

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТОГО ЛИТОГО АЛЮМИНИЯ

Канд. техн. наук, доц. А.Б. ФИНКЕЛЬШТЕЙН, асп. И.С. КАЗАНЦЕВ, асп. И.А. ЮН

Рассмотрены свойства фильтров, изготовленных из пористого литого алюминия. Показано влияние технологических параметров изготовления на фильтрующие свойства. Получены зависимости, позволяющие рассчитывать коэффициент проскока мелких фракций и коэффициент проницаемости фильтра.

Properties of filters made by cast porous aluminium were examined. Influence of manufacture parameters on filter properties is shown. Dependences permit to calculate the skip factor to fine fractions and permeability coefficient of filter is received.

Пористые металлы широко используются для фильтрации рабочих жидкостей и газов в трубопроводах высокого давления промышленного оборудования. Один из наиболее перспективных материалов для изготовления фильтров — пористый литой алюминий (ПЛА), который получают методом вакуумной пропитки водорастворимого наполнителя. Структура такого материала (ПЛМ) приведена на рис. 1. Это сеть крупных пустот, соединенных между собой отверстиями значительно меньшего размера. Крупные пустоты формируются частицами наполнителя. Поскольку расплав не смачивается наполнителем, полученная отливка не будет точным зеркальным отпечатком засыпки наполнителя. В точках контакта частиц образуется вакуумные манжеты, которые после растворения наполнителя образуют отверстия, соединяющие крупные пустоты.

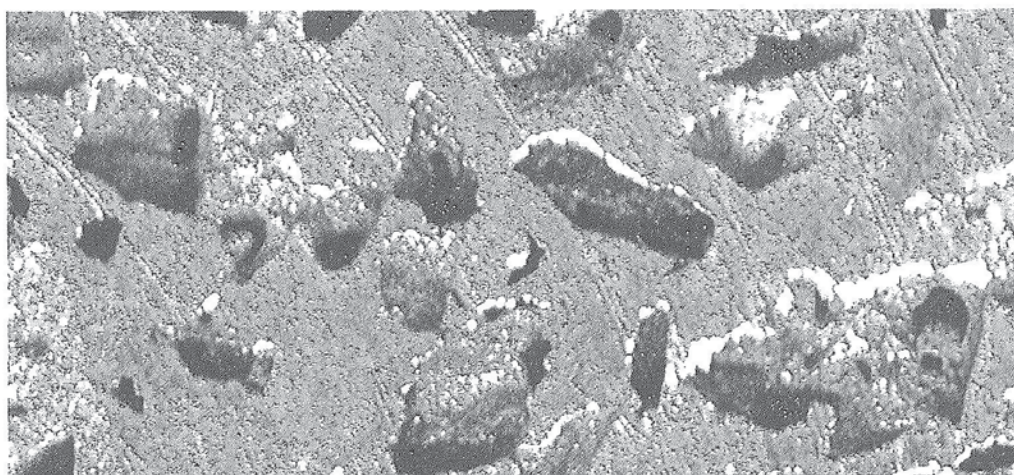


Рис. 1. Структура ПЛМ (увеличение 1:20)

По сравнению с традиционно используемыми спеченными металлическими фильтрами рассматриваемые обладают рядом существенных преимуществ [1, 2]:

1. Пористость литых фильтров значительно выше спеченных порошковых и составляет 60...85 %.

2. Литые фильтры могут быть любых размеров и конфигураций, причем себестоимость их изготовления практически не зависит от сложности конфигурации и обратно пропорциональна размерам.

3. Прочность на разрыв литых фильтров при одинаковой пористости превосходит этот показатель у сеченных в 2—3 раза.

4. Литые фильтры изготавливаются из алюминия, что обуславливает их высокую коррозионную стойкость.

Изменяя давление при пропитке наполнителя расплавом, можно регулировать размер отверстий между крупными порами (r_{\min}). При моделировании частиц наполнителя круглыми гладкими шарами была выявлена зависимость, определяющая влияние технологических параметров заливки на минимальный радиус пор [2]

$$r_{\min} = \frac{-3\sigma + \sqrt{9\sigma^2 - 8\sigma R \Delta P \cos \theta}}{2\Delta P}, \quad (1)$$

где σ — поверхностное натяжение расплава; ΔP — давление пропитки; R — радиус зерна наполнителя; θ — угол смачивания расплавом наполнителя.

Для экспериментальной проверки теоретических закономерностей были изучены микрофотографии срезов пористой отливки (рис. 2). Анализ фотографий проводился в пакете SIAMS, позволяющем определить площадь S сечения отверстий между крупными

порами. Радиус отверстий вычислялся по формуле: $r_{\min} = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$. Данные экспериментов и теоретического расчета радиуса воздушной манжеты представлены на рис. 3.

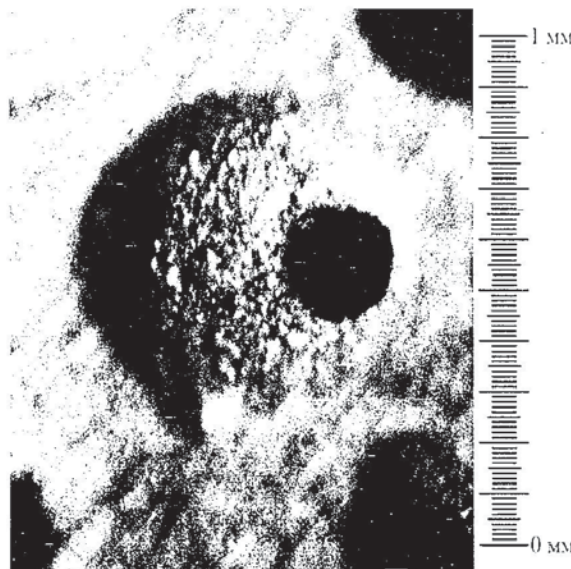


Рис. 2. Отверстие между крупными пустотами (1:32)

Фильтрующая способность пористых материалов характеризуется коэффициентом проскока K_{11}

$$K_{11} = \frac{N'_i}{N_i}, \quad (2)$$

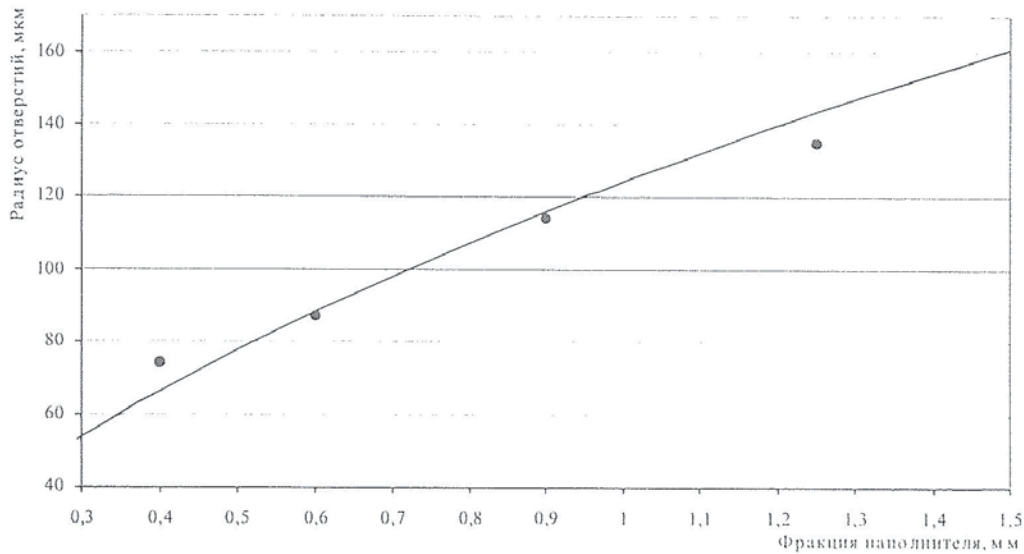


Рис. 3. Зависимость радиуса воздушной манжеты от фракции наполнителя при разряжении 0,25 атм

где N'_i , N_i — счетные концентрации частиц i -ой фракции до и после фильтрационной перегородки соответственно. Определяют их экспериментально фотоэлектрическим аэрозольным счетчиком.

Номинальная тонкость очистки пористого материала определяется как фракция, коэффициент проскока которой равен нулю. Очевидно, что тонкость очистки не может быть больше минимального размера пор. В пористых фильтрах возможно инерционное осаждение мелкодисперсных частиц. Толщина фильтра в направлении фильтрации не оказывает влияния на тонкость очистки, но приводит к снижению коэффициента проскока мелких фракций.

Для расчета коэффициента проскока мелких фракций рассмотрим пористый литой материал как систему последовательно установленных мембранных фильтров с отверстиями диаметром $2r_{\min}$. Осаждение частиц на внутренней поверхности фильтра носит инерционный характер. С другой стороны, процесс осаждения по сравнению с мембранными фильтрами осложняется формированием застойных зон, не участвующих в процессе фильтрации. Проскок частиц через слой — это функция соотношения минимальной и максимальной площади фильтрационного канала

$$N'_{ic} = N_{io} f(r_{\min}/R)^2, \quad (3)$$

где N'_{ic} — остаточная концентрация частиц i -ой фракции после фильтрации через слой;

N_{io} — начальная концентрация частиц i -ой фракции перед фильтрацией через слой.

При фильтрации начальная концентрация частиц на каждом последующем слое — остаточная концентрация частиц на предыдущем. Следовательно, общее изменение концентрации на количестве слоев $l/2R$ подчиняется геометрической прогрессии

$$N'_i = N_i \left(f(r_{\min}/R)^2 \right)^{l/2R}, \quad (4)$$

где l — размер образца в направлении фильтрации.

Совместное решение (1) и (3) приводит к расчетному коэффициенту проскока мелких фракций

$$K_{\Pi} = (f(r_{\min}/R)^2)^{1/2R} \quad (5)$$

Для выявления функции коэффициента проскока проводился эксперимент по определению тонкости очистки фильтроэлементов из ПЛА (толщиной 5 мм) в лаборатории систем фильтрации ОМУ НПО НАТИ. Полученные результаты (табл.) обрабатывались в пакете программ MathCad. Выявленная функция коэффициента проскока имеет вид

$$K_{\Pi} = (r_{\min}/R)^{0,005 \frac{l}{R}} \quad (6)$$

Таблица 1

Фильтрующие свойства ПЛА

№ Образца	Средний размер пор, мкм	Номинальная тонкость фильтрации, мкм		Коэффициент проскока, %	
		расчет	эксперимент	расчет	эксперимент
1	200	56	53	73	72
2	200	56	55	73	74
3	200	56	58	73	77
4	200	56	56	73	75
5	200	56	56	73	75
6	200	56	58	73	77
7	100	34	37	58	54
8	100	34	37	58	54
9	100	34	39	58	55

К другим важнейшим параметрам фильтроэлементов относится гидравлическое сопротивление. Для пористых тел вместо гидравлического сопротивления широко используется коэффициент проницаемости в уравнении Дарси

$$Q = \frac{K \Delta P F}{\mu l} \quad (7)$$

где Q — объемный расход фильтруемой среды через образец; K — коэффициент проницаемости образца; ΔP — потери давления при фильтрации ($\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}$); F — площадь сечения образца; μ — коэффициент динамической вязкости фильтруемой среды.

Коэффициент проницаемости пористых литых металлов K рассчитывается по формуле [2]

$$K = \frac{(1 - P_0) N r_{\min}^3}{6\pi R} \quad (8)$$

где N — координационное число; $(1 - P_0)$ — пористость образца.

Экспериментальное исследование коэффициента проницаемости пористых металлов основано на прямом измерении входящих в уравнение Дарси параметров в стационарных условиях, т.е. при постоянном давлении. Однако для поддержания постоянного

давления при фильтрации вязкой жидкости нужна специальная установка. Было предложено измерять параметры фильтрации в нестационарных условиях (при падении гидростатического напора от h_1 до h_2). Экспериментальная установка, аналогичная [3], состоит из установленной на штативе открытой стеклянной колбы (площадь сечения F_k), наполняемой жидкостью с известной вязкостью μ (использовалось трансформаторное масло вязкостью 0,05 Па·с) (рис. 4). Пористый образец закреплялся до заливки жидкости в нижней части колбы. Жидкость заливалась до верхней риски на колбе и фиксировалось время падения уровня жидкости до нижней риски τ . Расход жидкости по уравнению Дарси равен расходу жидкости, определяемому из геометрии колбы

$$\frac{F_k dh}{d\tau} = \frac{K\rho ghF}{\mu l}, \quad (9)$$

где h — высота уровня жидкости над образцом.

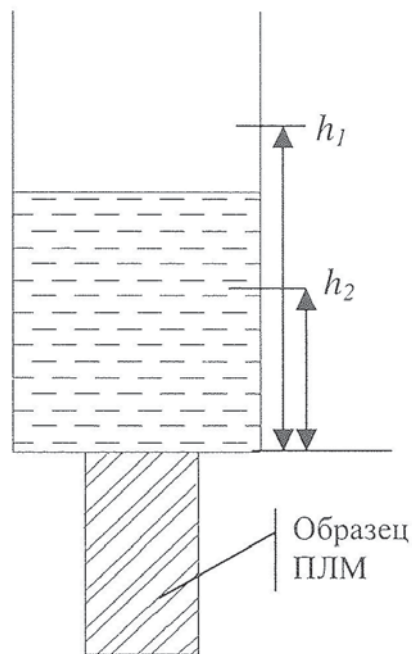


Рис. 4. Схема установки для определения коэффициента проницаемости

После разделения переменных интегрирования, из полученного уравнения получим коэффициент проницаемости

$$K = \frac{F_k \mu l}{F \rho g \tau} \ln \frac{h_2}{h_1}. \quad (10)$$

Полученный экспериментальным путем коэффициент проницаемости несколько больше рассчитанного теоретически, особенно для крупных фракций. Это связано, по всей видимости, с осколочной формой зерен наполнителя крупной фракции. Из результатов эксперимента можно сделать вывод об адекватности предлагаемой модели проницаемости.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало отличную сходимость для фракции 200 мкм как по тонкости фильтрации, так и по коэффициенту проскока. Некоторое расхождение расчетных и экспериментальных данных для фракции 100 мкм,

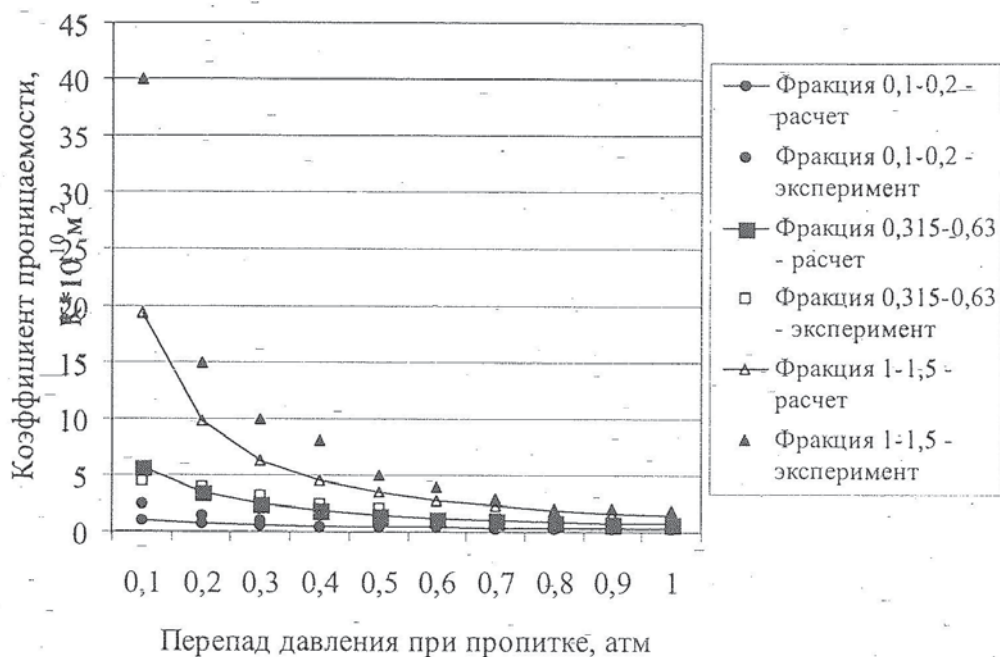


Рис. 5. Коэффициент проницаемости ПЛА

по всей видимости, связано с неточностью в определении фракции наполнителя. Использование значения фракции 108 мкм приводит к отличному совпадению расчетных и экспериментальных данных. Полученные зависимости позволяют получать фильтроэлементы с заранее заданной тонкостью фильтрации, коэффициентом проскока мелких фракций и коэффициентом проницаемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1981. — 247 с.
2. Фурман Е. Л., Финкельштейн А.Б., Казанцев С. П. Пористый литой алюминий. Опыт разработки технологии //Труды конференции литейщиков России «Совершенствование литейных процессов». — Екатеринбург: УГТУ, 1997.— С.22-27.
3. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.