

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ
ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ**

Л.П. ДОЛГИЙ, канд. техн. наук, **А.М. МИХАЛЬЦОВ**, канд. техн. наук,
И.Г. РАКОВ

Белорусский национальный технический университет

И.В. РАФАЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, **П.Е. ЛУЩИК**, канд. техн. наук
РИУП «НТП БНТУ «Политехник»

Обоснована возможность разработки технологических маршрутов изготовления шлако-водной суспензии при использовании отходов металлургической переработки алюминиевых сплавов с высокой реакционной способностью для образования фосфатных связующих с применением в качестве вспомогательного реагента ортофосфорной кислоты.

***Ключевые слова:** фильтрующий элемент, алюминиевые сплавы, неметаллические включения, шлак, металлургическая переработка.*

**ESTIMATION OF THE POSSIBILITY OF FABRICATION
FILTER ELEMENTS USING WASTE METALLURGICAL
PROCESSING OF ALUMINUM ALLOYS**

L.P. DOLGI, Ph. D in Technical Sciences, **A.M. MIHALCOV**, Ph. D in Technical Sciences, **I.G. RAKOV**

Belarusian National Technical University

I.V. RAFALSKI, Ph. D in Technical Sciences, **P.E. LUSHCHIK**, Ph. D
in Technical Sciences

Science and Technology Park of BNTU «Polytechnic»

The possibility of developing technological routes for the manufacture of slag-water slurry on the basis wastes of aluminum alloys metallurgical processing with a high reactivity for the formation of phosphate binders using orthophosphoric acid as an auxiliary reagent has been substantiated.

***Keywords:** filter element, aluminum alloys, non-metallic inclusions, slag, metallurgical processing.*

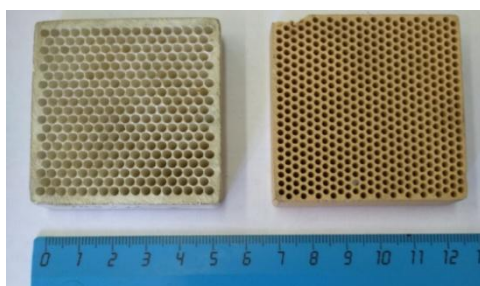
Введение. Проблема удаления газовых примесей и твердых неметаллических включений в литейных сплавах, несмотря на успехи современной технологии производства литейной продукции, до настоящего времени не теряет своей актуальности. За счет снижения количества неметаллических включений (оксидов, карбидов, нитридов, интерметаллических включений и т. д.) и растворенного в расплавах алюминия водорода, использования методов рафинирования жидкого металла представляется реальная возможность существенного повышения качества литейных сплавов на основе алюминия. Наиболее распространенными и изученными способами очистки расплавов от неметаллических включений и растворенных газов является рафинирование флюсами и продувка инертными газами [1]. Динамично развивающейся технологией рафинирования является фильтрование алюминиевых расплавов [2].

В литейной промышленности в течение последних десятилетий широко применяются фильтрующие элементы [2, 3]. Они разнообразны по своей конструкции (сетчатые, объемные, фигурные), используемым для их изготовления материалам (огнеупорные керамические материалы, стеклотетки, металлические сетки и др.) и способам получения (рисунок 1). Например, технология получения пенокерамических фильтров представляет собой многоступенчатый процесс, включающий приготовление керамической суспензии, пропитку полученной суспензией пористого пенополиуретана, удаление излишков суспензии путем его обжатия с последующей сушкой керамического покрытия и спеканием компонентов фильтрующего элемента [4]. При всем разнообразии способов получения материал фильтрующего элемента должен выдерживать гидравлический и термический удары для предотвращения его разрушения в процессе заполнения формы расплавом.

Результаты исследований. В настоящей работе выполнена оценка возможности получения фильтрующих элементов с использованием шлаков (отходов металлургической переработки алюминиевых сплавов) с высоким содержанием алюмооксидных фаз (до 95 % мас.). В настоящее время металлургические шлаки представляют неиспользуемые, накапливаемые отходы вторичной металлургии, переработка которых позволяет получить не только дополнительный экономический, но и существенный экологический эффект.



a



б

Рисунок 1 – Внешний вид фильтрующих элементов: *a* – сетчатые и пеночерамические; *б* – прессованные керамические

В таблице 1 представлены составы материалов, применяемых для изготовления пеночерамических фильтров согласно патентным данным США [3].

Таблица 1 – Составы материалов, применяемых для изготовления пеночерамических фильтров согласно патентным данным США [3]

Номер патента США	Основной материал	Вспомогательные материалы
1	2	3
3947363 (1976)	40–95 % (мас.) Al_2O_3	1–20 % (мас.) Cr_2O_3 0,1–12 % (мас.) бентонит 2,5–25 % (мас.) реагент для отверждения смеси на воздухе с низкой реакционной способностью к расплавленному металлу

1	2	3
4343704 (1982)	50–70 % (мас.) Al_2O_3	2–10 % (мас.) оксид алюминия микронного размера с высокой реакционной способностью 1–5 % (мас.) монтмориллонит 1–10 % (мас.) керамические волокна 5–25 % (мас.) керамическое связующее или реагент для отверждения смеси на воздухе
4391918 (1983)	55–70 % (мас.) Al_2O_3	2–10 % (мас.) оксид алюминия микронного размера с высокой реакционной способностью 1–5 % (мас.) монтмориллонит 1–10 % (мас.) керамические волокна
WO/2007/120483 (2007)	20–70 % (мас.) Al_2O_3	20–60 % (мас.) SiO_2 0–10 % (мас.) CaO 0–10 % (мас.) MgO 2–20 % (мас.) B_2O_3

Помимо оксида алюминия, карбиды кремния, диоксиды циркония, хрома и магния являются сырьем, обладающим вышеуказанными свойствами, которое также широко используется для производства фильтрующих элементов. При этом оксид алюминия является наиболее распространенным компонентом для получения керамической суспензии и изготовления фильтрующих элементов, используемых при литье алюминиевых сплавов. Для фильтрации чугуна, стали, медных и магниевых сплавов применяют преимущественно карбид кремния, диоксид циркония, хрома и магния [2–4].

Наряду с основными, т. е. огнеупорными материалами, при изготовлении фильтрующих элементов также используются вспомогательные материалы, важнейшими из которых являются связующие добавки (например, силикат натрия, бентонит и др.), обеспечивающие необходимые прочностные свойства фильтров. Преимущества бентонита описаны в патенте США № 3947363 (см. таблицу 1), связующую функцию которого обеспечивает образование стекловидных фаз при обжиге фильтров, придавая им требуемую прочность.

Таким образом, в качестве материалов для изготовления фильтрующих элементов могут использоваться огнеупорные материалы,

которые удовлетворяют требованиям высокой физической (термической, механической) и химической (коррозионной) стойкости в диапазоне температур заливки и времени взаимодействия расплава с фильтром.

Для изготовления фильтрующих элементов может быть предложена новая конструкция фильтра с использованием доступных и сравнительно недорогих стеклотканей (рисунок 2), на которые наносится огнеупорный материал, выделенный из шлаковых смесей при плавке алюминиевых сплавов.

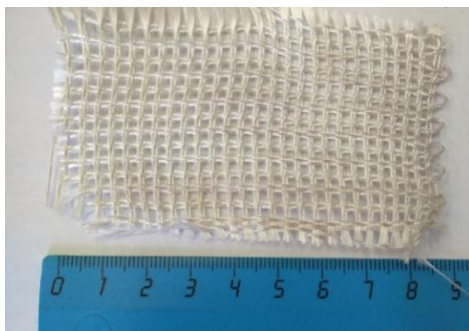


Рисунок 2 – Стеклоткань для изготовления фильтрующего элемента

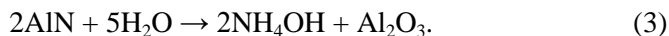
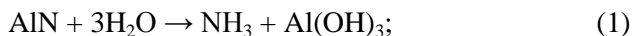
Перспективным направлением совершенствования технологических процессов изготовления фильтрующих элементов является использование шлаков алюминиевых сплавов с высоким содержанием керамических, преимущественно, алюмооксидных фаз. Образующийся на поверхности жидкого алюминия шлак представляет собой смесь продуктов реакции алюминия, газовых компонентов атмосферы (преимущественно, азот, кислород, оксиды углерода), компонентов рафинирующего флюса, футеровки печи и примесей, содержащихся в шихте – преимущественно, оксидов, нитридов, карбидов алюминия и других веществ [5]. Количество образующегося шлака и его состав зависит от особенностей технологии плавки, состава исходных шихтовых материалов и типа плавильного оборудования.

Образующиеся в результате рафинирующей обработки расплава алюминия шлаки в исходном состоянии содержат значительное ко-

личество компонентов флюса, образованных сплавлением солей, например, NaCl, KCl, CaF₂, Na₃AlF₆ и других в зависимости от состава рафинирующего флюса. Для их удаления остывшая шлаковая смесь подвергается промывке водой (так называемая операция выщелачивания шлака водой). Содержание керамических составляющих шлака после гидрообработки, как правило, составляет 95–97 % (мас.), основная часть которых (до 85–90 % мас.) представлена оксидами алюминия, а также нитридами и карбидами алюминия (5–10 % мас.), от 3 до 5 % (мас.) и составляет металлический алюминий. Наличие в составе шлакового порошка высокого содержания алюмооксидных фаз позволяет рассматривать его как источник сырья для производства керамических фильтров.

Важным аспектом при разработке технологии получения керамических фильтров является выбор связующих материалов. Присутствие в составе шлака сравнительно большого количества нитрида алюминия открывает возможность разработки технологических маршрутов изготовления шлако-водной суспензии с высокой реакционной способностью образования фосфатных связующих при использовании в качестве вспомогательного реагента ортофосфорной кислоты.

В процессе взаимодействия нитрида алюминия, содержащегося в шлаке, с водой протекают химические реакции с образованием щелочного раствора:



На рисунке 3 представлены результаты термодинамического анализа химических реакций (1)–(3).

Термодинамическая вероятность образования алюмофосфатов из полученного щелочного раствора может быть обусловлена отрицательными значениями изменений энергии Гиббса для реакции взаимодействия гидроксида алюминия с ортофосфорной кислотой (рисунок 4).

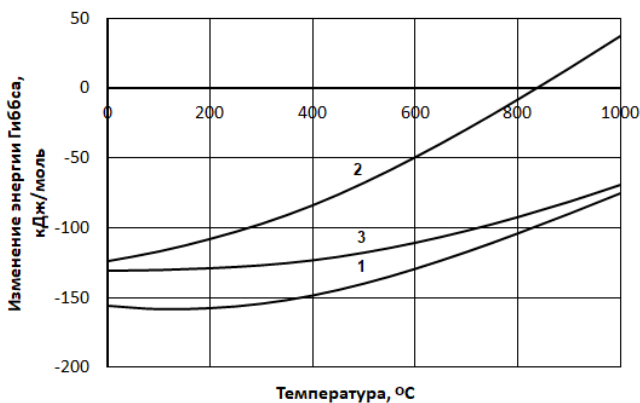


Рисунок 3 – Изменение энергии Гиббса от температуры для реакций взаимодействия нитрида алюминия с водой (на один моль образующегося гидроксида): 1 – $\text{AlN} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{Al}(\text{OH})_3$; 2 – $\text{AlN} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{OH} + \text{Al}(\text{OH})_3$; 3 – $2\text{AlN} + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4\text{OH} + \text{Al}_2\text{O}_3$

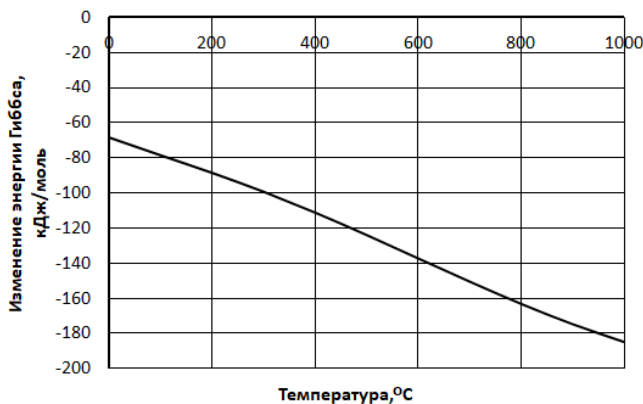


Рисунок 4 – Изменение энергии Гиббса от температуры для реакции взаимодействия гидроксида алюминия с ортофосфорной кислотой

Заключение. Обоснована возможность использования отходов металлургической переработки алюминиевых сплавов в качестве исходного материала для изготовления фильтрующих элементов, содержащих огнеупорный наполнитель и компонент огнеупорного связующего, образующегося при воздействии ортофосфорной кислоты.

Список литературы

1. **Задруцкий, С.П.** О рафинировании и модифицировании алюминиевых сплавов / С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок, С.П. Королев // Литейное производство. – 2004. – № 3. – С. 17–20.
2. **Demir, A.** Fabrication of Alumina Ceramic Filters and Performance Tests for Aluminium Castings / A. Demir // Acta Physica Polonica A. – 2018. – Vol. 134, No. 1. – P. 332–334.
3. **Bagherian, E.R.** Development of a ceramic foam filter for filtering molten aluminum alloy in casting processes / E.R. Bagherian, M.K. Ariffin, S. Sulaiman // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 42, Issue 03. – P. 27–43.
4. **Liang, X.** Fabrication of SiC reticulated porous ceramics with multi-layered struts for porous media combustion / Xiong Liang, Yawei Li, Jun Liu [et al.] // Ceramics International. – 2016. – Vol. 42 (11). – P. 13 091–13 097.
5. **Osobaa, L.O.** Review on Oxide Formation and Aluminum Recovery Mechanism during Secondary Smelting / L.O. Osobaa, O.B. Owolabib, S.I. Talabic [et al.] // Journal of Casting & Materials Engineering. – 2018. – Vol. 2, No. 2. – P. 45–51.

References

1. **Zadrutcki, S.P.** *O rafinirovanii i modifitsirovanii alyuminievykh splavov* [On the refining and modification of aluminum alloys] / S.P. Zadrutcki, B.M. Nemenenok, S.P. Korolev // *Liteynoe proizvodstvo = Foundry*. – 2004. – No. 3. – P. 17–20.
2. **Demir, A.** Fabrication of Alumina Ceramic Filters and Performance Tests for Aluminium Castings / A. Demir // Acta Physica Polonica A. – 2018. – Vol. 134, No. 1. – P. 332–334.
3. **Bagherian, E.R.** Development of a ceramic foam filter for filtering molten aluminum alloy in casting processes / E.R. Bagherian, M. K. Ariffin, S. Sulaiman // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 42, Issue 03. – P. 27–43.
4. **Liang, X.** Fabrication of SiC reticulated porous ceramics with multi-layered struts for porous media combustion / Xiong Liang, Yawei Li, Jun Liu [et al.] // Ceramics International. – 2016. – Vol. 42 (11). – P. 13 091–13 097.

5. Osobaa, L.O. Review on Oxide Formation and Aluminum Recovery Mechanism during Secondary Smelting / L.O. Osobaa, O.B. Owolabib, S.I. Talabic [et al.] // Journal of Casting & Materials Engineering. – 2018. – Vol. 2, No. 2. – P. 45–51.

Поступила 06.10.2021

Received 06.10.2021