



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-47-53>
УДК 621.74; 621.792; 669.53.01.99; 621.88

Поступила 06.02.2025
Received 06.02.2025

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ

М. Л. КАЛИНИЧЕНКО, В. А. КАЛИНИЧЕНКО, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: m.kalinichenko@bntu.by
А. А. АНДРУШЕВИЧ, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 99/2

В работе рассмотрены актуальные подходы при создании элементов модельных комплектов для мелкосерийного и индивидуального производств на основе отходов алюминиевых сплавов. Целью данного исследования было изучение возможности применения отходов литейного производства алюминиевых сплавов и высокопористых материалов для сокращения стоимости изготовления элементов модельного комплекта, а также разработка рекомендаций по закрытию пор высокопористых материалов.

Ключевые слова. Литейное производство, модельные комплекты, отходы алюминиевых сплавов, высокопористые материалы.

Для цитирования. Калининченко, М. Л. Применение пористых материалов, в том числе отходов литейного производства, для создания элементов модельных комплектов / М. Л. Калининченко, В. А. Калининченко, А. А. Андрушевич // *Литье и металлургия*. 2025. № 1. С. 47–53. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-47-53>.

USAGT STUDY OF CREATING MODEL KITS PARTS WITH THE HELP OF POROUS MATERIALS, INCLUDING FOUNDRY WASTE

M. L. KALINICHENKO, V. A. KALINICHENKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosty Ave. E-mail: m.kalinichenko@bntu.by
A. A. ANDRUSHEVICH, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, 99/2, Nezavisimosti Ave.

The paper considers current approaches to creating model kits parts for small-scale and individual production based on aluminum alloy waste. The aim of this study was to examine the prospects for using foundry waste of aluminum alloys and highly porous materials, in order to minimize the cost of manufacturing a model kit, as well as to develop recommendations for closing the pores of highly porous materials.

Keywords. Foundry, model kits, aluminum alloy waste, highly porous materials.

For citation. Kalinichenko M. L., Kalinichenko V. A., Andrushevich A. A. Usagt study of creating model kits parts with the help of porous materials, including foundry waste. *Foundry production and metallurgy*, 2025, no. 1, pp. 47–53. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-47-53>.

Процесс изготовления модельного комплекта является одним из основных этапов при получении отливки. Его качество напрямую зависит от увеличения точности получаемой отливки и значительно влияет на себестоимость готового изделия за счет уменьшения затрат на механическую обработку, которая может составлять около 50% стоимости готовой детали. Как следствие, промышленность заинтересована в изготовлении модельного комплекта с высоким качеством поверхности, максимальной долговечностью, легкостью при транспортировке и хранении, а также, по возможности, низкой стоимостью. Наиболее близкими параметрами к предъявляемым требованиям обладают модельные комплекты, изготовленные из металла или модельных пластиков, которые не являются дешевыми. В случае применения металлического модельного комплекта удешевление практически невозможно. При использовании пластиковых комплектов существуют достаточно большие возможности для снижения их стоимости: это и изготовление пластикового модельного комплекта в композиции с древесиной или более дешевыми пластиками с помощью технологии склеивания, а также изготовление из пластика оболочки,

заполненной каким-либо наполнителем. Модельные комплекты с наполнителем из склеенных отходов пластика рассмотрены в работах [1, 2].

Цель данного исследования — изучение возможности применения отходов литейного производства алюминиевых сплавов и высокопористых материалов для сокращения стоимости изготовления элементов модельного комплекта, а также разработка рекомендаций по закрытию пор высокопористых материалов.

Авторы предложили концепцию использования в качестве наполнителя алюминиевых шлаков и вспененных материалов. Утилизация отходов литейного производства, так же как любых других отходов, является актуальной задачей как для экономической безопасности страны, так и для максимального увеличения прибыли от рециклинга имеющихся материалов и снижения затрат на утилизацию и экологический сбор для конкретного предприятия.

Условно все отходы можно разделить на две категории: токсичные (смолы, масла, СОЖ и т.д.); нетоксичные (лом, отходы формовочного производства и промышленные шлаки).

Утилизация первой группы отходов в работе не рассматривается. Во второй группе лом поступает на переработку при выполнении основного технологического процесса. Научный интерес представляет переработка шлака. При наличии ряда технологических решений, например плавки в ротационных печах, в соляных ваннах и т.д., из шлаков можно извлечь до 90% металла [3, 4]. Однако при отсутствии технологии переработки либо специальной оснастки процессы переработки шлака не представляются возможными.

В качестве наполнителя модельного комплекта использовали материалы с малыми порами и высокопористые материалы. Если исследование применения материалов с малым размером пор было изучено авторами ранее в работах [5, 6], то закрытие пор высокопористых материалов слабо изучено.

Авторами предложена технология создания элементов модельных комплектов на основе шлаков и отходов алюминиевого литья для мелкосерийного и индивидуального производств [7–9]. Проведено ряд работ по покрытию шлаковых компонентов современными материалами, обладающими способностью сглаживать поверхность и улучшать ее свойства [10]. В качестве объекта исследования выбраны алюминиевые шлаки и высокопористые алюминиевые материалы. После проведения первоначальных механических испытаний [8] принято решение изготовления образцов, являющихся прототипами модельной оснастки. Изготовлены три группы образцов: на основе склеенного высокопористого алюминия в форме прямоугольного параллелепипеда; склеенных более плотных алюминиевых шлаков в форме цилиндра и усеченной пирамиды. Для придания им тела все образцы склеивали влагостойким белорусским клеем на эпоксидной основе. Далее одну часть образцов подвергали шлифовке на наждачном круге, другую — токарной и фрезерной обработке. Образцы хорошо вынесли приложенные к ним нагрузки, возникающие как при вращении образца в случае токарной обработки, так и при вращении режущего инструмента в случае фрезерования. Из-за невозможности закрытия поверхностных пор методами механической обработки было принято решение сгладить поверхность с помощью термоусадочных материалов, таких, как полиолефиновая термоусаживаемая трубка [4].

Основное свойство термоусаживаемой трубки — способность сжиматься (усаживаться) под воздействием высокой температуры (от 90 до 125 °С). Процесс усадки происходит очень быстро. При использовании теплового пистолета (фена) термоусадочная трубка полностью повторяет контуры предмета, что делает ее легкой в применении [11]. Благодаря нагреванию термоусадочная трубка плотно и очень надежно охватывает изолируемый предмет, обеспечивая хорошую изоляцию, а также предоставляет механическую защиту. По толщине стенки делятся на тонкие, средние, толстые [11]. Учитывая незначительные размеры образцов и их габариты, были использованы термоусадочные трубки фирмы KLS Electronic (Китай) красного и черного цветов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Свойства термоусадочных труб фирмы KLS Electronic

Цвет термоусадочной трубы	Температура усаживания, °С	Диаметр трубы до/после усадки, мм	Толщина стенки трубы до/после усадки, мм	Рабочая температура, °С
Красный	+90 – +125	30/15	0,35/0,45	–20 – +80
Черный	+90 – +125	50/25	0,6/0,8	–45 – +125

Для апробации эффекта сглаживания взяты образцы из группы высокопористого алюминия, которые покрыты термоусадочными трубками с низкой и высокой толщиной стенки (рис. 1).

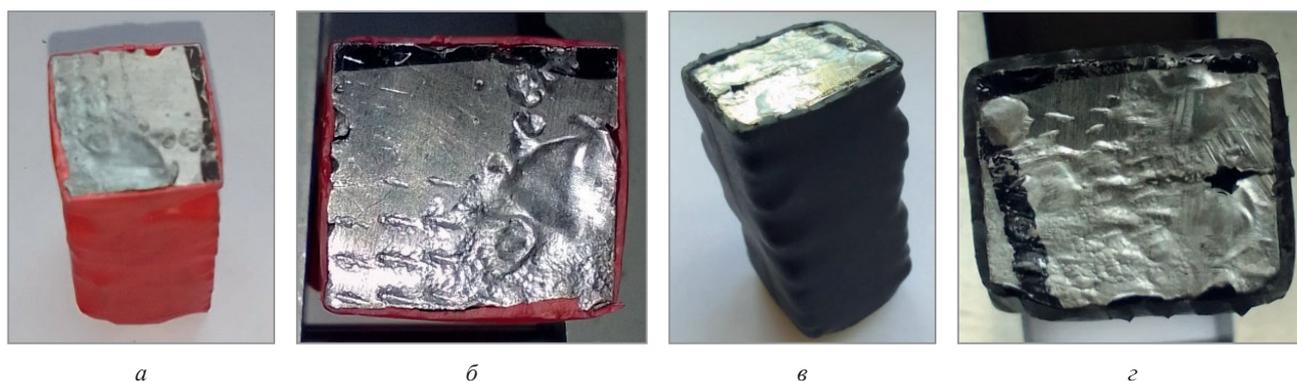


Рис. 1. Вид склеенных образцов высокопористого алюминия с термоусадочным покрытием:
а, б – образцы, покрытые термоусадочной трубкой толщиной 0,35 мм;
в, з – образцы, покрытые термоусадочной трубкой толщиной 0,6 мм

Из рисунка видно, что термоусадочное покрытие толщиной 0,35 мм хоть и облагораживает поверхность, однако полностью копирует все углубления, при применении более толстого покрытия наблюдается тот же эффект, но с менее выраженными явлениями. Исходя из анализа поверхности, решено увеличить количество термоусадочных слоев. Для этого на некоторые образцы, уже покрытые красной (0,35 мм) и черной (0,6 мм) термоусадочной трубкой, был посажен еще один слой трубы толщиной 0,6 мм.

В случае более плотных материалов, основанных на алюминиевых шлаках, имеющих относительно не высокую пористость, решено использовать один слой черной термоусадочной трубы исключительно для скрытия поверхностных неровностей (рис. 2).

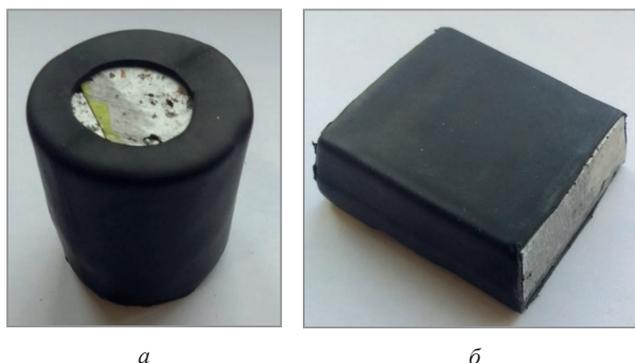


Рис. 2. Вид склеенных образцов алюминиевого шлака с термоусадочным покрытием:
а – образец цилиндрической формы с покрытием толщиной 0,6 мм;
б – образец формы усеченной пирамиды с покрытием толщиной 0,6 мм

Таким образом, можно сделать вывод о возможности создания гладких, износостойких модельных комплектов на основе различных типов алюминиевых шлаков и пористых материалов. Срок службы данных изделий будет зависеть как от качества применяемого клеевого состава, так и от износостойкости термопластика. Однако, учитывая даже минимальную стойкость к механическим разрушениям полученной композиции из термоусадочной трубы и пористого металла, она должна в несколько раз превышать стойкость штучных гипсовых моделей [12]. Тем не менее, несмотря на эффективность, данный способ не удешевляет процесс изготовления модельного комплекта. Как следствие, представляет интерес использование максимально быстрого и дешевого способа заливки высокопористого материала.

Для решения поставленной задачи применен наполнитель (компаунд) марки Axson F40-1 POLYOL, работающий совместно с отвердителем Axson F40 ISOCYANATE — это быстроотверждающаяся полиуретановая смола, используемая для изготовления инструментов для литейных цехов, таких, как формовочные ящики, литейные формы, модельные плиты и любые детали или инструменты, требующие устойчивости к истиранию. Данный материал подходит для изготовления, например, мастер-моделей, моделей-оснований, негативов и шаблонов больших размеров и характеризуется низкой усадкой [13]. Некоторые физические свойства данного компаунда приведены в табл. 2.

В качестве наполнителя использовали высокопористый вспененный алюминий, полученный по Alcan-Norsk-процессу (рис. 3).

Таблица 2. Физические свойства быстроотверждающейся полиуретановой смолы Axson F40-1 POLYOL [14]

Физические свойства	ISOCYANATE F40	POLYOL F40-1	Смесь
Соотношение смешивания по массе	20	100	
Соотношение смеси по объему при 25 °С	29	100	
Цвет	Темно-янтарный	Голубой	Голубой
Вязкость при 25 °С, мПа·с	60	3000	2000*
Плотность при 25 °С, г/см ³	1,22	1,75	–
Плотность полимеризованного продукта при 25 °С, г/см ³	–	–	1,70
Жизнеспособность при 25 °С для 180 г, мин			5'25–6'30

* На 1-й минуте и 30-й секунде.

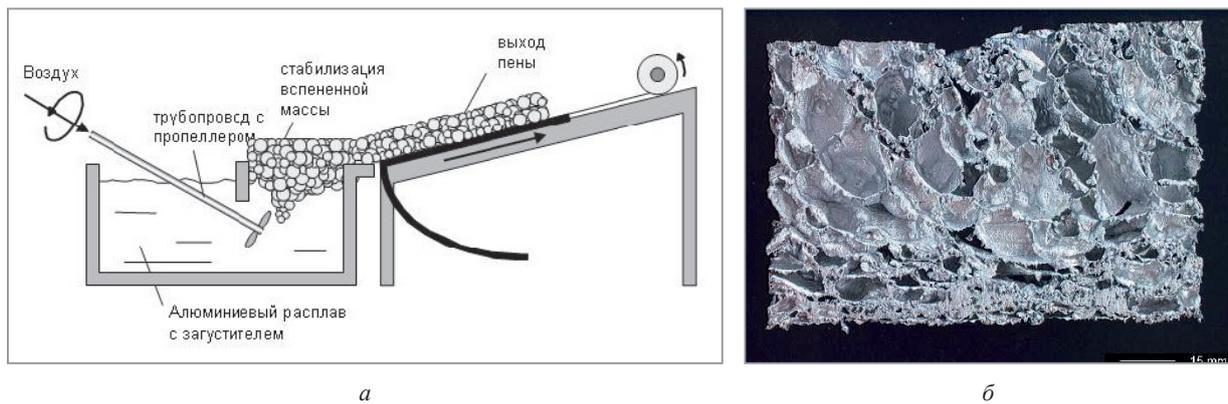


Рис. 3. Вспененный алюминий, полученный по Alcan-Norsk-процессу:

а – схема получения вспененного алюминия по Alcan-Norsk-процессу; *б* – вид образца вспененного алюминия

Для изучения глубины проникновения модельного компаунда в поры была проведена прямая заливка компаундом образца высокопористого алюминия в изложнице (рис. 4, *а*). После затвердевания материала полученный образец распиливали (рис. 4, *в*).

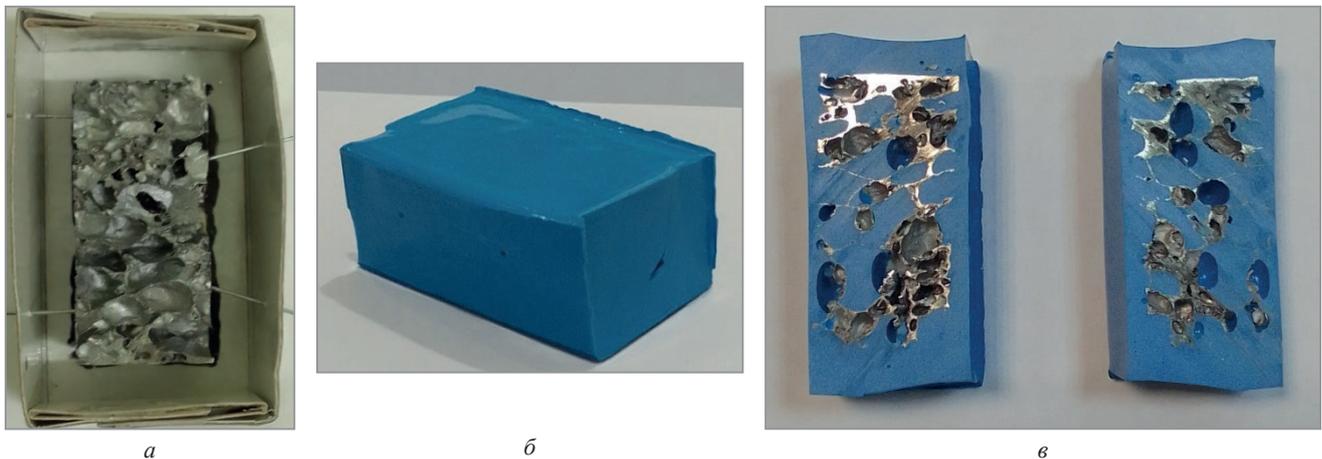


Рис. 4. Процесс заливки компаундом высокопористого алюминия (без изоляции пор):

а – вид образца в изложнице до испытаний; *б* – вид образца после заливки компаундом; *в* – вид разрезанного образца

При таком использовании пористого материала происходит полное заполнение пор, что не влияет на уменьшение массы полученной заготовки, а также на снижение ее стоимости. При этом возможно некоторое увеличение прочностных характеристик в результате армирования полученного материала металлическими включениями. Следовательно, чтобы добиться успеха в снижении массы, которая влечет за собой снижение расхода пластической массы и, как следствие, снижает себестоимость получаемого изделия, актуальным является создание изолирующего слоя, который может исключить процесс пропитки вспененного материала компаундом.

Для решения поставленной задачи была проверена изоляция перед заливкой с помощью промышленной стрейч-пленки (PE) толщиной 23 мкм и промышленного скотча. Были изготовлены высокопористые образцы алюминия, покрытые в первом случае промышленной стрейч-пленкой, во втором — обмотаны

промышленным скотчем. В процессе изоляции пор отмечено слабое крепление промышленной пленки к телу металлической пены в отличие от липкого скотча, что привело к необходимости многослойного нанесения пленки. Далее образцы были размещены в изложницы, заполнены наполнителем и после высыхания разрезаны (рис. 5, *а, б*).

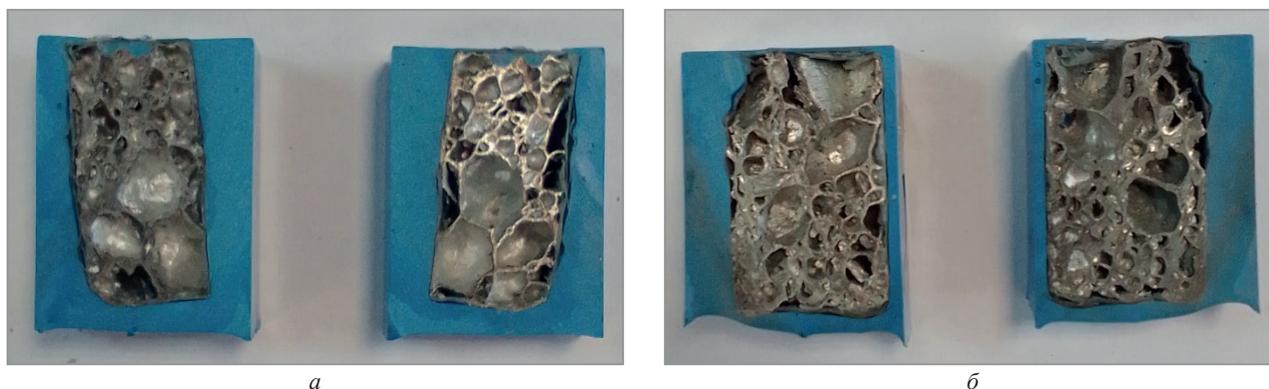


Рис. 5. Общий вид образцов (с изоляцией пор) в разрезе после заливки компаундом:
а – с изоляцией пор с помощью промышленной стрейч-пленки; *б* – с изоляцией пор с помощью промышленного скотча

Интерес представляет изучение зоны раздела компаунд/ изолирующий материал/высокопористый материал. Для этого были проведены исследования с помощью микроскопа Planar MICROvert. Результаты представлены на рис. 6.

Анализ образцов показал, что наиболее плотное примыкание к компаунду разделительного покрытия происходит в образцах, изготовленных с применением промышленной стрейч-пленки (рис. 6, *а*).

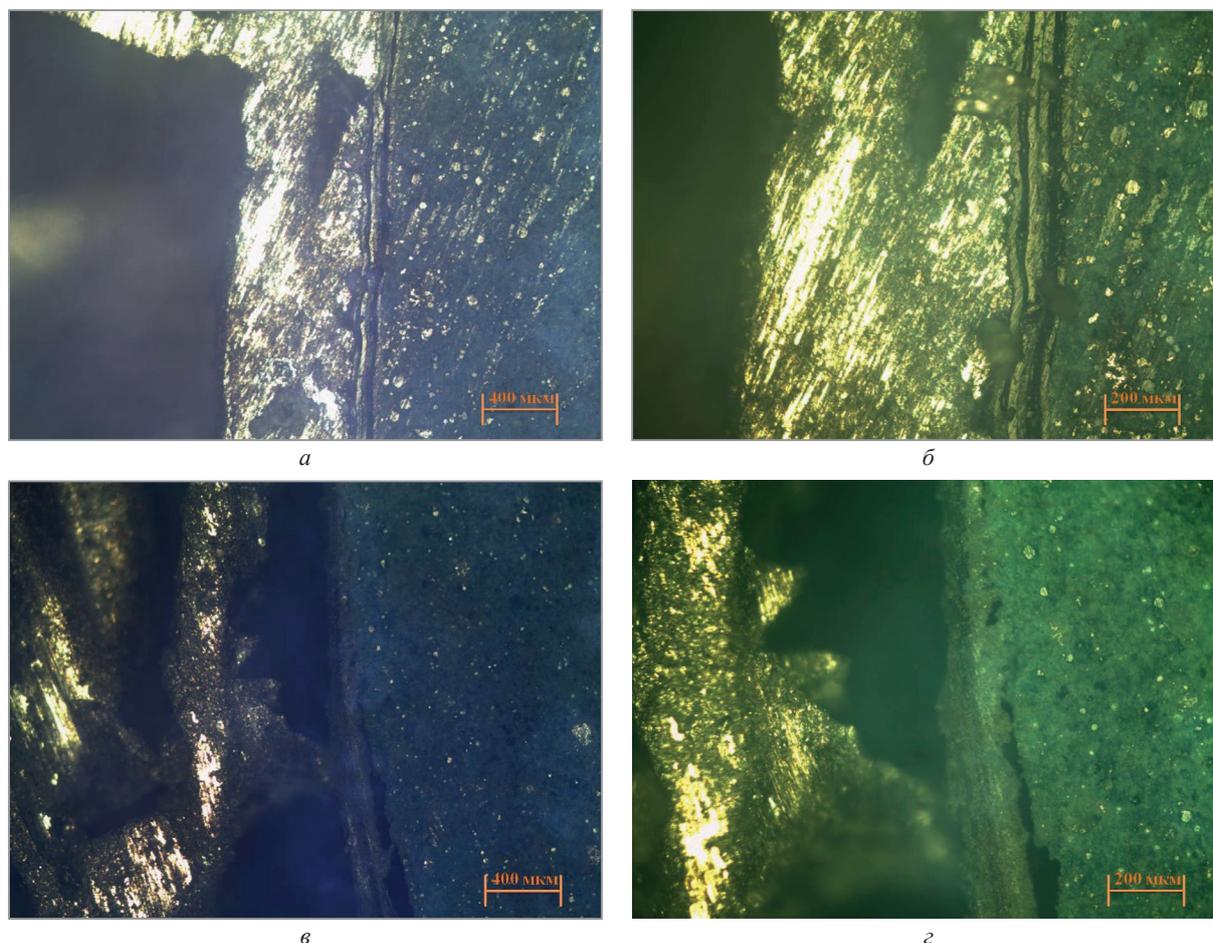


Рис. 6. Исследование образцов в зоне раздела компаунд / изолирующий материал / высокопористый материал при увеличении 50 и 100 крат: *а, б* – изолирующий материал – промышленная стрейч-пленка; *в, г* – изолирующий материал – промышленный скотч

При использовании промышленного скотча наблюдается зазор между ним и компаундом (рис. 6, в, з), до 2 раз превышающий зазор на образце с промышленной стрейч-пленкой. При применении промышленной стрейч-пленки, наложенной в несколько слоев, наблюдаются зазоры не только между пленкой и компаундом, но и между отдельными слоями пленки (рис. 6, б). Толщина зазоров варьируется на уровне 10 мкм в обоих случаях, что не отражается на укрытии пористого тела от заполнения компаундом. Однако с точки зрения технологичности применение промышленного скотча является наиболее приемлемым.

Выводы

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод о возможности создания элементов модельных комплектов на основе вспененных материалов и отходов литейного производства, покрытых специальным модельным компаундом.

Разделительные и покровные материалы, рассмотренные в работе, показали эффективность укрытия пор. Несмотря на то что промышленный скотч и стрейч-пленка ведут себя одинаково эффективно, окончательный выбор материала осуществляется исходя из технологичности процесса герметизации пор.

Использование высокопористого материала приводит к значительному снижению массы модельного комплекта. Так, при заготовке объемом 1000 см³ масса стальной модели составляет 7 850 г, а комбинированная модель на основе вспененного материала с покрытием такого же объема – 534 г. Снижение массы составило 93%. При заготовке объемом 8000 см³ масса стальной модели составляет 62 800 г, а комбинированной – 2549 г, что снижает массу модельного комплекта на 96%.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Крещик, А. А.** Технология приготовления материала с использованием полиуретановых отходов для производства модельной оснастки / А. А. Крещик, Д. В. Сухоруков, В. А. Кечин // *Литейщик России*. – 2021. – № 12. – С. 21–25.
2. **Крещик, А. А.** Технология изготовления модельно-стержневой оснастки с использованием полимерных отходов собственного производства / А. А. Крещик, В. А. Кечин // *Литейщик России*. – 2023. – № 4. – С. 29–33.
3. Анализ процесса плавки алюминиевой стружки и шлака в короткопламенной роторной печи / Л. В. Трибушевский [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 2. – С. 42–48.
4. **Калиниченко, М. Л.** Создание модельных комплектов из отходов алюминиевого производства при помощи аддитивных технологий склеивания и послойного нанесения продукта / М. Л. Калиниченко, В. А. Калиниченко // *Сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп. (Минск, 25 сент. 2024 г.)* – Минск: Беларуская навука, 2024. – С. 122–132.
5. **Калиниченко, М. Л.** Технология склеивания: теория, практика, материалы / М. Л. Калиниченко, Л. П. Долгий, В. А. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2021. – 187 с.
6. **Калиниченко, М. Л.** Инновационное решение крепления цельнометаллических и пористых тел с помощью склеивания / М. Л. Калиниченко // *Веснік Гродз. дзярж. унів. імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка*. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 13–26.
7. **Калиниченко, М. Л.** Модельные комплекты на основе вспененных материалов / М. Л. Калиниченко, Б. М. Немененок // *Интеллектуальный потенциал Минской области: механизмы и инструменты роста: материалы науч.-практ. конф. ученых, учащихся и специалистов предприятий, 24 ноября 2022 г.* – Жодино, 2022. – С. 34–36.
8. **Калиниченко, М. Л.** Методика визуальной оценки клеевого шва на примере соединения элементов модельных комплектов, созданных из отходов производства / М. Л. Калиниченко // *Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы X междунар. науч.-техн. конф., Саратов, 16–17 мая 2023 г.* – Саратов: Армит, 2023. – С. 546–551.
9. **Калиниченко, М. Л.** Создание литейных модельных комплектов из отходов производства с помощью технологии склеивания / М. Л. Калиниченко // *Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии: тезисы докладов IV Междунар. науч.-техн. конф.* – Н. Новгород, 2023. – С. 257–258.
10. **Калиниченко, М. Л.** Создание литейных модельных комплектов на основе пористых пенообразных алюминиевых шлаков / М. Л. Калиниченко // *Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 17 ноября 2023 г.: в 2-х ч.* – Гомель, 2023. – Ч. 2. – С. 16–20.
11. ПВС – Энергоплюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pvs.by/1386/1663/1678/>. – Дата доступа: 12.10.2023.
12. **Калиниченко, М. Л.** Оценка механических свойств склеенных элементов для модельных комплектов / М. Л. Калиниченко, Б. М. Немененок // *Литье и металлургия*. – 2023. – № 2. – С. 100–106.
13. FormX Webshop [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.formx.eu/. – Дата доступа: 12.12.2024.
14. Antichita Belsito [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.antichitabelsito.it/schede/Resina_Poliuretantica_Axson_F40.pdf/. – Дата доступа: 12.12.2024.

REFERENCES

1. **Kreschik A. A., Sukhorukov D. V., Kechin V. A.** Tekhnologiya prigotovleniya materiala s ispol'zovaniem poliuretanovykh othodov dlya proizvodstva model'noj osnastki [Technology of material preparation using polyurethane waste for the production of model equipment]. *Litejshchik Rossii = Russian Foundryman*, 2021, no. 12, pp. 21–25.
2. **Kreschik A. A., Kechin V. A.** Tekhnologiya izgotovleniya model'no-sterzhnevoj osnastki s ispol'zovaniem polimernykh othodov sobstvennogo proizvodstva [Technologies for manufacturing model-rod tooling using polymer waste of own production]. *Litejshchik Rossii = Russian Foundryman*, 2023, no. 4, pp. 29–33.

3. **Tribushevskiy L. V., Nemenenok B. M., Rumyantseva G. A., Rimoshevskiy V. S.** Analiz processa plavki alyuminievoj struzhki i shlaka v korotkoplamennoy rotornoj pechi [The analysis of process of melting of aluminium shaving and slag in the short-flame rotor furnace]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 2, pp. 42–48.
4. **Kalinichenko M. L., Kalinichenko V. A.** Sozdanie model'nyh komplektov iz othodov alyuminievogo proizvodstva pri pomoshchi additivnyh tekhnologiy skleivaniya i poslojnogo naneseniya produkta [Creation of model kits from aluminum production waste using additive technologies for gluing and layer-by-layer application of the product]. *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. simp. = Collection. report Intl. scientific-practical symp.* (Minsk, September 25, 2024). Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2024, pp. 122–132.
5. **Kalinichenko M. L., Dolgiy L. P., Kalinichenko V. A.** *Tekhnologiya skleivaniya: teoriya, praktika, materialy* [Bonding technology: theory, practice, materials]. Minsk, BNTU Publ., 2021, 187 p.
6. **Kalinichenko M. L.** Innovacionnoe reshenie krepneniya cel'nometallicheskih i poristyh tel s pomoshch'yu skleivaniya [Innovative solution for fastening all-metal and porous bodies using gluing]. *Vesnik Grodz. dzyarzh. univ. imya Yanki Kupaly. Seryya 6. Tekhnika = Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Vol. 6. Technology*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 13–26.
7. **Kalinichenko M. L., Nemenenok B. M.** Model'nye komplekty na osnove vspenennyh materialov [Model kits based on foam materials]. *Intellektual'nyj potencial Minskoj oblasti: mekhanizmy i instrumenty rosta: materialy nauch.-prakt. konf. uchenykh, uchaschihsya i specialistov predpriyatij = Intellectual potential of the Minsk region: mechanisms and tools of growth: materials of scientific and practical work. conf. scientists, students and enterprise specialists*, November 24, 2022. Zhodino, 2022, pp. 34–36.
8. **Kalinichenko M. L.** Metodika vizual'noj ocenki kleevogo shva na primere soedineniya elementov model'nyh komplektov, sozdannyh iz othodov proizvodstva [Methodology for visual assessment of an adhesive joint using the example of connecting elements of model kits created from industrial waste]. *Innovacii v prirodooobustrojstve i zashchite v chrezvychajnyh situacijah: materialy X mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Innovations in environmental management and protection in emergency situations: materials of the X International. scientific-technical Conf.*, Saratov, May 16–17, 2023. Saratov, Armit Publ., 2023, pp. 546–551.
9. **Kalinichenko M. L.** Sozdanie litejnyh model'nyh komplektov iz othodov proizvodstva s pomoshch'yu tekhnologii skleivaniya [Creation of foundry model kits from production waste using gluing technology]. *Sovremennye dostizheniya v oblasti kleev i germetikov: materialy, syr'e, tekhnologii: tezisy dokladov IV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Modern achievements in the field of adhesives and sealants: materials, raw materials, technologies: abstracts of the IV International. scientific-technical conf.* N. Novgorod, 2023, pp. 257–258.
10. **Kalinichenko M. L.** Sozdanie litejnyh model'nyh komplektov na osnove poristyh penoobraznyh alyuminievyh shlakov [Creation of foundry model kits based on porous foam-like aluminum slags]. *Innovacionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse – segodnya i zavtra: materialy 7th Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 2 ch. = Innovative technologies in the agro-industrial complex – today and tomorrow: materials of the 7th International. scientific-practical Conf.*, Gomel, November 17, 2023: 2 parts. Gomel, 2023, part 2, pp. 16–20.
11. PVS – Energoplus [Electronic resource]. Available at: <https://pvs.by/1386/1663/1678/> (accessed 10.12.2023).
12. **Kalinichenko M. L., Nemenenok B. M.** Ocenka mehanicheskikh svoystv skleennyh jelementov dlja model'nyh komplektov [Evaluation of mechanical properties of glued elements for model kits]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production*, 2023, no. 2, pp. 100–106.
13. FormX Webshop [Electronic resource]. Available at: www.formx.eu/ (accessed 12.12.2024).
14. Antichita Belsito [Electronic resource]. Available at: https://www.antichitabelsito.it/schede/Resina_Poliuretunica_Axson_F40.pdf (accessed 12.12.2024).