

УДК 621.762:66.03
DOI 10.26456/vtchem2026.2.7

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИДА НИКЕЛЯ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

И.В. Садовая, Ю.А. Алехов, И.Н. Волошанович

НИИ «Реактивэлектрон», г. Донецк

Методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) из мелкодисперсных порошков Al и Ni получены высокопористые фильтроэлементы в поле центробежных сил, вектор которых направлен перпендикулярно волновому фронту процесса СВС. Исследованы их физико-химические свойства и эксплуатационные характеристики: плотность, пористость, задерживающая и пропускная способность.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, фильтрующие элементы, свойства.

Введение

Многие интерметаллиды, в частности алюминид никеля, являются ценными конструкционными материалами [1–5]. Металлокерамические фильтры на их основе находят широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря уникальному комплексу свойств: высокой механической прочности, термической и коррозионной стойкости в агрессивных жидких и газовых средах. Они выдерживают более высокие температуры и давления по сравнению с другими типами фильтров, а также являются многоразовыми благодаря возможности регенерации [5–7]. Для оценки их эффективности и работоспособности, фильтроэлементы подвергают испытаниям на задерживающую и пропускную способность [6, 7].

Экспериментальная часть

В качестве исходного сырья для получения фильтрующих элементов служили мелкодисперсные порошки алюминия марки ПА-ВЧ с размерами частиц до 56 мкм и никеля карбонильного марки ПНК с размерами частиц до 10 мкм. Содержание основного вещества везде составляло не менее 99,9 масс.%. В основу метода получения фильтроэлементов был положен СВС. Приготовленную шихту химического состава: 32 масс.% Al и 68 масс.% Ni загружали во вращающийся цилиндрический реактор СВС, который представлен на рис. 1. Шихта поджигалась внесением горячей таблетки магния. В реакторе начинался СВС, который длился 30–60 секунд. После окончания

реакции реактор охлаждался и готовый фильтроэлемент извлекался из реактора.

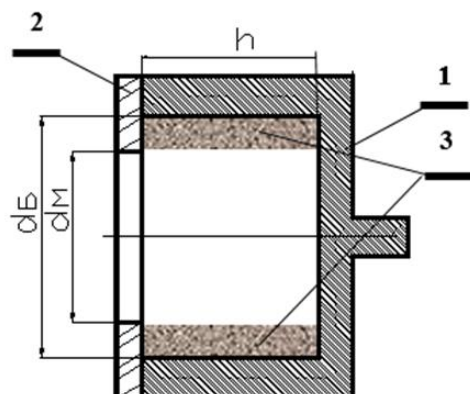


Рис. 1. Эскиз реактора для получения фильтроэлементов в поле центробежных сил: 1 – цилиндрический корпус реактора; 2 – ограничительный фланец; 3 – распределенная в результате вращения реактора шихта

В экспериментах варьировали толщину стенки фильтроэлемента и скорость вращения реактора. Полученные образцы фильтроэлементов и их свойства представлены на рис. 2 и в табл. 1. Плотность и пористость синтезированных образцов определяли методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 2409-2014. Гидродинамические характеристики образцов (сопротивление, задерживающую и пропускную способность) определяли по ГОСТ Р50554-93.



Рис. 2. Внешний вид фильтроэлемента

Таблица 1.

Свойства фильтроэлементов, полученных из экзосмесей порошков Al (32 масс.%) и Ni (68 масс.%) методом СВС в поле центробежных сил

№	Скорость вращения реактора, об/мин	Толщина стенки, мм	Кажущаяся плотность, г/см ³	Пористость, %		
				общая	открытая	закрытая
1	600	12	2,5	63	54	9
2	600	8	2,5	63	54	9
3	600	4	2,5	63	54	9
4	2000	12	2,7	60	49	11
5	2000	8	2,7	60	49	11
6	2000	4	2,7	60	49	11
7	4000	12	2,9	57	44	13
8	4000	8	2,9	57	44	13
9	4000	4	2,9	57	44	13

Результаты и обсуждение

Как видно из Таблицы 1 с увеличением скорости вращения реактора происходит увеличение кажущейся плотности и закрытой пористости, а также уменьшение общей и открытой пористости. При 600 об/мин получились фильтроэлементы с наибольшей общей (63 %) и открытой (54 %) пористостью и наименьшей кажущейся плотностью (2,5 г/см³). Наиболее плотные фильтроэлементы с кажущейся плотностью 2,9 г/см³ и наименьшей общей (57 %) и открытой (44 %) пористостью получились при 4000 об/мин.

Гидродинамические характеристики полученных фильтроэлементов различной толщины и пористости в потоке воды представлены на рис. 3 и 4, откуда видно, что скорость прохождения потока воды через фильтроэлементы линейно зависит от перепада давления. Это подтверждает выполнение закона Дарси [8] и описывается уравнениями прямых (1) – (3), наклон которых обозначает коэффициент проницаемости фильтроэлемента.

$$U = (0.043 \pm 0.003) + (10.5 \pm 0.5)10^{-7}\Delta P, (1)$$

$$r = 0.997, s = 0.003, n = 5;$$

$$U = (0.021 \pm 0.002) + (5.5 \pm 0.2)10^{-7}\Delta P, (2)$$

$$r = 0.997, s = 0.001, n = 5;$$

$$U = (0.016 \pm 0.001) + (3.9 \pm 0.2)10^{-7}\Delta P, (3)$$

$$r = 0.998, s = 0.001, n = 5.$$

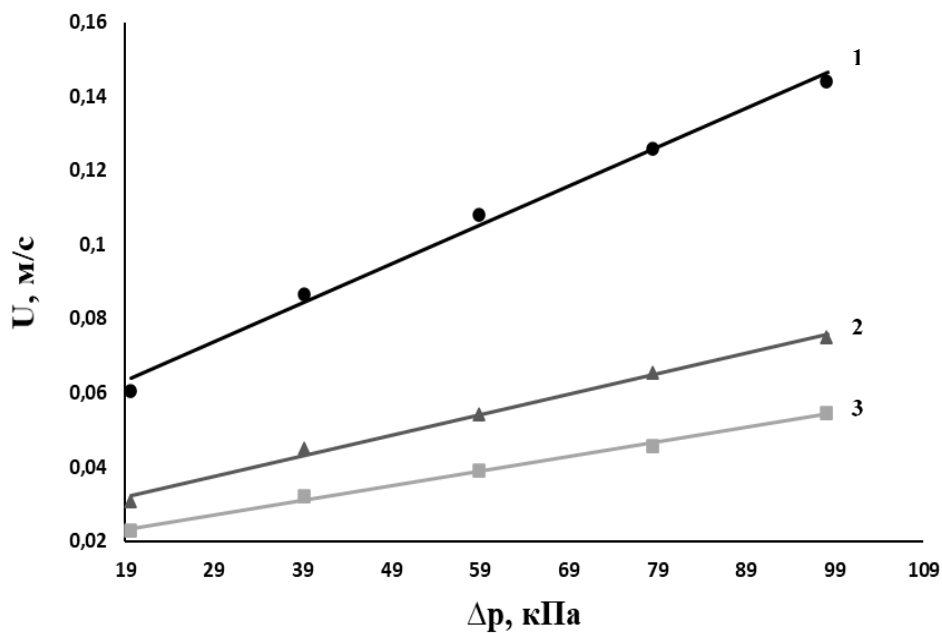


Рис. 3. Зависимость скорости прохождения потока воды через фильтроэлементы с общей пористостью 60 % от перепада давления:
1 – толщина стенки 4 мм; 2 – толщина стенки 8 мм;
3 – толщина стенки 12 мм

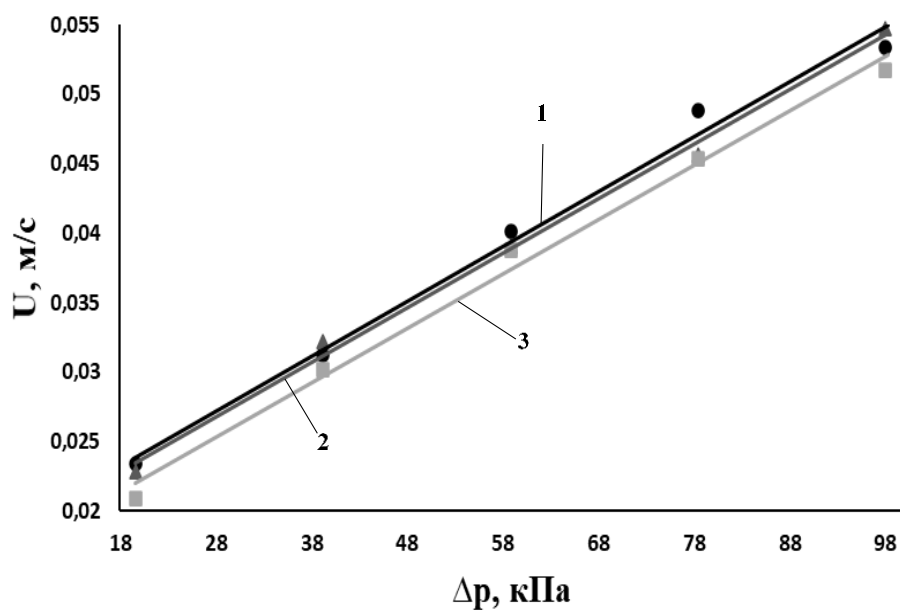


Рис. 4. Зависимость скорости прохождения потока воды через фильтроэлементы с толщиной стенки 12 мм от перепада давления:
1 – общая пористость 63 %; 2 – общая пористость 60 %;
3 – общая пористость 57 %

Как видно из рис. 3 и 4, уменьшение общей пористости и увеличение толщины стенки фильтроэлемента приводит к уменьшению скорости прохождения через него воды. Что же касается коэффициента проницаемости, то он уменьшается при увеличении толщины стенки фильтроэлемента, уравнения (1) – (3).

Определение задерживающей способности (коэффициента отсева), синтезированных в настоящей работе фильтроэлементов проводили путем пропускания через них 20%-ной суспензии магнетита в воде. Полученные результаты приведены на рисунках 5 и 6. Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением толщины стенки и уменьшением общей пористости фильтроэлементов увеличивается их задерживающая способность (коэффициент отсева).

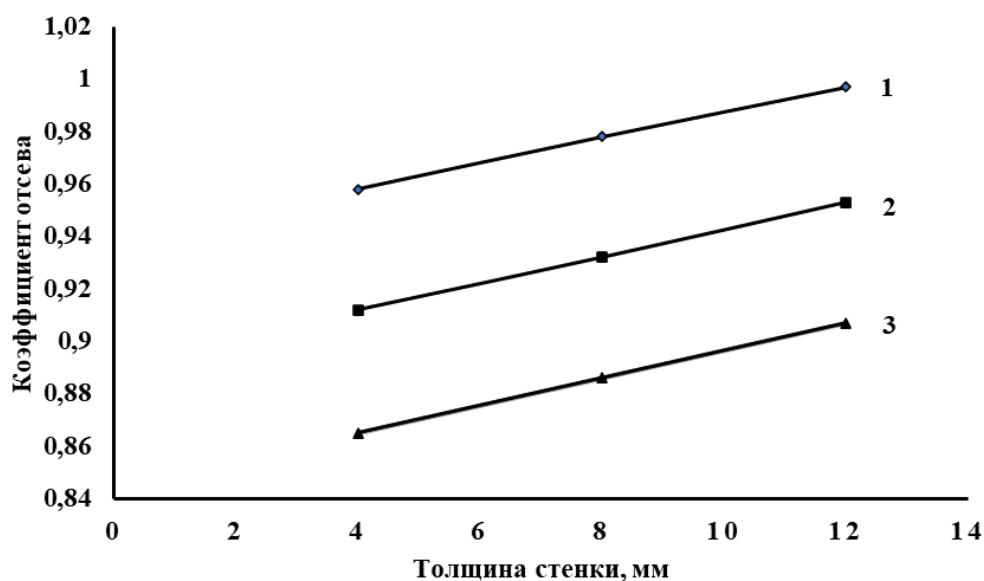


Рис. 5. Зависимость коэффициента отсева порошка магнетита из 20%-ной водной суспензии от толщины стенки фильтроэлемента с общей пористостью: 1 – 57%; 2 – 60%; 3 – 63%

После определения задерживающей способности фильтроэлементы регенерировали пропусканием через них чистого фильтрата в обратном направлении.

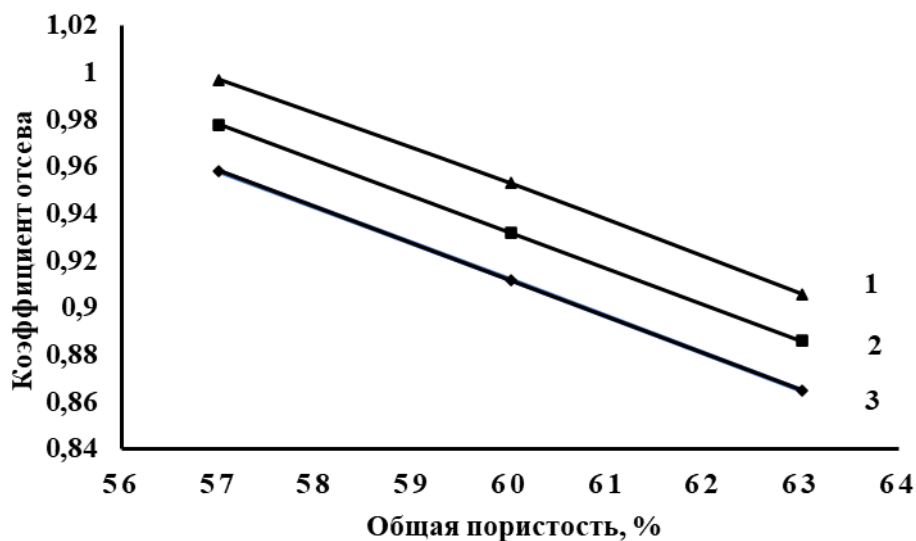


Рис. 6. Зависимость коэффициента отсева порошка магнетита из 20%-ной водной суспензии от общей пористости фильтроэлемента при толщине стенки: 1 – 12 мм; 2 – 8 мм; 3 – 4 мм

Выводы

На основании полученных результатов установлено, что синтезированные фильтроэлементы обладают высокой пропускной и задерживающей способностью, а также легко регенерируются пропусканием чистого фильтрата в обратном направлении. Это предопределяет перспективность их использования в различных отраслях промышленности для очистки жидкостей от твердых частиц с многократной регенерацией.

Список литературы

1. Ковтунов А.И., Мямин С.В. Интерметаллидные сплавы: электронное учебное пособие. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2018. – 77 с.
2. Morsi. K. // Materials Science and Engineering: A. – V. 299. – 2001. – P. 1 – 15. DOI: 10.1016/S0921-5093(00)01407-6.
3. Итин В.И., Найборошенко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: Изд-во ТГУ, 1989. – 214 с.
4. Ward-Close C.M., Mirnor R., Doorbar P.J. // Intermetallics. – 1996. – V. 4. – P. 217-229. DOI: 10.1016/0966-9795(95)00037-2.
5. Садовая И.В., Алехов Ю.А., Сагдеева Ф.Н., Кара А.В. // Неорганические материалы. – 2025. – Т. 61, № 7 – 8. – С. 508 – 514. DOI: 10.7868/S3034558825040159.
6. Гейнеман А.А., Гончаров В.Д., Новоселов А.Л., Щетинкина Н.Ю. // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 2, С. 146 – 150.

7. Кириллов А.О., Уваров В.И., Капустин Р.Д. // Заводская лаборатория. – 2021. – Т. 23, № 12, С. 23 – 29. DOI: 10.26896/1028-6861-2021-87-12-23-29.
8. Леонтьев, Н.Е. Основы теории фильтрации: учебное пособие. 2-е изд. – Москва: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.

Об авторах:

САДОВАЯ Ирина Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела тугоплавких соединений и композиционных материалов ФГБОУ «НИИ «Реактивэлектрон» (283049, г. Донецк, ул. Бакинских комиссаров д. 17а). E-mail: sadovaya@bk.ru, ORCID: 0000-0001-6976-3290, SPIN-код: 5664-7158, РИНЦ AuthorID: 899522.

АЛЕХОВ Юрий Александрович – заведующий отделом тугоплавких соединений и композиционных материалов ФГБОУ «НИИ «Реактивэлектрон» (283049, г. Донецк, ул. Бакинских комиссаров д. 17а). E-mail: a1l2e3h4o5v6@mail.ru, ORCID: 0009-0007-5859-4939, SPIN-код: 5996-1561, РИНЦ AuthorID: 1235622.

ВОЛОШАНОВИЧ Ирина Николаевна – научный сотрудник отдела тугоплавких соединений и композиционных материалов ФГБОУ «НИИ «Реактивэлектрон» (283049, г. Донецк, ул. Бакинских комиссаров д. 17а). E-mail: voloshanovich@gmail.com, ORCID: 0009-0009-6165-9398.

SYNTHESIS AND RESEARCH OF NICKEL ALUMINIDE-BASED FILTRES IN A CENTRIFUGAL FIELD

I.V. Sadovaya, Yu.A. Alyokhov, I.N. Voloshanovich

Research Institute "Reactivelectron", Donetsk

Using the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) method, highly porous filter elements were obtained from fine-grained Al and Ni powders in a centrifugal force field that is perpendicular to the SHS wavefront. Their physical and chemical properties and performance characteristics, such as density, porosity, and retention and flow rates, were investigated.

Keywords: *self-propagating high-temperature synthesis, filter elements, properties.*

Дата поступления в редакцию: 16.02.2026.

Дата принятия в печать: 20.02.2026.