

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ВОЛОКНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СУХОГО ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ

В.М. КАПЦЕВИЧ¹, Д.И. КРИВАЛЬЦЕВИЧ¹, Л.С. БОГИНСКИЙ², Н.К. ЛИСАЙ¹, Р.А. КУСИН³,
В.К. КОРНЕЕВА¹, И.В. ЗАКРЕВСКИЙ¹, П.С. ЧУГАЕВ¹, В.А. ВОЛЬСКИЙ¹

¹Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

²Институт повышения квалификации и переподготовки кадров БНТУ,
Минск, Республика Беларусь

³Институт порошковой металлургии НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

В статье описан процесс изготовления фильтрующих элементов из медных волокон методом сухого изостатического прессования. Исследованы структурные и гидродинамические свойства полученных изделий.

In article process of manufacturing of copper fibres filtering elements by a method dry isostatic radial pressing is described. Structural and hydrodynamical properties of the received products are investigated.

Введение

Фильтрующие материалы (ФМ) находят широкое применение при решении вопросов, остро стоящих перед промышленными предприятиями, в том числе и агропромышленным комплексом Республики Беларусь, а именно: охраны окружающей среды, повышения качества и чистоты выпускаемой продукции, надежности, долговечности и срока работы машин и механизмов. Эти вопросы могут быть решены с помощью пористых порошковых материалов (ППМ) и пористых волоконных материалов (ПВМ), изготавливаемых методами порошковой металлургии.

Следует отметить, что ПВМ по сравнению с ППМ обладают рядом существенных преимуществ: большей пористостью, проницаемостью, прочностью, упругостью и пластичностью, более эффективной задерживающей и звукопоглощающей способностью и др. Но если технология изготовления ППМ успешно реализована у нас в республике, то технология получения ПВМ не изучена и не используется для изготовления ФМ. Это связано с высокой стоимостью и дефицитом исходного сырья — волокон. В настоящее время с интенсивным развитием металлургии и машиностроения в Республике Беларусь имеются отходы медного кабеля, из которого РУП «Белцветмет» наладил выпуск медной сечки — медных волокон, а на РУП «Белорусский металлургический завод» имеются отходы стальной проволоки, из которых можно получать волокна. Все это является хорошей сырьевой основой для выпуска ПВМ. Без существенной дополнительной химической обработки на основе этих отходов возможно изготовление фильтрующих элементов (ФЭ) для очистки

горюче-смазочных материалов, сточных вод, воздуха и других неагрессивных сред. Кроме того, из стальных волокон возможно изготовление магнитных фильтров, позволяющих улавливать ферромагнитные загрязнения.

Эффективным методом изготовления высокопроизводительных крупногабаритных и сложной формы ФЭ является метод сухого изостатического прессования (СИП), позволяющий получать длинномерные и сложной формы фильтрующие элементы. Однако в литературе отсутствуют сведения о получении ПВМ этим методом.

Целью настоящей статьи является исследование и разработка процесса получения ПВМ из медных волокон методом сухого изостатического прессования, изготовление экспериментальных образцов и исследование их свойств.

Основная часть

В многообразии ФМ особое место занимают ФЭ в виде тел вращения: втулки, трубы, стержни, стаканы, имеющие высокую технологичность конструкции, обеспечивающие минимальные затраты труда при их производстве и эксплуатации. Для их изготовления широкое распространение получили способы сухого изостатического прессования, основанные на использовании деформирующего элемента, выполненного из высокоэластичных материалов, и реализующих радиальную схему уплотнения [1]. Обладая способностью деформироваться в области больших упругих деформаций с дальнейшим полным восстановлением свойств и геометрии, такой инструмент обеспечивает не только большой ресурс работоспособности, но и достижение равномерного порораспределения

в формуемых заготовках, что гарантирует высокие эксплуатационные свойства ФЭ.

Анализ литературных источников [1, 6, 7] показал, что отсутствуют сведения об исследовании закономерностей изменения структурных и гидродинамических свойств ФЭ из волокон, получаемых методом СИП. В то же время для порошковых материалов известно, что при изостатическом прессовании величины давления и работа прессования для получения брикетов одинаковой плотности меньше, чем при прессовании в закрытых пресс-формах. Сравнение уплотняемости при прессовании в стальной пресс-форме и в гидростате на примере порошка коррозионностойкой стали ПХ18Н15 показало [8], что во всем диапазоне исследованных давлений (100–1000 МПа) изостатическое прессование эффективнее прессования в закрытых пресс-формах. Так, для достижения одинаковой плотности образцов давление при изостатическом прессовании на 40–50 % меньше, чем при прессовании в закрытых пресс-формах (рис. 1).

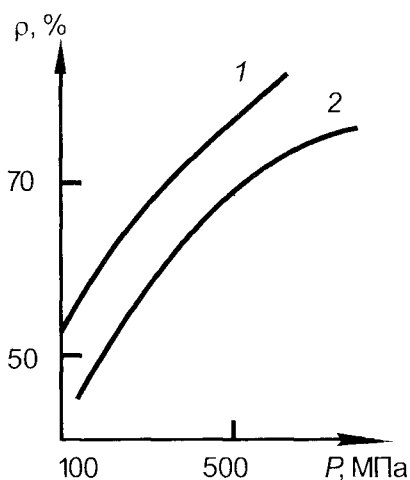


Рис. 1. Зависимость относительной плотности прессовок из порошков стали ПХ18Н15 от давления при прессовании в гидростате (1) и в стальной пресс-форме (2)

Эта разность давлений при изостатическом прессовании и прессовании в стальной пресс-форме связана с отсутствием потерь давления на внешнее трение, т. к. сжатие порошка является всесторонним и равномерным по величине во всех направлениях. Подобную закономерность следует ожидать в процессе прессования волокон.

Прессование является одной из основных операций при получении ПВМ, которая направлена на придание заготовкам из волокон требуемой формы и размеров, а также механической прочности, достаточной для проведения последующей технологической операции. На этой стадии изготовления формируется пористая структура, характеризующаяся структурными свойствами ПВМ, а именно

пористостью и размерами пор. Эти структурные свойства, в свою очередь, определяют гидродинамические, фильтрующие и механические свойства.

Процесс уплотнения дисперсных сред при приложении давления носит достаточно сложный характер. Однако многочисленные экспериментальные исследования, например [2–5], показали, что в общем случае процесс прессования можно разделить на несколько стадий, которые, несмотря на принципиальные различия их механизмов, имеют и много общего.

На первой стадии уплотнение начинается за счет деформации пористого каркаса, образованного при засыпке исходного материала в пресс-форму [2, 3]. Когда нагрузка создает напряжения, превышающие предел прочности каркаса, происходит перемещение волокон и их переупаковка. Первая стадия уплотнения характеризуется лишь структурной деформацией волокон в дисперсной засыпке. Закономерности уплотнения на первой стадии прессования количественно выражаются существенным увеличением плотности при небольших повышениях давления. Работа уплотнения затрачивается в основном на преодоление сил трения между волокнами.

На второй стадии при дальнейшем повышении давления происходит пластическая деформация в приконтактных зонах, которая не затрагивает изменение формы волокон дисперсной среды [2]. На этой стадии уплотнения большая часть работы прессования затрачивается на деформацию материала волокон и преодоление сил трения дисперсных волокон о стенки пресс-формы. В процессе нагружения действию сжимающих напряжений подвергается лишь часть контактного сечения. Происходит фиксация неравномерного распределения плотности, проявление которой обнаруживается еще на первой стадии прессования. На второй стадии уплотнения происходит более глубокая, по сравнению с первой стадией, деформация глубинных, наиболее мягких участков волокон.

Третья стадия характеризуется существенной деформацией волокон за счет истечения материала дисперсной среды в поры и значительным уменьшением пористости заготовки [2, 3]. На данной стадии уплотнения необратимая деформация переходит в пластическую деформацию во всем объеме волокон. При этом передача напряжений в направлениях, перпендикулярных приложенному давлению, имеет не упругий, а упруго-пластический характер.

При изготовлении пористых материалов процесс формования с приложением давления характеризуется протеканием лишь двух первых стадий уплотнения, при которых еще не происходит образования закрытых пор [2–5]. При этом всегда стремятся к достижению равномерного и однородного уплотнения во всем объеме формуемой

заготовки при ее максимальной пористости. В технологии прессования для получения образцов с максимальной пористостью необходимо ограничивать давление прессования минимальными значениями, определяемыми формуемостью дисперсных сред, а также для ее улучшения использовать такие подготовительные операции, как введение связующего материала или порообразователя. В связи с этим формуемость дисперсных сред при изготовлении пористых материалов является важной ее технологической характеристикой.

В результате проведенных исследований были определены характеристики уплотняемости медных волокон для радиального прессования в стальной пресс-форме. Для описания изменения пористости от давления прессования может быть использовано уравнение Ю.Г. Дорофеева [2]:

$$P = k\sigma_T(1 - \Pi)^m,$$

где P — давление прессования, МПа;

σ_T — предел текучести материала волокон, МПа;

Π — пористость;

k и m — постоянные.

Методом наименьших квадратов для ПВМ из волокон различных фракций определены значения коэффициентов k и m , входящие в уравнение прессования (табл. 1). На основании установленных зависимостей рассчитаны значения величин давлений прессования, обеспечивающих получение ФЭ пористостью Π , равной 10, 20, 30, 40, 50 %.

Таблица 1. Значения коэффициентов k , m уравнения прессования отожженных волокон различных фракций

| Фракции, мм | k | m |
|--------------|-------|------|
| -0,4 + 0,315 | 10,07 | 4,55 |
| -0,63 + 0,40 | 11,40 | 4,86 |
| -1,0 + 0,63 | 9,74 | 4,61 |

Для исследования структурных и гидродинамических свойств на установке для радиально-изостатического прессования (вертикальное исполнение) из медных волокон фракций (-0,315 + 0,4) мм и (-0,4 + 0,63) мм прессовались экспериментальные образцы ФЭ трубчатой формы с внутренним диаметром 32 мм и длиной 160 мм. Диапазон давлений прессования составлял 70–140 МПа. ФЭ спекались при температуре 1020 ± 20 °С в среде аргона. После спекания, полученные трубчатые элементы разрезались на экспериментальные образцы длиной 40 мм. На этих экспериментальных образцах по известным методикам [9] определялись структурные (пористость Π , максимальные $d_{n,max}$ и средние $d_{n,cp}$ размеры пор) и гидродинами-

ческие (коэффициент проницаемости k) свойства. По полученным экспериментальным данным для каждого образца рассчитывали параметр эффективности E_1 , равный $E_1 = \frac{\sqrt{k}}{d_{n,cp}}$.

В таблицах 2 и 3 приведены структурные и гидродинамические свойства экспериментальных образцов ФЭ из медных волокон в зависимости от фракционного состава и давления прессования.

Таблица 2. Структурные и гидродинамические свойства и параметр эффективности E_1 экспериментальных образцов ФЭ, изготовленных из медных волокон фракции (-0,315+0,4) мм

| Давление прессования, МПа | Π , % | $d_{n,max}$, МКМ | $d_{n,cp}$, МКМ | $k \cdot 10^{13}$, М ² | E_1 |
|---------------------------|-----------|-------------------|------------------|------------------------------------|--------|
| 70 | 44,1 | 131,4 | 85,4 | 480,2 | 0,0811 |
| 80 | 41,2 | 126,1 | 82,0 | 425,7 | 0,0796 |
| 90 | 38,1 | 115,2 | 77,2 | 405,2 | 0,0824 |
| 100 | 36,2 | 110,1 | 75,7 | 383,1 | 0,0817 |
| 110 | 35,1 | 103,2 | 73,2 | 345,6 | 0,0803 |
| 120 | 34,4 | 95,4 | 70,3 | 294,7 | 0,0773 |
| 130 | 32,6 | 85,6 | 69,1 | 266,5 | 0,0756 |
| 140 | 31,6 | 78,7 | 67,8 | 255,4 | 0,0744 |

Таблица 3. Структурные и гидродинамические свойства и параметр эффективности E_1 экспериментальных образцов ФЭ, изготовленных из медных волокон фракции (-0,4+0,63) мм

| Давление прессования, МПа | Π , % | $d_{n,max}$, МКМ | $d_{n,cp}$, МКМ | $k \cdot 10^{13}$, М ² | E_1 |
|---------------------------|-----------|-------------------|------------------|------------------------------------|--------|
| 70 | 42,1 | 170,2 | 106,4 | 600,1 | 0,0728 |
| 80 | 40 | 163,9 | 98,4 | 541,8 | 0,0748 |
| 90 | 37,2 | 151,6 | 91,6 | 510,1 | 0,0780 |
| 100 | 35,3 | 140,5 | 89,4 | 453,2 | 0,0753 |
| 110 | 33,8 | 135,7 | 86,5 | 406,1 | 0,0737 |
| 120 | 33 | 129,4 | 83,4 | 340,8 | 0,0700 |
| 130 | 31,8 | 125,6 | 79,2 | 309,5 | 0,0702 |
| 140 | 31 | 123,1 | 75,6 | 290,4 | 0,0712 |

Установленные зависимости позволяют определять режимы сухого изостатического прессования, обеспечивающие получение ФЭ с требуемыми структурными и гидродинамическими свойствами.

На рисунке 2 представлены зависимости параметра эффективности E_1 от давления прессования. Из представленных графиков следует, что максимальные значения параметра эффективности E_1 достигаются при давлениях прессования от 80 до 100 МПа, что может быть объяснено более регулярной структурой ФЭ, формируемой при этих значениях давления прессования.

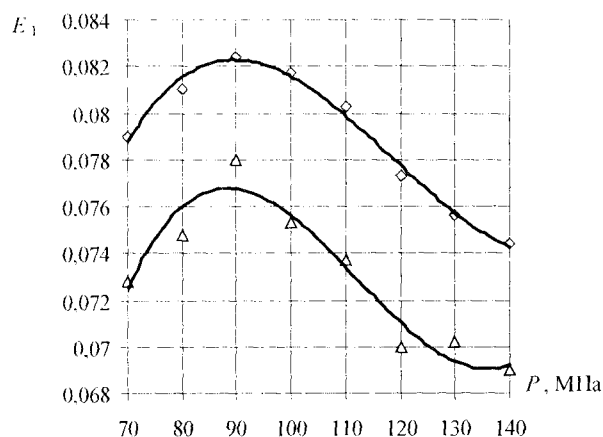


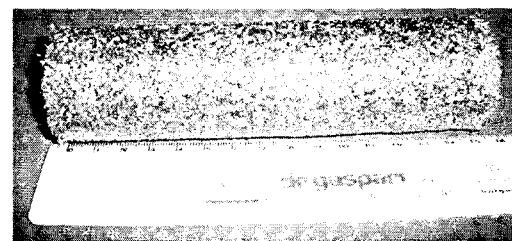
Рис. 2. Зависимость параметра эффективности E_1 от давления прессования P ФМ из волокон фракций: 1 — $(-0,315 + 0,4)$ мм; 2 — $(-0,4 + 0,63)$ мм

Проведенные исследования позволили разработать технологический процесс получения ФЭ из медных волокон методом сухого изостатического прессования. По разработанному технологическому процессу изготовлены длинномерные трубчатые ФЭ и ФЭ сложной формы. Фотографии полученных изделий представлены на рис. 3.

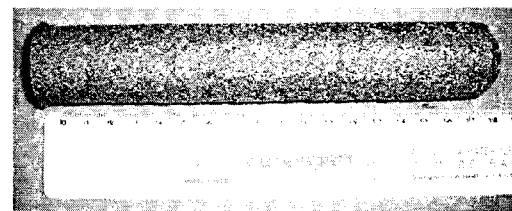
Заключение

Исследованы закономерности уплотнения медных волокон при радиальной схеме нагружения. Определены зависимости структурных (пористость, максимальные и средние размеры пор) и гидродинамических (коэффициент проницаемости) свойств от давления прессования.

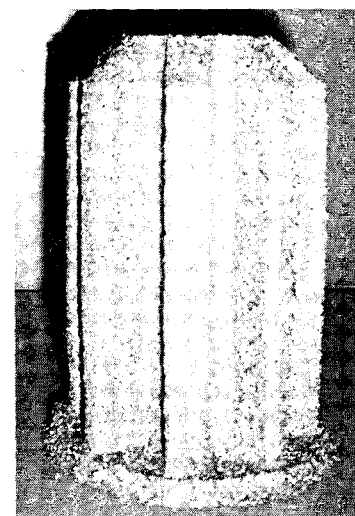
По полученным экспериментальным данным рассчитаны значения параметров эффективности E_1 для различных давлений прессования. Установлено, что максимальные значения параметра E_1 достигаются при давлениях прессования 80–100 МПа, что может быть объяснено более регулярной структурой фильтрующих материалов из медных волокон, реализуемой при этих значениях давления прессования.



а



б



в

Рис. 3. ФЭ, изготовленные методом сухого изостатического прессования: а — цилиндрической формы; б — цилиндрической формы с доньшком; в — цилиндрической формы с ребристой поверхностью

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витязь, П.А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шенявичус. Минск: Вышэйшая школа, 1987. 161 с.
2. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. Т.1. Киев: Наукова дум, 2002. 576 с.
3. Меерсон, Г.А. О некоторых вопросах процесса прессования порошков // Порошковая металлургия. 1974. № 5. С. 3–14.
4. Бальшин, М.Ю. научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1978. 336 с.
5. Меерсон, Г.А. Исследование процесса прессования вольфрамовых волокон / Г.А. Меерсон, С.С. Кипаришвили, Д. Хочолава // Порошковая металлургия. 1974. № 4. С. 7–11.
6. Реут, О.П. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов / О.П. Реут, Л.С. Богинский, Е.Е. Тюшик. Мн.: Дзбор, 1998. 225 с.
7. Богинский, Л.С. Теоретическое обоснование, разработка и внедрение новой технологии радиального прессования длинномерных изделий из металлических порошков. дис. ... докт. техн. наук / Л.С. Богинский. Мн.: 1988. 504 с.
8. Витязь, П.А. Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов / П.А. Витязь [и др.] ред. П.А. Витязя. М.: Металлургия, 1993. 240 с.
9. Капцевич, В.М. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. М.: БГАТУ, 2008. 232 с.