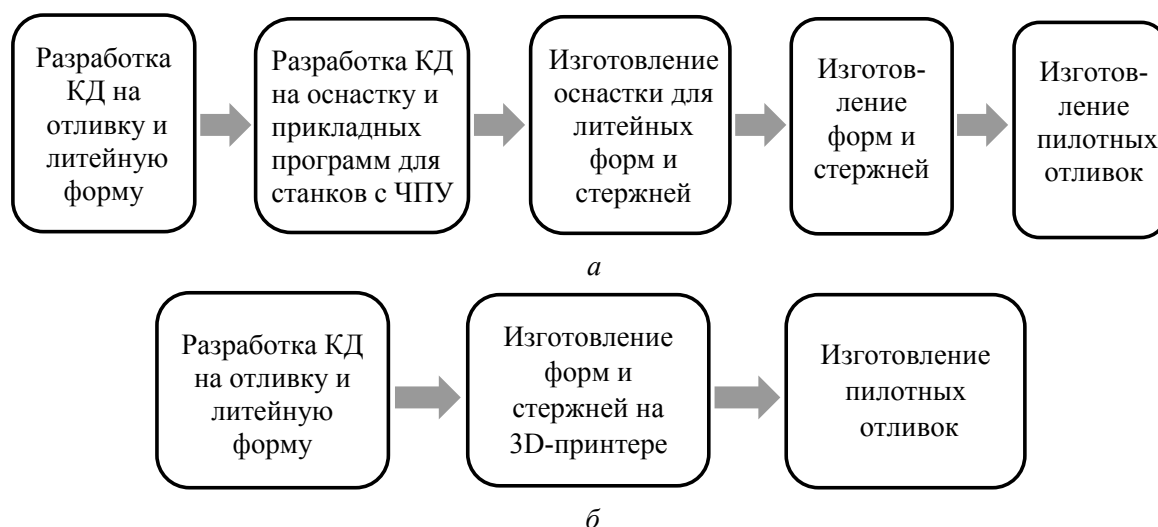


Рис. 2. Схема подготовки производства новых отливок:

а – традиционная; *б* – с применением аддитивных технологий для изготовления литейных форм и стержней

В единичном и индивидуальном производстве нередко возникает потребность в изготовлении новой литой детали по образцу, при этом в силу разных причин на образец может отсутствовать конструкторская документация. В этом случае значительным подспорьем становится применение современных технологий оцифровки поверхностей – 3D-сканирование образца [9–11].

По сравнению с традиционными подходами применение аддитивных и цифровых технологий позволяет существенно сократить время и снизить стоимость подготовки и освоения производства новых отливок и изготовления модельной оснастки, что особенно важно для предприятий, специализирующихся на единичном и мелкосерийном производстве, ремонтном литье и выпуске отливок по индивидуальным заказам.

Специфика единичного и мелкосерийного производства, помимо требования постоянно осваивать новую номенклатуру отливок, заключается в необходимости изготовления литейных форм разных размеров и металлоемкости, приготовления различных сплавов, применения разных подходов к организации финишных операций.

Если при массовом производстве организуются сквозные постоянно функционирующие технологические потоки с параллельным выполнением технологических операций, то при единичном и мелкосерийном производстве приходится зачастую использовать смешанную систему организации труда, с выполнением ряда операций последовательно с разнесением их по времени.

В таких условиях наиболее рациональным является использование No-bake-технологий и современных песчано-смоляных холоднотвердеющих смесей (ХТС) [12].

Приготовление песчано-смоляных ХТС в зависимости от требуемых объемов смеси осуществляется с применением смесителей периодического и непрерывного действия.

Смесители периодического действия для ХТС, как правило, представляют собой малогабаритные лопастные агрегаты (рис. 3, *а*), которые достаточно просты в эксплуатации, не требуют больших площадей и фундаментов для размещения и могут работать с большинством используемых в настоящее время связующих органических композиций.

Основными узлами смесителя являются чаша, основание, привод и смешивающий элемент. Все модели данного типа смесителей различных производителей имеют подобную конструктивную схему. В зависимости от модели смесителя максимальная масса замеса может составлять от 50 до 300 кг.

Смесители периодического действия могут поставляться и эксплуатироваться с установками подачи и дозирования сухого песка и жидких составляющих, оснащаться вибростолами для уплотнения смеси и транспортными системами подачи опок и перемещения форм.

Для организации мелкосерийного производства форм и стержней из ХТС смесей с кислотными отвердителями предпочтительно использовать шнековые смесители непрерывного действия, позволяющие



Рис. 3. Смесители для приготовления песчано-смоляных ХТС производства ОАО «БЕЛНИИЛИТ» (Беларусь):
 а – лопастные периодического действия различной производительности; б – непрерывного действия шнековый мод. С1Ш-3

механизировать и максимально сократить время перемешивания, транспортирования и заполнения технологической оснастки смесью.

Конструктивно высокоскоростные одношнековые смесители (рис. 3, б) представляют собой поворотный смешивающий агрегат, установленный на опорную колонну.

Производительность смесителей регулируется в широком диапазоне и может достигать у некоторых моделей до нескольких десятков тонн в час смеси. Отличительная черта этих компактных смесителей – конструктивная простота и надежность. Перемешивание компонентов смеси происходит в шнековой камере смешивающего агрегата сменными лопатками, закрепленными на быстровращающемся валу. Специальная геометрия рабочих лопаток и их взаимное расположение, а также высокая скорость вращения шнека обеспечивают быстрое и качественное перемешивание компонентов, а также полную очистку камеры от остатков смеси в конце каждого рабочего цикла.

Современные шнековые смесители, как правило, оснащаются многоконтурными системами подачи и дозирования жидких связующих компонентов, а также системами контроля температуры и подогрева наполнителя, что обеспечивает возможность их применения для приготовления большинства используемых в современной литейной промышленности типов песчано-смоляных смесей на основе двухкомпонентных вяжущих композиций «смола + отвердитель», например, фурановых смесей кислотного отверждения, смесей для Альфа-сет-процесса, отверждаемых сложными эфирами, и др. [12].

Данные смесители могут эксплуатироваться как отдельные технологические единицы оборудования; в комплекте с вибростолом, предназначенным для механизации процесса уплотнения смеси в технологической оснастке; как автоматические установки смесеприготовления при установке их на стержневую машину.

Широкое применение современных технологий и специального подобранного оборудования при рациональном технологическом оснащении позволяют максимально эффективно организовать единичное и мелкосерийное производство отливок, обеспечив их стабильно высокую точность и качество.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sadokha, M.** Increasing Productive Efficiency of Casting of Ferrous and Non-ferrous Alloys / M. Sadokha // Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland 23–27 September 2018. P. 297–298.
2. **Дорошенко, В. А.** Модульные производственно-технологические комплексы для мелко- и среднесерийного производства / В. А. Дорошенко, А. И. Чудайкин, В. А. Юдин, С. А. Богданчук // Литейное производство. 2012. № 2. С. 18–22.
3. **Dojka, R.** Optimization of heavy steel casting manufacturing technology / R. Dojka // Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland 23–27 September 2018. P. 547–548.
4. **Баринюк, А. Ю.** Применение аддитивных технологий для получения литых изделий технического назначения / А. Ю. Баринюк, В. Н. Дьячков, К. В. Никитин и др. // Литейщик России. 2018. № 8. С. 14–19.
5. **Попаднюк, С.** Девять шагов к созданию аддитивного центра на предприятии / С. Попаднюк // Аддитивные технологии. 2019. № 3. С. 24–28.
6. **Гамов, Е. С.** Теоретические и технологические предпосылки аддитивных (цифровых) способов литья / Е. С. Гамов, В. А. Кукушкина // Литейщик России. 2018. № 3. С. 9–13.

7. **Толочко, Н.К.** Применение технологии экструзионной 3D-печати в литейном производстве / Н.К. Толочко, А.А. Андрушевич, П.Н. Василевский, П.С. Чугаев // *Литье и металлургия*. 2018. № 4. С. 139–144.
8. **Леушин, И.О.** Применение RP-технологии для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья / И.О. Леушин, В.А. Решетов, А.Д. Романов, А.А. Большаков // *Изв. Моск. гос. техн. ун-та МАМИ*. 2013. Т. 2. № 2. С. 229–232.
9. **Afsardis, K.** Simulation driven design for castings with effective control of manufacturing constraints / K. Afsardis // *Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland 23–27 September 2018*. P. 609–610.
10. **Голуб, Д.М.** Цифровые технологии сканирования и неразрушающего контроля геометрии литейной оснастки, отливок и других деталей в литейном производстве / Д.М. Голуб, М.А. Садоха, В.Э. Марушкевич и др. // Тр. 26-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь», 17–18 октября 2018 г. Минск, 2018. С. 96–99.
11. **Gramegna, N.** Digital transformation to Foundry 4.0 / N. Gramegna // *Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland 23–27 September 2018*. P. 605–606.
12. **Жуковский, С.С.** Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: Справ. М.: Машиностроение, 2010. 256 с.

REFERENCES

1. **Sadokha M.A.** Increasing Productive Efficiency of Casting of Ferrous and Non-ferrous Alloys. *Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland, 23–27 September 2018*, pp. 297–298.
2. **Doroshenko V.A., Chudajkin A.I., Judin V.A., Bogdanchuk S.A.** Modul'nye proizvodstvenno-tehnologicheskie komplekсы dlja melko- i sredneserijnogo proizvodstva [Modular production and technological complexes for small and medium batch production]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2012, no. 2, pp. 18–22.
3. **Dojka R.** Optimization of heavy steel casting manufacturing technology. *Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland 23–27 September 2018*, pp. 547–548.
4. **Barinov A. Ju., D'jachkov V.N., Nikitin K. V.** Primenenie additivnyh tehnologij dlja poluchenija lityh izdelij teh-nicheskogo naznachenija [Application of additive technologies for production of cast products for technical purposes]. *Litejshhik Rossii = Foundry of Russia*, 2018, no. 8, pp. 14–19.
5. **Popadnjuk S.** Devjat' shagov k sozdaniju additivnogo centra na predpriyatii [Nine steps to creating an additive center in the enterprise]. *Additivnye tehnologii = Additive technologies*, 2019, no.3, pp.24–28.
6. **Gamov E.S., Kukushkina V.A.** Teoreticheskie i tehnologicheskie predposylki additivnyh (cifrovyyh) sposobov lit'ja [Theoretical and technological prerequisites for additive (digital) casting methods]. *Litejshhik Rossii = Foundry of Russia*, 2018, no. 3, pp. 9–13.
7. **Tolochko N.K., Andrushevich A.A., Vasilevskij P.N., Chugaev P.S.** Primenenie tehnologij jekstruzionnoj 3D-pechati v litejnom proizvodstve [Application of extrusion 3D printing technology in foundry]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 4, pp.139–144.
8. **Leushin I.O., Reshetov V.A., Romanov A.D., Bol'shakov A.A.** Primenenie RP-tehnologii dlja izgotovlenija malogabaritnoj osnastki v melkoserijnom proizvodstve lit'ja [Application of RP-technology for the manufacture of small-sized tooling in small-scale production of castings]. *Izvestija Moskovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta MAMI = Bulletin of the Moscow State Technical University MAMI*, 2013, vol.2, no. 2, pp. 229–232.
9. **Afsardis K.** Simulation driven design for castings with effective control of manufacturing constraints. *Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland 23–27 September 2018*, pp. 609–610.
10. **Golub D.M., Sadokha M.A., Marushkevich V. Je** Cifrovye tehnologii skaniruvaniya i nerazrushajushhego kontrolja geometrii litejnoj osnastki, otливоk i drugih detalej v litejnom proizvodstve [Digital technologies for scanning and non-destructive testing of the geometry of foundry equipment, castings and other parts in foundry]. *Trudy 26-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Litejnoe proizvodstvo i metallurgija 2018. Belarus'», 17–18 oktjabrja 2018, Minsk [Proceedings of the 26th International Scientific and Technical Conference «Foundry and Metallurgy 2018. Belarus», October 17–18, Minsk]. 2018, pp. 96–99.*
11. **Gramegna N.** Digital transformation to Foundry 4.0. *Creative Foundry. Mat. 73th World Foundry Congress. Krakow, Poland,, 23–27 September, 2018*, pp. 605–606.
12. **Zhukovskij S.S.** *Holodnotverdejushhie svjazujushhie i smesi dlja litejnyh sterzhnej i form* [Cold hardening binders and mixtures for cores and molds]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2010, 256 p.