

8. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (Трибология и триботехника) /А.В. Чичинадзе, Э.М. Браун; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

9. Панасюк, В.В. Механика разрушений и прочность материалов: справоч. пос. в 4-х т.; под общей ред. В.В. Панасюка / Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1990. – Т. 4. – 680 с.

10. Спиридонов, Н.В. Коррозионная стойкость медесодержащих металлопокрытий, наплавленных с применением ультразвуковых колебаний / Н.В. Спиридонов, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник Полоцкого государственного университета: серия В. Промышленность. Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – №8. – С.73-76.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017

УДК 621.762

ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОДНООСНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

В.М. Капцевич,

заведующий каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.К. Корнеева,

ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ

Т.А. Богданович,

студент БГАТУ

Исследованы свойства переработанных медных кабельных отходов и 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, гранулометрический состав, плотность насыпки, плотность утряски, уплотняемость, прессуемость, волоконные проницаемые материалы, структурные и гидродинамические свойства.

Properties of recycled copper cable waste are investigated. Regularities of their seals were investigated. Structural and hydrodynamic properties of permeable materials from copper cable wastes obtained molding in a steel mold, investigated. The possibility of using copper cable waste separated into fractions, as a feedstock for the production of permeable fibrous materials, proven.

Keywords: Copper cable waste, particle size distribution, application phase density, tapped density, compressibility, compressibility, of fiber permeable materials, structural and hydrodynamic properties.

Введение

Современная сельскохозяйственная техника представляет собой дорогостоящие высокотехнологичные изделия, производство и обслуживание которых требуют значительной технической культуры. Эффективность, а зачастую даже область применения мобильной техники, в большой мере определяется качеством вспомогательных систем, которые должны обеспечить, при интенсивной эксплуатации, функционирование силовых агрегатов в оптимальных режимах. Известно [1-4], что системы фильтрования можно отнести к наиболее значимым вспомогательным системам такого рода, поскольку как минимум 75 % неисправностей и 50 % простоев автотракторной и сельскохозяйственной техники обусловлено наличием загрязняющих частиц в топливе, масле, гидрожидкости и воздухе.

Для очистки жидкостей и газов используют порошковые, волоконные и ячеистые проницаемые мате-

риалы, которые являются традиционными объектами разработок и исследований в области порошковой металлургии. Проницаемые волоконные материалы (ПВМ) по сравнению с порошковыми материалами обладают рядом существенных преимуществ [5, 6]: 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.

В качестве исходного сырья для изготовления ПВМ несомненный интерес представляют медные кабельные отходы (МКО). В БГАТУ впервые предложено их использовать в качестве исходного мате-

риала для изготовления ПВМ, которые до настоящего времени использовались лишь как вторичное сырье в цветной металлургии при производстве катодной меди и отливок из медных сплавов [7-9].

Целью настоящей работы является исследование технологических свойств переработанных МКО и установление взаимосвязи структурных и эксплуатационных свойств получаемых на их основе проницаемых волоконных материалов, доказывающих возможность их использования для производства фильтров.

Основная часть

При рассмотрении исходного сырья (МКО) были выделены основные группы присутствующих дисперсных элементов, что позволило предложить следующую их классификацию:

- элементы волоконного строения – непосредственно волокна, характеризуемые различными группами диаметров, от 100 до 800 мкм и длин, от 2,0 до 25 мм;

- изогнутые волокна (крючки) и закрученные волокна (свертыши);

- элементы неволоконного строения – расплющенные волокна, лепестки и гранулы (рис. 1).

Для определения гранулометрического состава использовался ситовый метод разделения дисперсных элементов на фракции $(-0,2...+0,1)$, $(-0,315...+0,2)$, $(-0,4...+0,315)$, $(-0,63...+0,4)$, $(-0,8...+0,63)$ и $(-1,0...+0,8)$ мм (рис. 2).

Для каждой из выделенных фракций дисперсных элементов определяли морфологические характеристики, текучесть, насыпную плотность, плотность утряски, прессуемость и спекаемость.

Для морфологического анализа дисперсные элементы, присутствующие в каждой фракции, разбивались на размерные классы (четыре – семь классов в

каждой фракции), характеризуемые однотипностью объектов. Волокна разных классов, как правило, отличались друг от друга длинами (l) или диаметрами (d), или формой поперечного сечения, или степенью искривленности. Массовая доля дисперсных объектов (m) рассматриваемых фракций каждого класса, а также отношение длины волокна к его диаметру (l/d) представлены в таблице 1. Классы, представленные крючками и свертышами, обозначены ξ , а классы объектов неволоконного строения (лепестки и гранулы) – χ .

Анализ гранулометрического состава и морфологии дисперсных элементов МКО позволил разделить их на две группы фракций:

- первая группа – $(-0,2...+0,1)$, $(-0,315...+0,2)$, $(-0,4...+0,315)$ и $(-0,63...+0,4)$ мм;

- вторая группа – $(-0,8...+0,63)$ и $(-1,0...+0,8)$ мм.

Дисперсные элементы всех фракций первой группы, в отличие от фракций второй группы, характеризуются близкими значениями диаметров и различными длинами. Последние отличают МКО отходы от традиционного волоконного сырья. Во всех фракциях первой группы за исключением $(-0,2...+0,1)$ мм содержатся в массовом количестве (3-5 %) дисперсные элементы, представляющие собой изогнутые волокна диаметром 100 мкм, которые могут служить активаторами спекания. Величина l/d для фракций второй группы составит менее 20, что нехарактерно для традиционных волоконных объектов. Присутствие во фракциях второй группы в значительном количестве крючков и свертышей, объектов неволоконного строения (лепестки и гранулы) также существенно отличает рассматриваемые объекты от традиционного волоконного материала.

Текучесть дисперсных элементов каждой фракции определяли по ГОСТ 20899-98, плотность насыпки — по ГОСТ 19440-94 (рис. 3), а плотность утряски

Элементы волоконного строения



Волокна

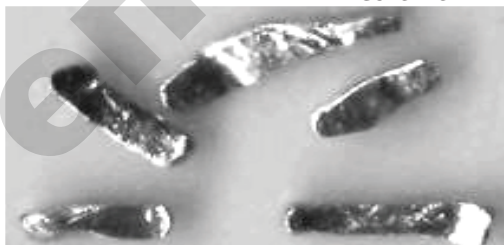


Крючки

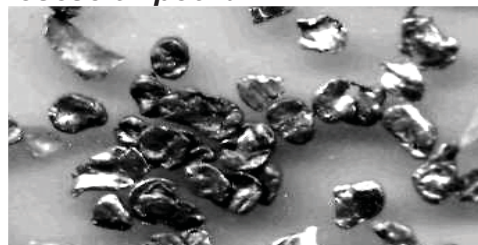


Свертыши

Элементы неволоконного строения



Расплющенные волокна



Лепестки и гранулы

Рисунок 1. Классификация дисперсных элементов МКО

Таблица 1. Морфологические характеристики дисперсных элементов

Фракция, мм	№ класса. (l, мм)	d, мм	m, %	l/d	Фракция, мм	№ отряда (l, мм)	d, мм	m, %	l/d
(-0,2...+0,1)	ξ (-)	-	-	-	(-0,4...+0,315)	ξ (4...8)	0,1	3	-
	I (<2)	-	-	-		I (<2)	0,4	8	3
	II (2...4)	0,1	18	30		II (2...4)	0,35	10	9
	III (4...6)	0,1	50	50		III (4...6)	0,35	44	14
	IV (6...10)	0,1	24	80		IV (6...10)	0,35	29	23
	V (>10)	0,1	8	100	V (>10)	0,25	6	60	
(-0,315...+0,2)	ξ (5...12)	0,1	5	-	(-0,63...+0,4)	ξ (6...10)	0,1	5	-
	I (<2)	0,3	2	3		I (<2)	0,6	2	2
	II (2...4)	0,25	27	12		II (2...4)	0,5	13	6
	III (4...6)	0,25	24	20		III (4...6)	0,5	25	10
	IV (6...10)	0,2	34	40		IV (6...10)	0,5	39	16
	V (>10)	0,15	8	100	V (>10)	0,25	16	68	
(-0,8...+0,63)	ξ (8...12)	0,1-0,25	21	-	(-1,0...+0,8)	ξ (8...12)	0,1-0,25	27	-
	χ (-)	-	2	-		χ (-)	-	11	-
	I (<2)	0,8	6	1		I (<2)	0,9	7	1
	II (2...4)	0,7	29	4		II (2...4)	0,9	27	3
	III (4...6)	0,7	20	7		III (4...6)	0,9	16	6
	IV (6...10)	0,7	16	11		IV (6...10)	0,9	5	9
	V (>10)	0,6	6	20	V (>10)	0,7	7	17	

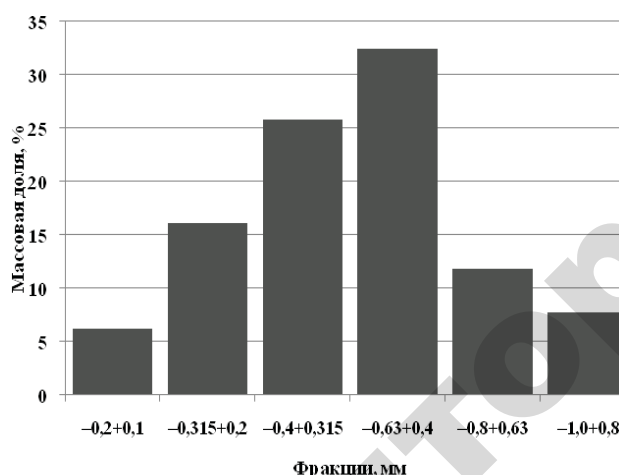


Рисунок 2. Гранулометрический состав МКО по фракциям

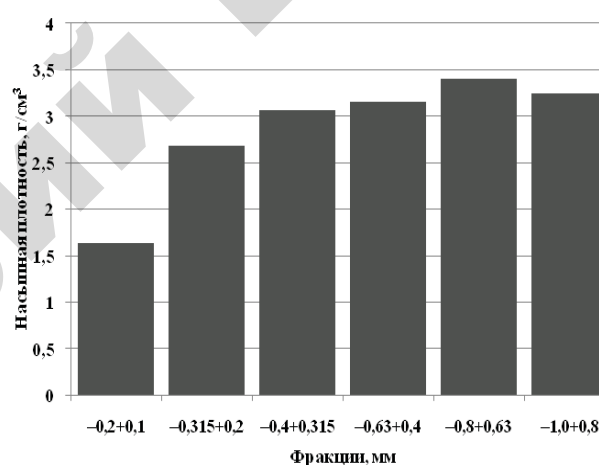


Рисунок 3. Зависимость насыпной плотности дисперсных элементов от гранулометрического состава

– по ГОСТ 25279-93 (рис. 4).

Установлено, что дисперсные элементы каждой фракции обладают нулевой текучестью, а насыпная плотность и плотность утряски возрастают с ростом размеров дисперсных элементов.

Для исследования характеристик прессуемости – уплотняемости и формуемости, отоженные ($T = 850 \pm 10$ °С) дисперсные элементы каждой фракции подвергали одноосному прессованию в стальной пресс-форме с внутренним диаметром 30 мм. Уплотнение осуществляли на универсальной испытательной машине УИМ-40 ТН в диапазоне давлений 20–275 МПа.

Исследование формуемости дисперсных элементов каждой фракции (табл. 2) показало низкую формуемость дисперсных элементов 2-й группы фракций.

Для определения уплотняемости для каждой фракции были определены зависимости давления прессова-

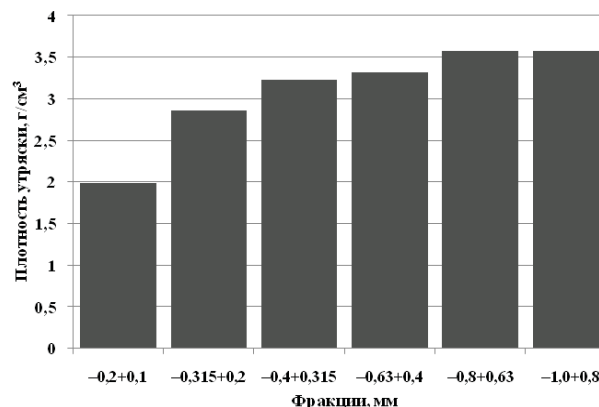


Рисунок 4. Зависимость плотности утряски дисперсных элементов от гранулометрического состава

Таблица 2. Формуемость дисперсных элементов

Фракции, мм	(-0,2...+0,1)	(-0,315...+0,2)	(-0,4...+0,315)
Формуемость, МПа	20	20	40
Фракции, мм	(-0,63...+0,4)	(-0,8...+0,63)	(-1,0...+0,8)
Формуемость, МПа	40	80	125

ния P от величины $(1 - \Pi)$, где Π – пористость. На основе полученных экспериментальных данных методом наименьших квадратов для прессовок из МКО различных фракций, определены значения коэффициентов K и m , входящие в уравнение прессования Ю.Г. Дороевса для волоконных материалов [10]:

$$P = K \sigma_{\tau 0} (1 - \Pi)^m,$$

где K, m – постоянные;

$\sigma_{\tau 0}$ – предел текучести материала волокон, МПа.

Полученные результаты представлены в табл. 3.

Сравнительный анализ полученных значений (табл. 3) коэффициента m , которые находятся в диапазоне 3,59–4,22 показал, что они согласуются с литературными данными [5, 11] для медных волокон.

На основании полученных экспериментальных данных были построены зависимости пористости Π от давления прессования P для рассмотренных выше двух групп фракций (рис. 5).

Приведенные графические зависимости доказывают существенное различие в характере уплотнения этих групп фракций: для получения прессовок одной и той же пористости при одноосном прессовании в стальной

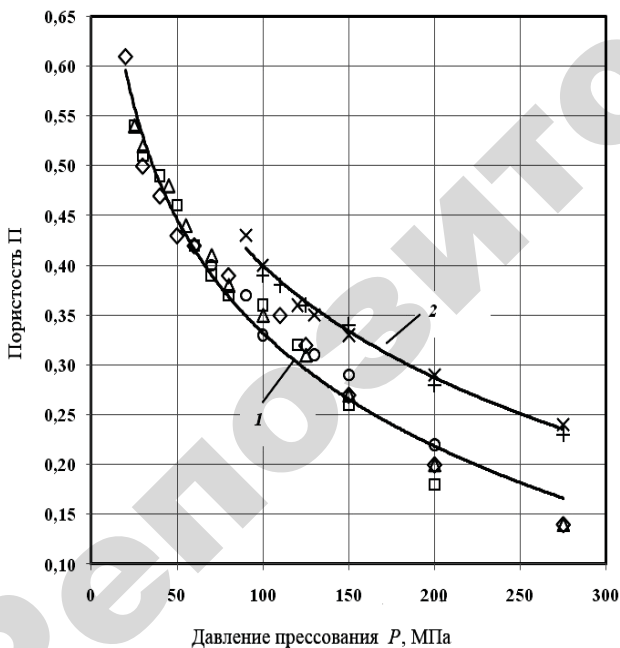


Рисунок 5. Зависимость пористости Π от давления прессования P прессовок из волоконных отходов двух групп фракций: первой (1) – (-0,2...+0,1), (-0,315...+0,2), (-0,4...+0,315), (-0,63...+0,4); второй (2) – (-0,8...+0,63), (-1,0...+0,8) мм

пресс-форме значения давления прессования для первой группы фракций на 50 % меньше, чем для второй.

Для оценки возможности изготовления ПВМ из МКО были изготовлены экспериментальные образцы из дисперсных элементов каждой фракции диаметром 30 мм и толщиной 5 мм методом одноосного прессования в стальной пресс-форме при давлениях прессования $P = 20\text{--}300$ МПа. Спекание образцов производили в электропечи в

Таблица 3. 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

атмосфере эндогаза при температуре спекания 1010 ± 10 °С. Время выдержки образцов в шахтной печи составляло 1,5 ч.

Спекаемость дисперсных элементов МКО оценивали, проводя механические испытания на срез. Полученные значения предела прочности при срезе $\sigma_{ср}$ в зависимости от пористости Π составили 80–130 МПа (рис. 6), что соответствует литературным данным для медных волокон [12]. Это позволило обосновать режимы спекания для МКО.

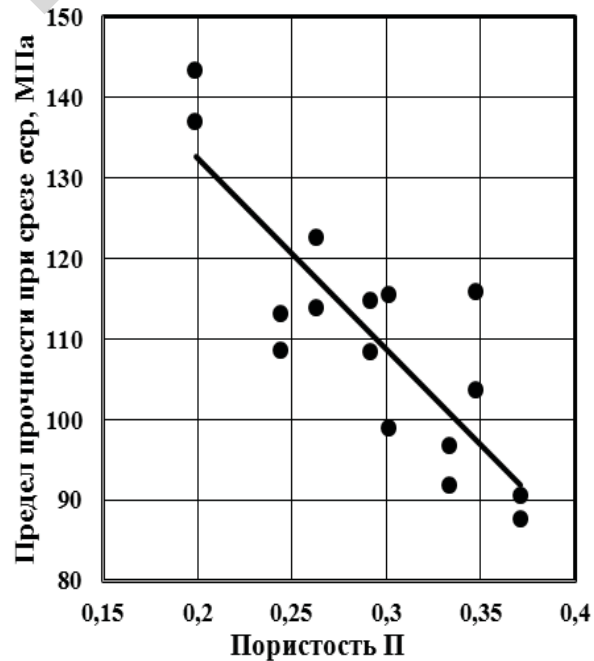


Рисунок 6. Зависимость предела прочности при срезе $\sigma_{ср}$ от пористости Π

Исследованы структурные (пористость Π по ГОСТ 18898-89, максимальные $d_{п\ max}$ и средний $d_{п\ ср}$ размеры пор по ГОСТ 26849-93) и гидродинамические (коэффициент проницаемости k по ГОСТ 25283-93) свойства экспериментальных образцов, а также определены параметры, характеризующие пористую структуру экспериментальных образцов: параметр равномерности порораспределения $A = d_{п\ ср} / d_{п\ max}$ и параметр эффективности $E_1 = \sqrt{k} / d_{п\ ср}$.

На рис. 7 представлена взаимосвязь структурных (пористости Π , максимальных $d_{п\ max}$ и средних $d_{п\ ср}$ размеров пор) и гидродинамических (коэффициента проницаемости k) свойств экспериментальных образцов МКО различных фракций, а на рис. 8 – зависимости параметров, характеризующих пористую структуру (параметра равномерности порораспределения A и параметра эффективности E_1) от пористости Π .

Заключение

Впервые исследованы свойства переработанных МКО. Установлено, что МКО, разделенные на фракции, характеризуются присутствием дисперсных элементов волоконного строения с близкими значениями диаметров волокон, различными длинами и волоконных элементов меньшего диаметра в виде крючков и свертышей, а также элементов неволоконного строения в виде расплюснутых волокон и гранул, последние из которых оказывают негативное влияние на значения прессуемости, параметра эффективности и равномерности порораспределения, что доказало возможность использования МКО фракций $(-0,2...+0,1)$,

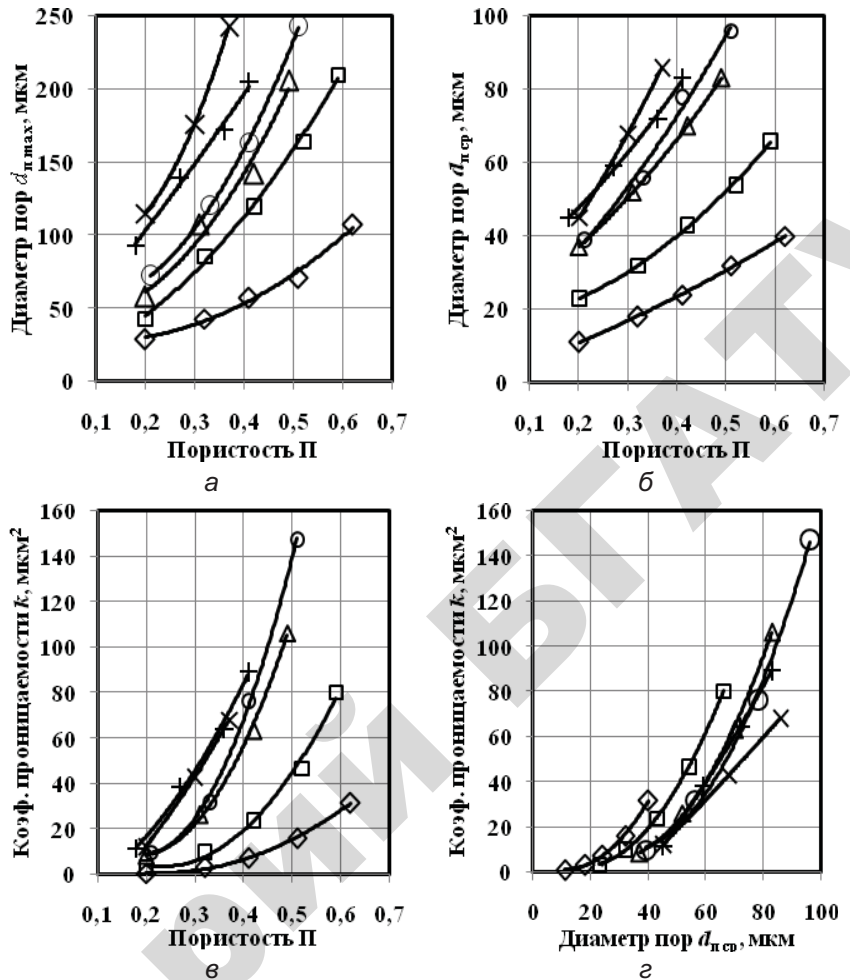


Рисунок 7. Зависимость максимальных $d_{п\ max}$ (а) и средних $d_{п\ ср}$ (б) диаметров пор, коэффициента проницаемости k (в) от пористости Π , коэффициента проницаемости k (г) от средних $d_{п\ ср}$ диаметров пор экспериментальных образцов из МКО фракций: \diamond — $(-0,2...+0,1)$; \square — $(-0,315...+0,2)$; Δ — $(-0,4...+0,315)$; \circ — $(-0,63...+0,4)$; $+$ — $(-0,8...+0,63)$; \times — $(-1,0...+0,8)$ мм

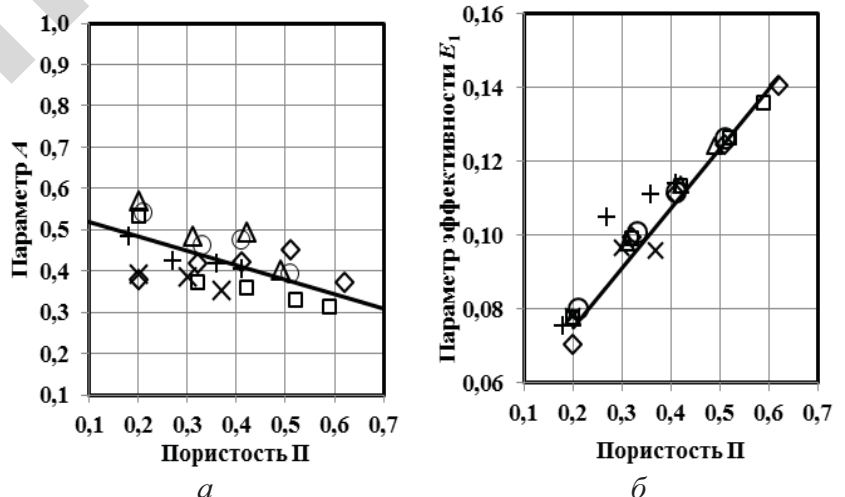


Рисунок 8. Зависимость параметра равномерности порораспределения A (а) и параметра эффективности E_1 (б) от пористости Π экспериментальных образцов из МКО фракций: \diamond — $(-0,2...+0,1)$; \square — $(-0,315...+0,2)$; Δ — $(-0,4...+0,315)$; \circ — $(-0,63...+0,4)$; $+$ — $(-0,8...+0,63)$; \times — $(-1,0...+0,8)$ мм

(-0,315...+0,2), (-0,4...+0,315) и (-0,63...+0,4) мм для производства ПВМ, которые могут быть использованы для изготовления фильтров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко, В.П. Очистка нефтепродуктов от загрязнений / В.П. Коваленко, В.Е. Турчанинов. – Москва: Недра, 1990. – 160 с.
2. Коваленко, В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – Москва: Химия, 1978. – 304 с.
3. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский // Горная промышленность. – М.: НПК «ГЕМОС ЛТД.», 2003. – 360 с.
4. Бутов, Н.П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел / Н.П. Бутов. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.
5. Косторнов, А.Г. Проницаемые металлические волокнистые материалы / А. Г. Косторнов. – Киев: Техника, 1983. – 123 с.

6. Пористые проницаемые материалы: справочник / С.В. Белов [и др.] – М.: Металлургия, 1987. – 333 с.

7. Колобов, Г.А. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов: учебник для вузов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. – М.: Металлургия, 1992. – 288 с.

8. Белый, Д.И. Современные технологии производства медной катанки для кабельной промышленности / Д. И. Белый // Наука и техника, 2011. – № 5. – С. 29-33.

9. Герасин, В.А. Как спасти полимерметаллические отходы / В.А. Герасин // The Chemical Journal, июль – август, 2008. – С. 10-13.

10. Дорофеев, Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых материалов / Ю.Г. Дорофеев. – М.: Наука, 1968. – 120 с.

11. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых материалов и сплавов / А.Г. Косторнов. – Киев: Наук. думка, 2002. – Т. 2. – 552 с.

12. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых материалов и сплавов / А.Г. Косторнов. – Киев: Наук. думка, 2002. – Т. 1. – 572 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 03.03.2017

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопахотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:

- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

Производство плугов освоено на ДП «Минойтовский ремонтный завод».

Изготовлено 37 плугов.

В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.

Основные технические данные

Тип.....	навесной
Тип корпуса.....	полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....	0,65...1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....	400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....	7...9
Масса плуга конструкционная, кг.....	не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....	1,20/1,35/1,50/1,65