



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-41-46>  
УДК 621.74.669.715

Поступила 31.01.2023  
Received 31.01.2023

## ОСОБЕННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫХ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*М. А. САДОХА, Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: cadoxa@rambler.ru*  
*А. В. КРИВЦОВ, ООО «Фрос-М», г. Минск, Беларусь, ул. З. Бядули, 13*

*Рассмотрены варианты подготовки производства отливок из алюминиевых сплавов в условиях единичного и мелко-серийного производства. Установлено, что с целью сокращения сроков и стоимости получения отливок наиболее целесообразно осуществлять сквозное проектирование и изготовление технологической оснастки с применением аддитивных технологий и литье в песчано-смоляные формы, полученные по технологии «no-bake».*

**Ключевые слова.** Алюминиевый сплав, отливка, технологическая оснастка, подготовка производства.

**Для цитирования.** Садоха, М. А. Особенности и практический опыт получения сложнопрофильных отливок из алюминиевых сплавов / М. А. Садоха, А. В. Кривцов // Литье и металлургия. 2023. № 1. С. 41–46. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-41-46>.

## FEATURES AND PRACTICAL EXPERIENCE IN OBTAINING COMPLEX PROFILE CASTINGS FROM ALUMINUM ALLOYS

*M. A. SADOKHA, Belarusian National Technical University,  
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: cadoxa@rambler.ru*  
*A. V. KRYUTSOV, Fros-M LLC, Minsk, Belarus, 13, Z. Byaduli str.*

*Variants of preparation of production of castings from aluminum alloys in conditions of single and small-scale production are considered. It is established that in order to reduce the time and cost of obtaining castings, it is most expedient to carry out end-to-end design and manufacture of technological equipment using additive technologies and casting in sand-resin molds obtained using the “no-bake” technology.*

**Keywords.** Aluminum alloy, casting, technological equipment, production preparation.

**For citation.** Sadokha M. A., Kryutsou A. V. Features and practical experience in obtaining complex profile castings from aluminum alloys. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 1, pp. 41–46. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-41-46>.

Несмотря на увеличивающуюся долю в структуре мировой экономики сферы услуг, продукция промышленности (в том числе машиностроения) остается важной и зачастую определяющей составляющей в реализации прогрессивных разработок и проектов. Дальнейшее развитие современного общества требует повышения уровня продукции машиностроения, используемой в транспорте, медицине, строительстве и т. д.

В существующих реалиях конкурентной борьбы для сохранения экономической состоятельности перед машиностроительными предприятиями стоят задачи по уменьшению времени на разработку и вывод на рынок новых продуктов, повышению их технического уровня и эксплуатационных и потребительских свойств, управлению качеством, уменьшению затрат. Это обуславливает необходимость разработки новых подходов к реализации всех этапов разработки и изготовления изделий.

Одним из наиболее перспективных путей решения данной задачи может стать использование принципа «синтеза технологий», т. е. адаптация знаний, процессов и технических средств из сторонних и смежных областей. Продукция литейного производства неизменно составляет основу для изготовления большинства видов изделий практически всех отраслей машиностроения.

Описанные выше требования к развитию машиностроения в целом актуальны и для литейного производства как части машиностроения. Причем такие подходы в зависимости от серийности производства могут иметь заметное отличие.

При бурном развитии машиностроения и постоянном обновлении и создании новых видов продукции постоянной является потребность в изготовлении как единичных опытных образцов, так и малых серий отливок. Важнейшей стадией в производстве отливки является период от разработки технического задания на литье до получения опытных годных отливок (период подготовки (освоения) производства). Именно эта стадия определяет как сроки начала реального производства отливок, так и экономические параметры этого производства [1–4].

В общем случае процесс освоения производства отливок можно условно разделить на ряд отдельных этапов:

- разработка чертежа отливки по заданному чертежу детали;
- разработка конструкторской документации на литейную оснастку;
- изготовление литейной оснастки;
- изготовление опытной партии отливок.

Продолжительность и стоимость выполнения каждого из этапов зависит от многих факторов, в том числе от производственной программы, применяемого технологического оборудования в конкретном литейном производстве, сроков реализации и т. п.

Все варианты объединяет одно общее требование – минимальные сроки реализации при минимальных затратах и последующей самой низкой цене отливок.

Рассмотрим подробнее отдельные этапы и их вклад в общие затраты ресурсов и времени при организации производства отливок.

**Разработка чертежа отливки по заданному чертежу детали.** Данный этап начинается с разработки чертежа детали конструктором изделия, который может не знать всех требований технологии литья и разрабатывать конструкцию детали исходя только из условий работоспособности конструкции. На этом этапе необходимо определить по какой технологии будет изготавливаться отливка, какие свойства будет иметь отливка при получении определенным способом и как эти свойства соответствуют техническим требованиям детали. Чаще всего к таким требованиям относятся точность размеров и расположения поверхностей, твердость, прочностные характеристики, балл зерна, герметичность, допуски на наличие дефектов (в том числе внутренних), химический состав и т. д. В такой ситуации важно активное участие литейщиков в данной работе, которые должны анализировать конструкцию детали и предлагать в ней такие изменения, которые обеспечат условия для получения отливок с заданными характеристиками (геометрическими, физико-механическими и т. д.).

**Разработка конструкторской документации на литейную оснастку.** В соответствии с выбранной технологией изготовления отливки выполняется разработка литейной оснастки. На этом этапе необходимо определить оптимальное расположение отливки, тип литниковой системы, предварительные технологические режимы, геометрические параметры отдельных элементов литниковой системы с учетом оптимального режима заполнения и кристаллизации металла. Последовательность работы такова: разработка отливки, разработка технологии литья, разработка технологической оснастки. При исключении ряда формальных промежуточных этапов данная работа может быть выполнена примерно в 3–5 раз быстрее по сравнению с классическим вариантом организации процесса.

**Изготовление литейной оснастки.** Является самым затратным и длительным по времени этапом подготовки производства отливок. На сегодняшний день существует относительно широкий спектр технологий и материалов для изготовления оснастки. При выборе способа и материала обычно исходят из следующих исходных данных: техпроцесс, по которому будет изготавливаться отливка, требуемая точность оснастки, ресурс оснастки (планируемая программа производства), срок изготовления, стоимость.

**Изготовление опытной партии отливок.** На этом этапе выполняется уточнение технологических режимов изготовления отливки с учетом соответствия заданным требованиям. Для контроля указанных выше требований могут применяться как распространенные методы и инструментарий (средства измерения, твердомеры, разрывные машины, разрезание отливки), так и современные технические методы, например, рентгеноскопия с последующим построением на основании полученных данных 3D-модели отливки, отображающей плотность металла по всему телу отливки.

Известно, что выбор того или иного варианта подготовки производства в значительной мере зависит от серийности изготовления отливок. Так, установлено, что при использовании литейной технологической оснастки, изготовленной с применением аддитивных технологий при единичном и мелкосерийном производстве отливок, общие затраты на оснастку для обеспечения производства меньше, чем в случае применения традиционной (классической) оснастки, изготовленной способами механической обработки (рис. 1).

С увеличением серийности разница затрат уменьшается. Это можно объяснить тем, что срок службы оснастки традиционной зачастую существенно больше, чем оснастки, изготовленной с применением аддитивных технологий, хотя и первоначальные затраты на нее также существенно выше. Однако следует отметить, что и сроки изготовления традиционной оснастки при этом значительно больше.

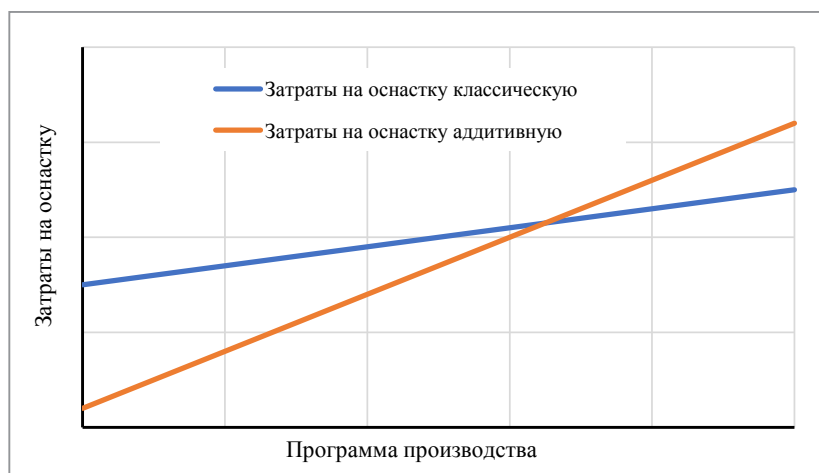


Рис. 1. Схема зависимости затрат на технологическую оснастку от программы производства (конкретные значения зависят от параметров отливки)

В результате анализа всех рассмотренных выше аспектов освоения производства новых отливок и на основе предварительно проведенных научно-исследовательских работ было установлено, что для освоения единичного и мелкосерийного производства отливок оптимальным является следующий подход.

Разработку технологии литья и необходимой документации для подготовки производства представляется оптимальным выполнять с применением САПР в виде сквозной работы без промежуточного выпуска бумажной документации.

Изготовление необходимой технологической оснастки представляет собой самый затратный и длительный по времени этап подготовки производства отливок. При классическом подходе к его выполнению требуется применение большого количества и видов дорогостоящих разнообразных материалов, разработка технологий изготовления отдельных деталей, привлечение различного оборудования по механической обработке. В отдельных случаях этот этап может занимать до полугода и больше (в зависимости от сложности отливок). Проведенные исследования и изучение мирового опыта показывает, что при подготовке единичного и мелкосерийного производства отливок для изготовления требуемой технологической оснастки представляется рациональным использование современных аддитивных технологий. Это позволяет примерно в 5 раз и более сократить сроки выполнения данного этапа по сравнению с классическим подходом к выполнению подобных работ. При этом процесс передачи документации на изготовление может быть в цифровом формате, а работы по изготовлению могут проводиться параллельно с проектированием, что позволяет значительно сократить как сроки, так и стоимость подготовки производств отливок.

Также в ходе анализа вариантов типа применяемых форм для получения опытных разовых отливок или малой серии установлено, что рациональным в большинстве случаев является использование разовых песчано-смоляных форм, изготовленных по технологии «no-bake». Преимущества данного процесса следующие:

- высокая точность отливок (приблизжена к литью в кокиль);
- возможность быстрой корректировки процесса литья в случае наличия определенного вида дефектов в отливках;
- возможность применения комбинированных форм как с металлическими элементами, так и с использованием литейных стержней из различных материалов;
- возможность накопления и складирования форм или отдельных их элементов с целью оптимизации организации производства под условия предприятия.

В условиях ООО «Фрос-М» (г. Минск) выполнен комплекс научно-исследовательских и практических работ по отработке всех этапов подготовки производства отливок и получению малых партий ряда сложнопрофильных отливок из алюминиевых сплавов. На рис. 2 представлены отдельные моменты проведения данных работ.

Внешний вид технологической оснастки на отливку детали «Картер», изготовленной с применением аддитивных технологий, показан на рис. 3.

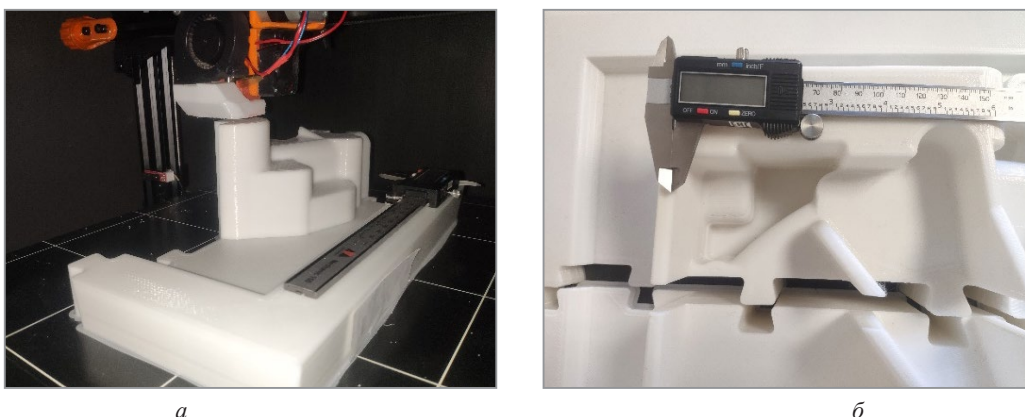


Рис. 2. Рабочие моменты проведения исследовательских и практических работ по подготовке производства и получению отливок: *а* – изготовление элементов форм с применением аддитивных технологий; *б* – сборка моделей

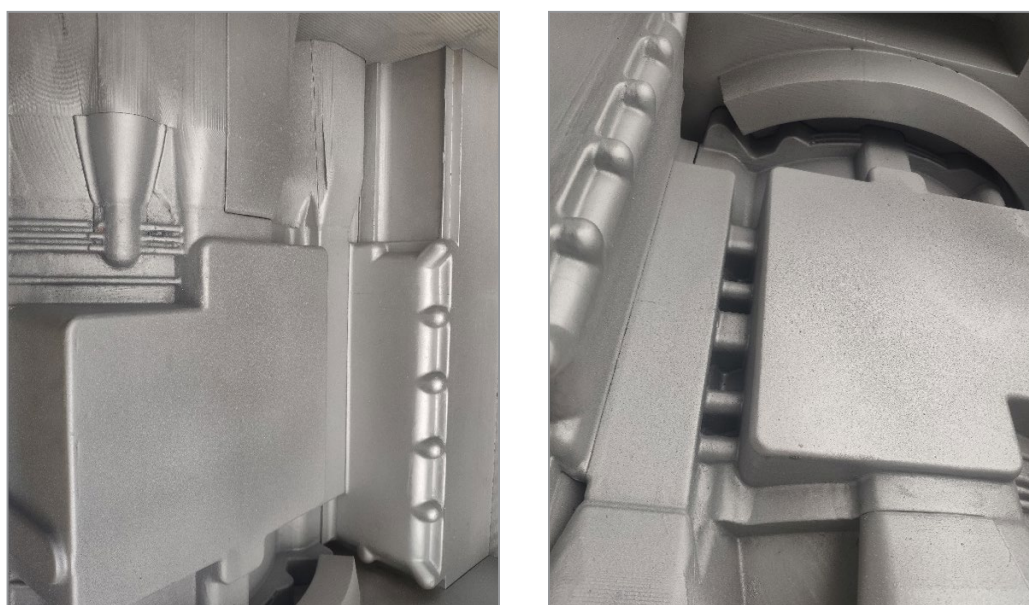


Рис. 3. Технологическая оснастка для получения отливки «Картер»

Изготовление форм выполняли по технологии «no-bake» из песчано-смоляных смесей. Вид части формы для получения отливки детали «Картер» показан на рис. 4.

Получаемые отливки полностью соответствуют всем требованиям технической документации (причем большинство из них при больших габаритах имеют повышенные требования по герметичности), имеют высокую точность и качество поверхностей (рис. 5).

Контроль качества получаемых отливок в процессе отработки технологии проводили различными методами, в том числе и с применением рентгеновского оборудования (рис. 6), которые позволяли без разрушения быстро оценивать качество отливки и оперативно вносить необходимые коррективы в технологию литья.

Получаемые отливки нашли применение в ответственных узлах и агрегатах машиностроительных изделий, к которым предъявляются повышенные требования по качеству и эксплуатационным характеристикам.

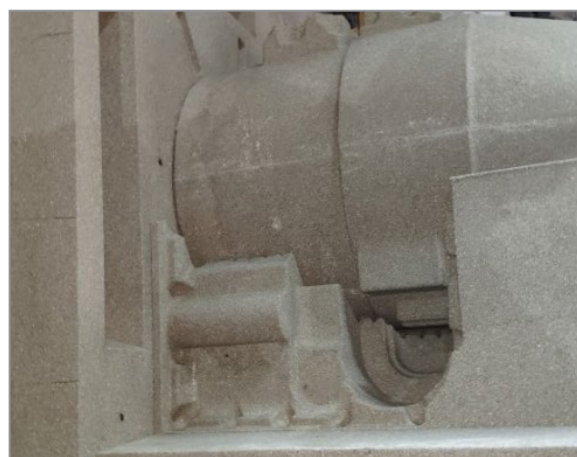


Рис. 4. Вид части формы для получения отливки детали «Картер»

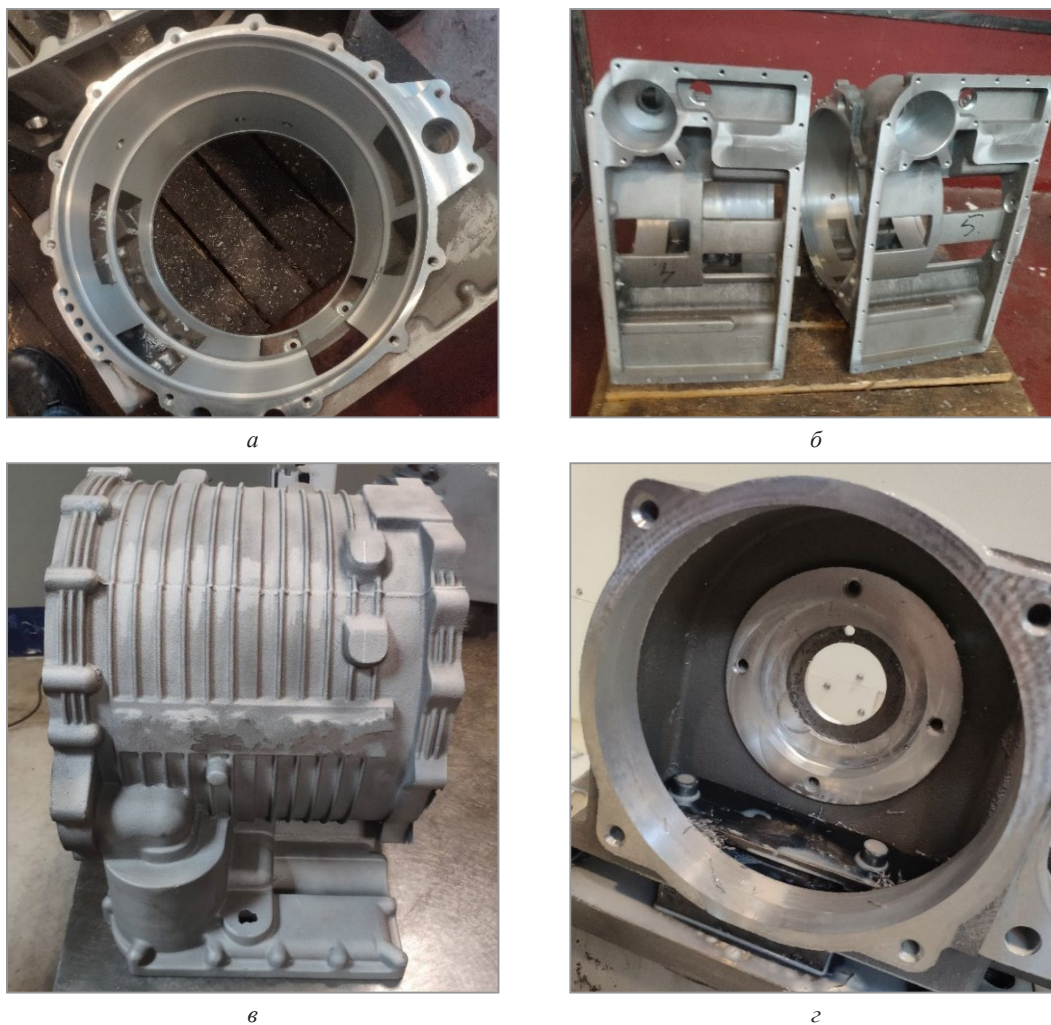


Рис. 5. Общий вид отливок после предварительной механической обработки, получаемых по разработанной технологической схеме: а–в – отливка детали «Картер»; г – отливка детали «Корпус»

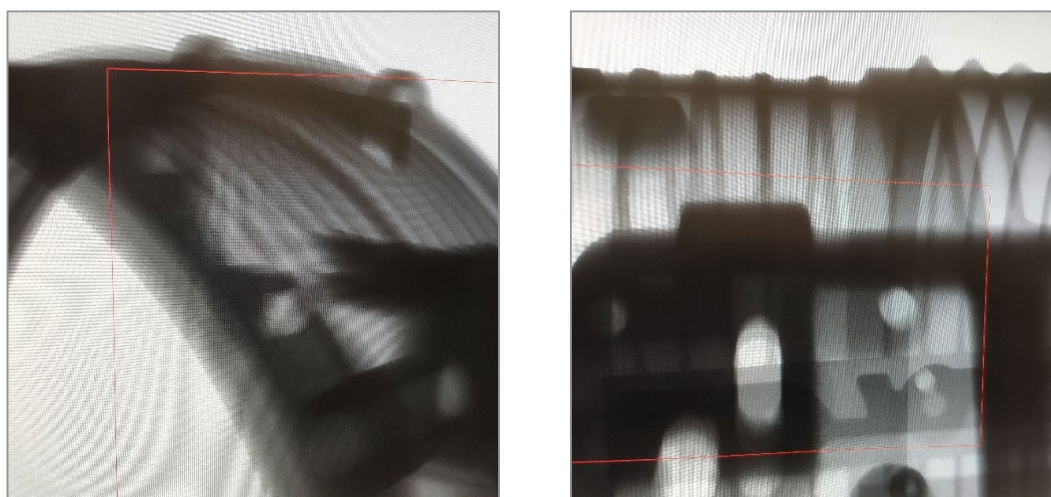


Рис. 6. Вид отливки детали «Картер» на рентгенографическом комплексе

По итогам проведенных работ была сделана оценка сроков выполнения подготовки производства на примере отливки «Корпус». Примерные средние сроки основных этапов представлены на рис. 7.

Варианты подготовки производства отливок включают в себя разработку технологии литья, необходимой конструкторской документации как на отливку, так и на оснастку, изготовление комплекта технологической оснастки, отработку технологии литья с доработкой оснастки и т.п. Однако в случае

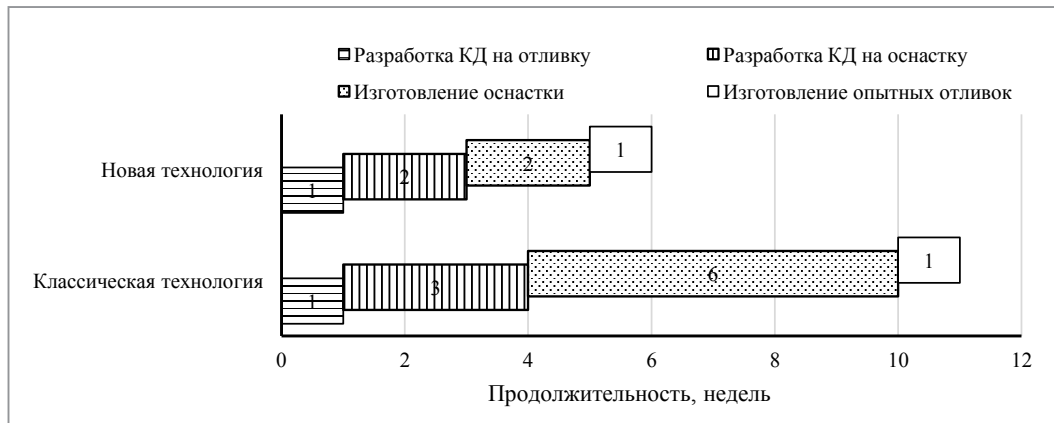


Рис. 7. Продолжительность подготовки производства отливок

классической схемы сроки выполнения почти в 2 раза выше по сравнению с применением для этого аддитивных технологий. Затраты также имеют примерно такое же соотношение.

На основании выполненных исследований и работ можно сделать ряд выводов относительно применения аддитивных технологий при освоении производства единичных отливок и малых серий:

1. Примененные подходы при освоении производства единичных отливок и малых серий полностью подтвердили их конкурентоспособность.
2. Отливки могут быть получены в кратчайшие сроки, что значительно ускоряет изготовление необходимых изделий машиностроения.
3. Качество, точность и внешний вид отливок сопоставимы с отливками, получаемыми методом литья в кокиль.
4. С применением таких технологических подходов можно производить отливки массой от нескольких граммов до сотен килограммов и в широком диапазоне габаритных размеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Волочко А. Т., Садох М. А.** *Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий*. Минск: Беларуская навука, 2011. 387 с.
2. **Садох М. А., Ровин С. Л.** Получение отливок в условиях мелкосерийного и единичного производства // *Литейное производство*. 2021. № 4. С. 35–38.
3. **Садох М. А., Андрушевич А. А.** Технология рафинирования алюминиевых сплавов продувкой газами // *Литье и металлургия*. 2021. № 1. С. 38–42.
4. **Андрушевич А. А., Садох М. А.** Усадочные явления в силуминах при обработке модификаторами длительного действия // *Литье и металлургия*. 2022. № 3. С. 30–35.

## REFERENCES

1. **Volochko A. T., Sadokha M. A.** *Aljuminij: tehnologii i oborudovanie dlja poluchenija lityh izdelij* [Aluminum: technologies and equipment for the production of cast products]. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2011, 387 p.
2. **Sadokha M. A., Rovin S. L.** Poluchenie otlivok v uslovijah melkoserijnogo i edinichnogo proizvodstva [Obtaining castings in conditions of small-scale and single-piece production]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2021, no. 4, pp.35–38.
3. **Sadokha M. A., Andrushevich A. A.** Tehnologija rafinirovanija aljuminievych splavov produvkoy gazami [Technology for refining aluminum alloys by blowing gases]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 1, pp.38–42.
4. **Andrushevich A. A., Sadokha M. A.** Usadochnye javlenija v siluminah pri obrabotke modifikatorami dlitel'nogo dejstvija [Shrinkage phenomena in silumins when treated with long-acting modifiers]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 3, pp. 30–35.