

*А.Ф. Ильющенко, д-р техн. наук, профессор, член-корр. НАН Беларуси, генеральный директор Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии;
В.М. Капцевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Белорусского государственного аграрного технического университета;
В.К. Корнеева, старший преподаватель Белорусского государственного аграрного технического университет*

Медные кабельные отходы – сырье для производства проницаемых волоконных материалов методами порошковой металлургии

Аннотация. Исследованы свойства переработанных медных кабельных отходов. Исследованы закономерности их уплотнения. Исследованы структурные и гидродинамические свойства проницаемых материалов из медных кабельных отходов, полученных одноосным прессованием в стальной пресс-форме. Доказана возможность использования медных кабельных отходов, разделенных на фракции, в качестве исходного сырья для производства проницаемых волоконных материалов.

Ключевые слова: медные кабельные отходы; проницаемые волоконные материалы; порошковые волоконные материалы; разделка и механическая переработка кабеля; методы холодного и горячего прессования из волоконных отходов.

Abstract. The properties of recycled copper cable scrap were investigated. Its grain size distribution was determined. For each separated fraction the types of structure elements were defined and the dimensions (diameters and lengths) were measured.

The packed density bulk density, tapped density and microhardness values were established.

Key words: copper cable scrap, permeable fibrous materials, cable stripping and mechanical recycling, methods of cold and hot pressing from fibrous waste.

Материал поступил в редакцию 07.11.2017
E-mail: lerakor1974@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ. Проницаемые волоконные материалы (ПВМ) по сравнению с порошковыми обладают рядом существенных преимуществ: большей пористостью, проницаемостью, прочностью, упругостью и пластичностью. Фильтры на их основе работают в режиме глубинного фильтрования, обладают высокой производительностью, задерживающей способностью, грязеемкостью, сроком службы и способностью к многократной регенерации. Однако дороговизна исходного сырья и в ряде случаев сложность технологии изготовления самих волокон сдерживают процессы создания проницаемых материалов на их основе.

Для изготовления проницаемых материалов несомненный интерес представляют медные кабельные отходы (МКО) волоконного строения. Их объем в общей массе медных отходов на территории СНГ составляет 17 %, а общий мировой объем оценивается экспертами компании ICF Consulting [1], являющейся главным аналитическим разработчиком программ Агентства США по защите окружающей среды, в 5 млн т. Такое количество отходов, по мнению их мнению, можно представить в виде спрессованного куба со стороной 170 м, либо в виде ковра толщиной 10 см и площадью 50 млн м², либо покрытия автобана от Парижа до Мюнхена шириной 50 м.

В настоящее время практически единственным применяемым на практике методом переработки кабельных отходов является разделка и механическая переработка кабеля на специализированных установках. На рис. 1 представлена принципиальная схема этого процесса. Процесс состоит из следующих основных операций: подготовка кабеля к переработке, его разделка, предварительное измельчение, окончательное измельчение и сепарация, пакетирование.

В настоящее время выпускаются автоматические линии для переработки кабельных отходов, которые позволяют осуществлять все вышеописанные операции. Основными потребителями таких отходов являются металлургические предприятия, занимающиеся производством катодной меди, из которой методом непрерывного литья и прокатки получают медную катанку, используемую для дальнейшего выпуска кабельной продукции.

Одним из альтернативных подходов к переработке МКО, исключая плавильный процесс, могла бы послужить технология порошковой металлургии, основанной на использовании в качестве исходного сырья металлических порошков и волокон. Данная технология позволяет целенаправленно конструировать структуру и свойства материалов и производить изделия с минимальными отходами, а также решать многие проблемы охраны окружающей среды.

Одним из таких подходов являлась разработка процесса переработки кабельных отходов для получения медного порошка и изготовления из него антифрикционных и конструкционных изделий различного назначения [2–5]. Кроме того, авторами [3] методами холодного и горячего прессования из волоконных отходов получены компактные медные прутки диаметрами 5,8–6,0 мм, механические свойства которых соответствовали ГОСТ на литую медь. Из тех же исходных материалов методом холодного выдавливания были получены медные трубки с внутренним диаметром 1,0 мм, из которых изготавливались наконечники для сварки в среде углекислого газа. Авторы [6] предложили использовать отходы для изготовления медных уплотнительных колец, применяемых в автотракторной технике.

Очевидно, что для принятия решения о практическом использовании такого подхода необходимо проведение

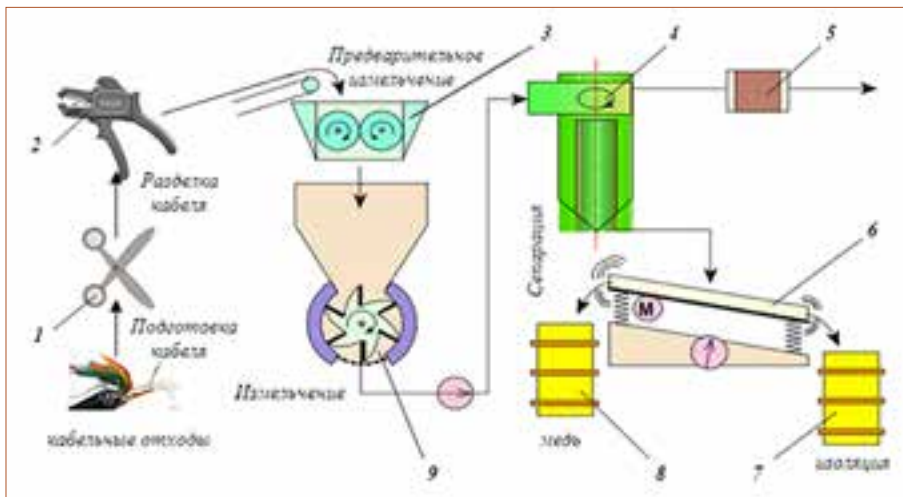


Рис. 1. Схема процесса механической переработки кабельных отходов:

1 – ножницы; 2 – стриппер; 3 – шредер; 4 – воздушный циклон; 5 – вытяжной фильтр; 6 – стол сепарации; 7 – контейнер для изоляции; 8 – контейнер для металла; 9 – мельница

сравнительного экономического анализа технологии существующей и предлагаемой, однако предварительно представляется необходимым ознакомить изготовителей кабельной продукции с основами предлагаемого метода и возможной областью применения получаемых продуктов.

Цель настоящего сообщения – исследование возможности использования МКО для изготовления ПВМ. Для этого необходимо исследовать свойства исходного сырья, закономерности его уплотнения, изготовить экспериментальные образцы и установить взаимосвязь структурных и гидродинамических свойств проницаемых волоконных материалов.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что структурные и гидродинамические свойства проницаемых материалов и технологические режимы их изготовления определяются свойствами исходного сырья, из которого они изготавливаются. Применительно к МКО такими свойствами являются дисперсность, гранулометрический состав, насыпная плотность и плотность утряски.

Дисперсность волокон характеризовали двумя параметрами: поперечным размером (диаметром) и длиной. Для их определения на сканере HP Scanjet 3770 фиксировалось изображение изучаемых объектов, которое потом обрабатывалось при помощи программного комплекса обработки и анализа изображений «ImageSP» (УП «СИСПРОГ»).

Для определения гранулометрического состава применялся ситовый метод разделения дисперсных сред. Для этого использовались сита с ячейками размером 0,1; 0,2; 0,315; 0,4; 0,63; 0,8 и 1,0 мм. Масса исходных волокон после рассева их на фракции определялась на электронных весах марки ВК-300. Плотность насыпки волокон каждой фракции определяли по ГОСТ 19404–94, а плотность утряски – по ГОСТ 25279–92.

Для исследования закономерностей уплотнения МКО при одноосном прессовании использовалась пресс-форма с внутренним диаметром 30 мм. Уплотнение осуществляли на универсальной испытательной машине УИМ-40 ТН в диапазоне давлений 20–275 МПа. Спекание образцов производили в электропечи в атмосфере эндогаза при температуре спекания 1010 ± 10 °С. Время выдержки образцов в шахтной печи составляло 1,5 ч.

Структурные свойства ПВМ определяли следующим образом: пористость П – по ГОСТ 18898–89, размеры пор максимальные $d_{п\max}$ и средний $d_{п\text{ср}}$ – по ГОСТ 26849–93; гидродинамические свойства (коэффициент проницаемости k) определяли по ГОСТ 25283–93.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 приведена фотография исходного дисперсного материала. Проведенный анализ позволил установить, что переработанные МКО в основном состоят из медных волокон. Кроме волокон в исходном сырье в незначительном количестве



Рис. 2. Внешний вид дисперсного материала в состоянии поставки

присутствуют медные пластинчатые и осколочные гранулы, а также частички свинца и изоляции.

Основной морфологической характеристикой переработанных МКО является форма составляющих их частиц, которая устанавливается, как правило, по принципу сходства их с формами известных макротел. При рассмотрении исходного сырья были выделены основные группы присутствующих дисперсных элементов (рис. 3). К ним, прежде всего, относятся непосредственно волокна, характеризуемые, во-первых, различными диапазонами диаметров (от 100 до 800 мкм) и длин (от 2,0 до 25 мм), во-вторых, различной степенью изогнутости. Волокна по степени их изогнутости (отклонению от прямолинейной формы) разделены на прямолинейные, искривленные и закрученные. Наиболее искривленные и закрученные волокна выделены в две дополнительные группы дисперсных волоконных элементов, названных нами крючками и свертышами. По форме поперечного сечения в отдельную группу выделены расплюснутые (деформированные) волокна, которые по всей длине или на её части имеют прямоугольную форму. Присутствующие в отходах частицы чешуйчатой формы названы нами лепестками и гранулами.



Волокна



Крючки



Свёртыши



Расплющенные волокна



Лепестки и гранулы

Рис. 3. Классификация дисперсных элементов исходного сырья (× 10)

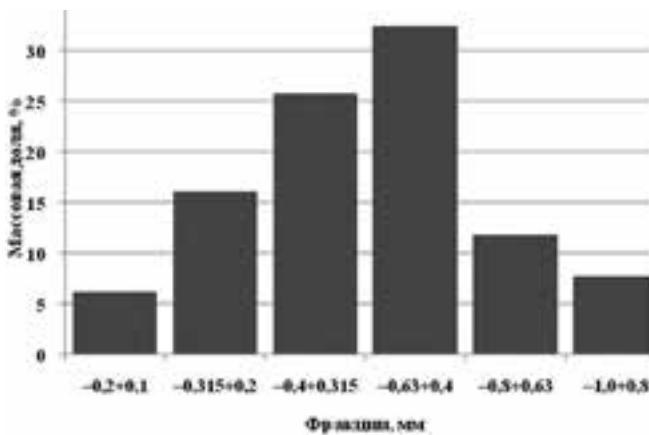


Рис. 4. Гистограмма массового распределения МКО по фракциям

На рис. 4 представлена гистограмма массового распределения дисперсных МКО по фракциям, из которой следует, что наиболее представительными являются фракции $(-0,4+0,315)$ мм и $(-0,63+0,4)$ мм, массовая доля которых составляет 25,8 и 32,4 % соответственно.

На рис. 5 представлены фотографии дисперсных МКО различного гранулометрического состава.

При анализе дисперсных элементов, присутствующих в каждой фракции, они разбивались на отряды (пять–шесть отрядов в каждой фракции), характеризующиеся однотипностью объектов. Волокна разных отрядов, как правило, отличались друг от друга длинами (l) или диаметрами (d), или формой поперечного сечения, или степенью искривленности.

Проведенный анализ дисперсных элементов, присутствующих в анализируемых фракциях МКО, показал следующее.

Основу всех фракций (за исключением фракций $(-0,8+0,63)$ и $(-1,0+0,8)$ мм) составляют волокна, диаметры которых в каждой фракции имеют близкие друг к другу значения, соответствующие размерам ячеек сит:

| Фракция, мм | $(-0,2+0,1)$ | $(-0,315+0,2)$ | $(-0,4+0,315)$ | $(-0,63+0,4)$ |
|-------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
| d , мкм | 100 | 200, 300 | 300, 400 | 500, 600 |

Каждая фракция характеризуется разбросом длин присутствующих в ней волокон. На рис. 6 представлены функции распределения волокон каждой фракции по длинам.

Из представленных функций распределения наибольшее количество волокон каждой из рассмотренных фракций имеют длины:

| Фракция, мм | $(-0,2+0,1)$ | $(-0,315+0,2)$ | $(-0,4+0,315)$ | $(-0,63+0,4)$ |
|---------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
| l , мм | 5 | 3 | 7 | 5 |
| Количество, % | 50,7 | 47,7 | 38,0 | 41,8 |

Во всех фракциях, за исключением фракции $(-0,2+0,1)$ мм, присутствуют дисперсные элементы (выделенные нами в первый отряд), отличающиеся размерами и видом изогнутости от основной массы волокон. В основном, это волокна диаметром 100 мкм в виде крючков и свёртышей, причём если во фракции $(-0,315+0,2)$ мм присутствуют только крючки, то в последующих – крючки и свёртыши, причём количество последних возрастает в каждой последующей фракции. При этом массовая доля их составляет 7–10 %.

Дисперсные элементы фракций $(-0,8+0,63)$ и $(-1,0+0,8)$ мм существенно отличаются от вышерассмотренных фракций.

Фракция $(-0,8+0,63)$ мм состоит из расплющенных волокон диаметрами 600 и 700 мкм и длинами от 4 до 25 мм. Причём массовая доля с длинами от 12 до 25 мм незначительна (5 %). В этой фракции самую значительную долю (28 %) составляют дисперсные элементы первого отряда: волокна диаметрами 100 мкм в виде крючков и свёртышей, а также медные лепестки и свинцовые гранулы размерами 0,6–0,8 мм.

Дисперсные элементы во фракции $(-1,0+0,8)$ мм затруднительно характеризовать конкретными значениями диаметров и длин. В отряде 1 присутствуют крючки и свёртыши диаметрами 100 мкм, а также медные лепестки и свинцовые гранулы с размерами, соответствующими размерам ячеек сита (1 мм). Их массовая доля значительна и составляет 36 %. Остальные дисперсные элементы представляют собой расплющенные волокна в форме пластин шириной 0,6–0,8 мм и длинами от 2 до 8 мм и изогнутые волокна диаметрами 300, 400, 500 и 800 мкм и длинами от 8 до 20 мм.

Результаты определения насыпной плотности и плотности утряски рассмотренных фракций представлены на рис. 7 и 8 соответственно.

Анализируя полученные зависимости, можно прийти к заключению, что с увеличением диаметра волокон насыпная плотность и плотность утряски возрастают, что согласуется с результатами работы [7].

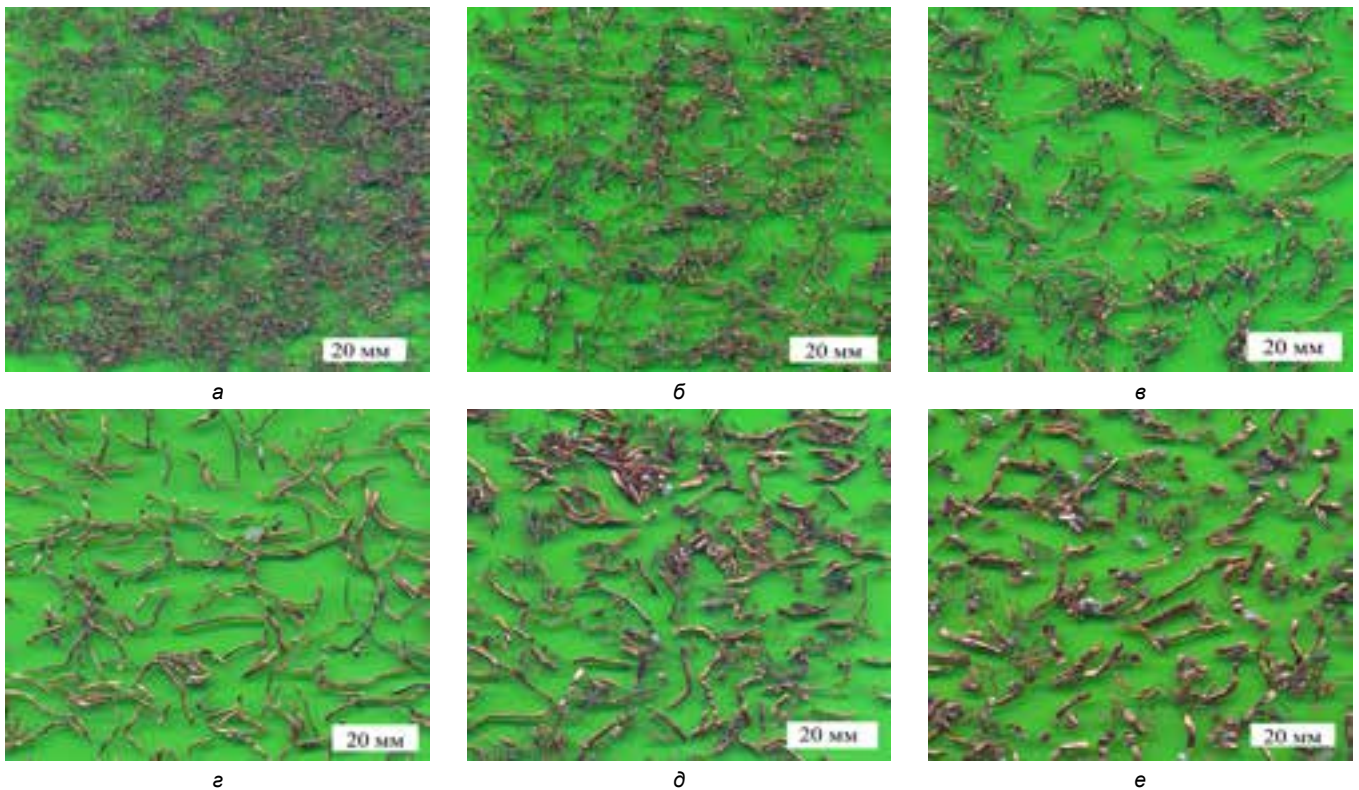


Рис. 5. Фотографии МКО различного гранулометрического состава:
 а – (-0,2+0,1); б – (-0,315+0,2); в – (-0,4+0,315); г – (-0,63+0,4); д – (-0,8+0,63); е – (-1,0+0,8) мм

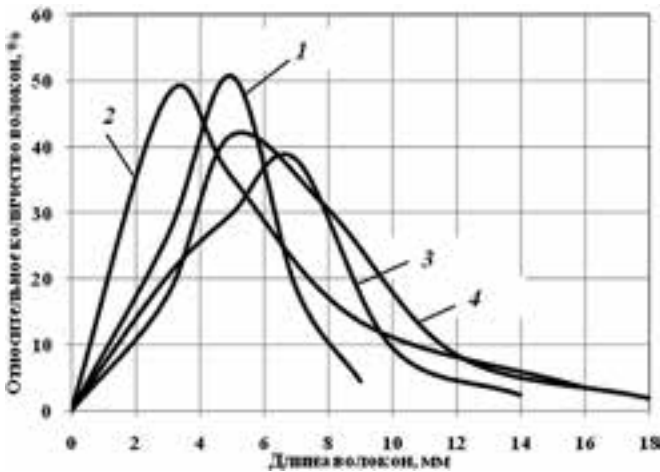


Рис. 6. Функции распределения по длинам волокон следующих фракций: 1 – (-0,2+0,1); 2 – (-0,315+0,2); 3 – (-0,4+0,315); 4 – (-0,63+0,4) мм

При исследовании уплотняемости МКО для каждой фракции были определены зависимости давления прессования P от величины $(1 - \Pi)$.

На основе полученных экспериментальных данных методом наименьших квадратов для прессовок из МКО различных фракций, определены значения коэффициентов K и m , входящие в уравнение Ю.Г. Дорофеева [8]:

$$P = K\sigma_{10} (1 - \Pi)^m, \quad (1)$$

где K, m – постоянные;
 σ_{10} , МПа – предел текучести материала волокон.

Полученные результаты представлены в таблице.

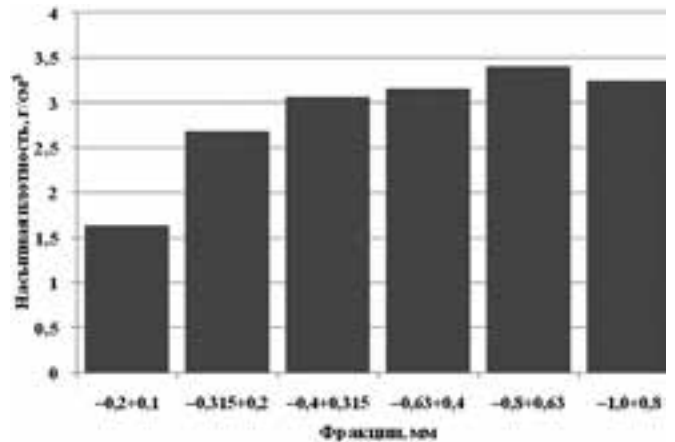


Рис. 7. Зависимость насыпной плотности дисперсных элементов от гранулометрического состава

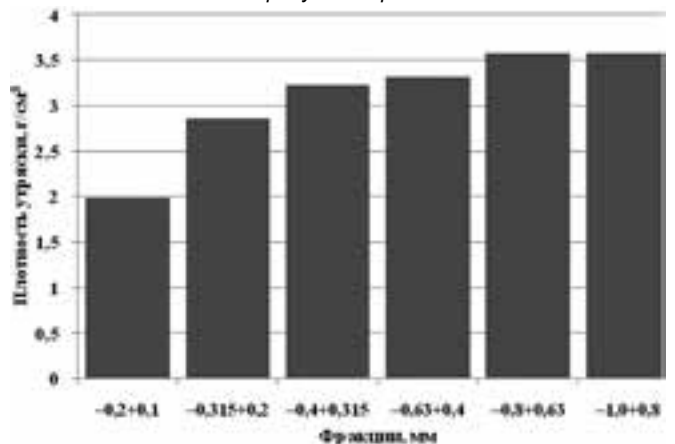


Рис. 8. Зависимость плотности утрамбовки дисперсных элементов от гранулометрического состава

Таблица

Значение коэффициентов K , m , входящих в уравнение прессования МКО различных фракций при одноосном прессовании

| Фракции, мм | K | m |
|-------------|-------|------|
| -0,2+0,1 | 7,51 | 3,59 |
| -0,315+0,2 | 7,63 | 3,7 |
| -0,4+0,315 | 8,14 | 3,76 |
| -0,63+0,4 | 8,36 | 3,81 |
| -0,8+0,63 | 13,73 | 4,22 |
| -1,0+0,8 | 10,67 | 3,6 |

Сравнительный анализ полученных значений (табл.) коэффициента m , которые находятся в диапазоне 3,59–4,22, с ранее полученными данными [9], согласно которым для медных волокон $m = 4,0$ при $l = 10$ мм и $m = 3,41$ при $l = 20$ мм, показал совпадение результатов исследований.

Анализируя полученные значения (табл.) коэффициента K , следует отметить, что для прессовок из МКО фракций (-0,8+0,63) и (-1,0+0,8) мм эти значения ($K = 13,73$ и $K = 10,67$ соответственно) существенно отличаются от значений K остальных фракций. Это может быть объяснено значительным присутствием в этих фракциях структурных элементов неволокнуемого типа (крючков, свёртышей, расплюснутых волокон, лепестков и гранул). Коэффициент K для фракций (-0,2+0,1), (-0,315+0,2), (-0,4+0,315), (-0,63+0,4) мм, состоящих из структурных элементов, близких к волокнуемому типу, изменяется в диапазоне 7,51–8,36. При этом можно предположить, что рост коэффициента K связан с увеличением количества структурных элементов неволокнуемого типа в каждой последующей фракции.

Для двух групп фракций: первой (-0,2+0,1), (-0,315+0,2), (-0,4+0,315), (-0,63+0,4) мм, и второй (-0,8+0,63) и (-1,0+0,8) мм построены зависимости давления прессования P от величины $(1 - \Pi)$ и определены коэффициенты K и m , входящие в уравнение прессования Ю.Г. Дорофеева.

Уравнение прессования для первой группы фракций имеет вид:

$$P = 7,88\sigma_{\tau 0} (1 - \Pi)^{3,70} \quad (2)$$

и для второй группы фракций:

$$P = 13,09\sigma_{\tau 0} (1 - \Pi)^{4,06} \quad (3)$$

На основании полученных экспериментальных данных были построены зависимости пористости Π от давления прессования P для рассмотренных выше двух групп фракций (рис. 9). Приведённые

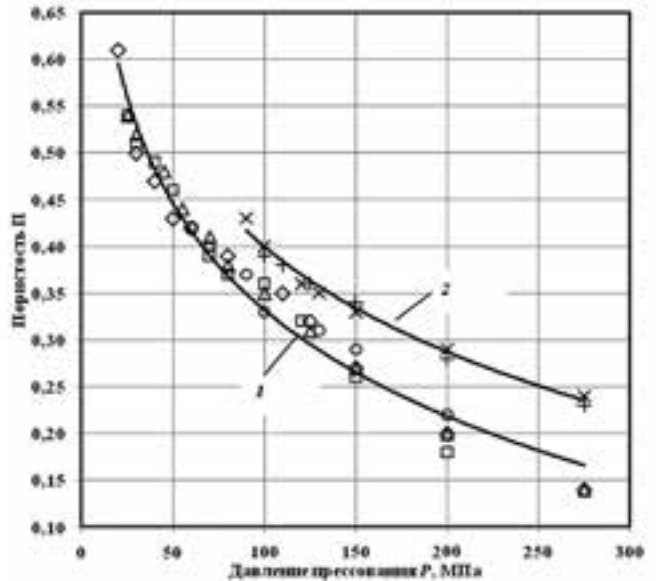


Рис. 9. Зависимости пористости Π от давления прессования P прессовок из МКО двух групп фракций: 1 – (-0,2+0,1), (-0,315+0,2), (-0,4+0,315), (-0,63+0,4); 2 – (-0,8+0,63), (-1,0+0,8) мм

графические зависимости доказывают существенное различие в характере уплотнения этих групп фракций: для получения прессовок одной и той же пористости при одноосном прессовании в стальной пресс-форме значения давления прессования для первой группы фракций на 50 % меньше, чем для второй.

Исследованы структурные (пористость Π , максимальные $d_{n \max}$ и средний $d_{n \text{cp}}$ размеры пор) и гидродинамические (коэффициент проницаемости k) свойства экспериментальных образцов, а также определены параметры, характеризующие пористую структуру экспериментальных образцов: параметр равномерности порораспределения $A = d_{n \text{cp}} / d_{n \max}$ и параметр эффективности $E_1 = \sqrt{k} / d_{n \text{cp}}$. На рис. 10 представлена взаимосвязь структурных и гидродинамических свойств экспериментальных образцов МКО различных фракций, а на рис. 11 – зависимости параметров, характеризующих пористую структуру от пористости Π .

ВЫВОДЫ

1. Исследованы свойства переработанных МКО. Установлено, что МКО, разделённые на фракции, характеризуются присутствием дисперсных элементов в виде волокон различной длины с близкими значениями диаметров. Волокновые элементы малого диаметра имеют форму крючков и свёртышей.

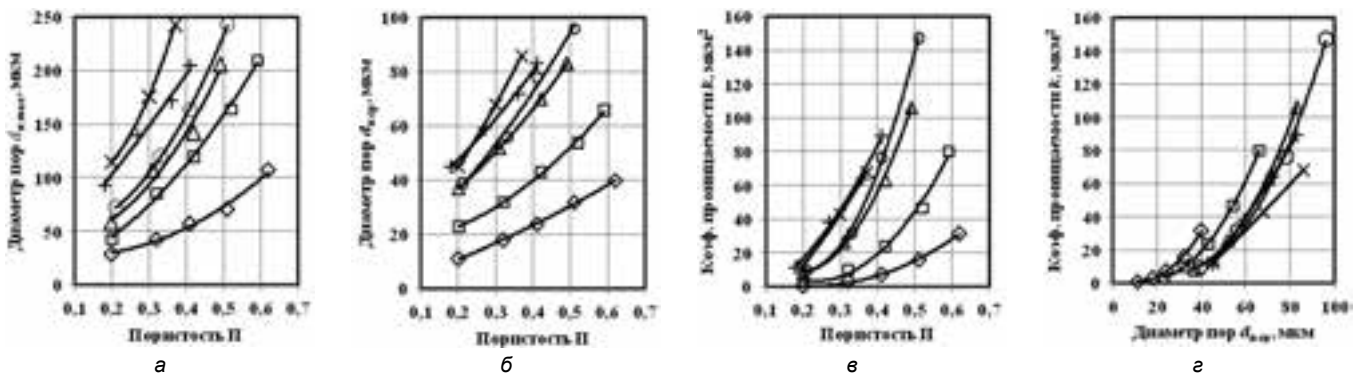


Рис. 10. Зависимость максимальных $d_{n \max}$ (а) и средних $d_{n \text{cp}}$ (б) диаметров пор, коэффициента проницаемости k (в) от пористости Π , коэффициента проницаемости k (г) от средних $d_{n \text{cp}}$ диаметров пор экспериментальных образцов из МКО фракций: \diamond – (-0,2+0,1); \square – (-0,315+0,2); Δ – (-0,4+0,315); \circ – (-0,63+0,4); $+$ – (-0,8+0,63); \times – (-1,0+0,8) мм

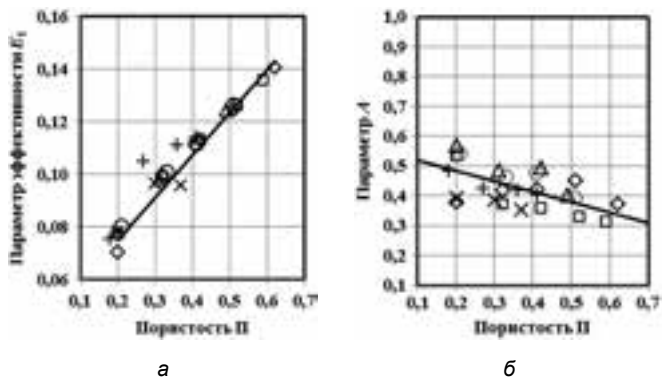


Рис. 11. Зависимость параметра равномерности порораспределения *A* (а) и параметра эффективности *E*, (б) от пористости *P* экспериментальных образцов из МКО фракций: $\diamond - (-0,2+0,1)$; $\square - (-0,315+0,2)$; $\Delta - (-0,4+0,315)$; $\circ - (-0,63+0,4)$; $+ - (-0,8+0,63)$; $\times - (-1,0+0,8)$ мм

Встречаются также элементы неволокнутого строения в виде расплюснутых волокон и гранул, которые оказывают негативное влияние на значения прессуемости, параметра эффективности и равномерности порораспределения.

2. Показана возможность использования фракций размером от 0,2 до 0,63 мм для производства ПВМ, которые могут быть использованы для изготовления фильтров.

3. Показано, что фракции размером более 0,63 мм нельзя рекомендовать для изготовления ПВМ.

4. Для решения вопроса о возможности практического использования методов порошковой металлургии для переработки отходов

кабельного производства необходимо сравнение экономических показателей предлагаемой и традиционной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещанов Г.И. Экологические аспекты кабельного производства // Кабели и провода. – 2001. – № 1.
2. Раев С.С, Рябичева Л.О., Циркин А.Т., Никитин Ю.М. Спосіб одержання порошку міді // Патент на винахід 64966 А. Україна. 15.03.2004. Бюл. № 1. – 3 с.
3. Рябичева Л.А. Моделирование технологии изготовления высокоплотной меди из пористой волокнутой заготовки / Л.А. Рябичева, Д.А. Усатюк, А.П. Скляр // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск, 2008. – № 1 (19). – С. 50–54.
4. Рябичева Л.А. Технология и свойства меди, полученной из волокон / Л.А. Рябичева, А.Т. Циркин, А.П. Скляр // Порошковая металлургия. – 2008. – № 1. – С. 50–56.
5. Скляр А.П. Получение прутков из волокнутой шихты обработкой давлением / А.П. Скляр // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. Праць. – Луганськ: Вид-цтво СНУ, 2008. – С. 87–92.
6. Капцевич В.М., Богинский Л.С., Кусин Р.А., Хроль И.Н., Кривальцевич Д.И., Маршина Е.А., Закревский И.В. Уплотнительная прокладка // Патент № ВУ 3809. У 2007.08.30. МПК (2006) F 16J 15/00 / заявитель БГАТУ. № u 20070087.
7. Косторнов А.Г. Проницаемые металлические волокнуые материалы / А. Г. Косторнов. – Киев: Техника, 1983. – 123 с.
8. Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых материалов / Ю.Г. Дорофеев. – М.: Наука, 1968. – 120 с.
9. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых материалов и сплавов / А.Г. Косторнов. – Киев: Наук. думка, 2002. – Т. 1. – 572 с.



САМАРСКАЯ КАБЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ

SAMARA CABLE COMPANY

65 лет на рынке!

Предлагаем Вам широкую номенклатуру производимой кабельно-проводниковой продукции.

Новая продукция:

- силовые и контрольные кабели не распространяющие горение, с пониженным дымо- и газовыделением и с низкой токсичностью продуктов горения; пониженной пожарной опасности для районов с холодным климатом;
- силовые кабели не распространяющие горение и огнестойкие;
- контрольные кабели не распространяющие горение, огнестойкие, бронированные;
- контрольные кабели, не распространяющие горение и огнестойкие для метрополитенов (согласовано с ОАО «Метротранс»);

А также:

- силовые и контрольные кабели, в т.ч. не распространяющие горение, огнестойкие, для районов с холодным климатом, в оболочке из полимерной композиции, не содержащей галогенов;
- провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи, в т.ч. не распространяющие горение;
- кабели сигнально-блокировочные;
- кабели магистральной, зонной и местной связи;
- огнестойкие кабели для противопожарных систем и систем оповещения с изоляцией из кремнийорганической резины;
- городские телефонные кабели
- кабели телефонные для цифровых сетей;
- автомобильные провода.

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ (МС) ISO 9001-2011, ISO/TS 16949:2009 (для потребителей автопроводов), ГОСТ РВ 0015-002-2012 (для потребителей продукции специального назначения). Система экологического менеджмента сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 14001-2007.

АО «Самарская Кабельная Компания»
443022, г. Самара, ул. Кабельная, 9
Тел./факс (846) 279 1210, 278 4146, 276 9899
E-mail: sales@samaracable.ru
www.samaracable.ru