

## ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ. СООБЩЕНИЕ 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УКЛАДКИ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ДЛИННОМЕРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАЗОРАХ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ИХ ВОЙЛОКОВАНИЯ

В. М. Капцевич, В. К. Корнеева

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
пр. Независимости, 99, 220023, г. Минск, Беларусь, e-mail: lerakor1974@mail.ru*

*Поступила 06.09.2017 г.*

*Для изготовления длинномерных и многослойных трубчатых фильтроэлементов из медных кабельных отходов предложен метод их воздушного войлокования, обеспечивающий наиболее плотную укладку медных кабельных отходов и заключающийся в послойной их засыпке в кольцевые зазоры оснастки СИП с утряской каждого слоя.*

**Введение.** Классическая схема процесса получения фильтрующих материалов (ФМ) методами порошковой металлургии состоит из следующих основных операций: подготовка дисперсного материала, формование заготовки, ее спекание и при необходимости дополнительная обработка.

М. Ю. Бальшин [1] рассматривал процессы формования и спекания порошковых и волокнистых материалов с единой позиции. Эти процессы он определял одним термином, как процессы «консолидации материалов с неорганизованной структурой», которые по М. Ю. Бальшину [1, с. 27–28] «можно свести в конечном счете к различным сочетаниям следующих трех основных способов:

1. Консолидация путем переплетения исходных волокнистых частиц между собой. Единственным способом... такой консолидации является получение войлока...

2. Различные варианты уплотнения с приложением к консолидируемому телу извне уплотняющих сил...

3. Различные варианты спекания...».

Из представленных способов консолидации следует, что основным отличием на этапе формования фильтрующих волоконных материалов (ФВМ), по сравнению с фильтрующими порошковыми материалами (ФПМ), является обязательное наличие дополнительной операции войлокования. Войлокование в порошковой метал-

лургии – способ изготовления металлического войлока [2]. Этот способ заимствован из технологий бумажного и текстильного производств и направлен на равномерную и более плотную укладку волокон и обеспечение при этом сцепления их друг с другом. Войлокование во многом подобно операциям засыпки с утряской порошка в форму при спекании со свободной засыпкой или в пресс-форму при прессовании, методу шликерного литья, используемого при изготовлении ФПМ. Многие последующие операции на этапе формования (прессование в стальной пресс-форме, прокатка, изостатическое прессование и др.) и спекание аналогичны при получении как ФВМ, так и ФПМ, но, в ряде случаев, имеют существенные отличия в технических решениях, последовательности и режимах их проведения.

Различают жидкостное и воздушное войлокование [2]. Кроме того, эти способы войлокования могут осуществляться с наложением электрических и (или) магнитных полей, вибрационных колебаний и др.

Жидкостное войлокование основано на суспензировании волокон в жидкой среде, их осаждении на проницаемую подложку и последующем удалении жидкости [3–4]. Схема жидкостного войлокования представлена на рис. 1 [2].

Недостатками жидкостного войлокования являются: сложность процесса приготовления

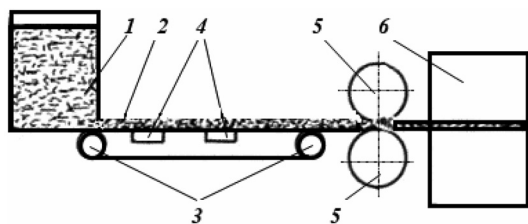


Рис. 1. Схема процесса жидкостного войлокования листового материала: 1 – питатель с суспензией из волокон; 2 – сетка с фильтровальной бумагой; 3 – ролики для перемещения сетки; 4 – камеры для отсоса жидкости; 5 – прижимные валики; 6 – печь для спекания войлока

устойчивой суспензии, требующей добавления поверхностно-активных веществ; необходимость операции удаления суспензии из войлока и его последующей сушки; оставшиеся органические соединения на поверхности волокон после сушки, затрудняющие последующую операцию спекания; сложность и дороговизна оборудования.

Воздушное войлокование в отличие от жидкостного осуществляется путем равномерной подачи волокон в воздушную среду, в которой, двигаясь под действием сил тяжести вниз, они осаждаются на подложку. Подача волокон проводится с помощью специальных приспособлений и устройств. Так, при изготовлении длинномерного листового материала при их подаче используют вибрирующие сита или вращающиеся перфорированные барабаны, через отверстия которых волокна попадают на подложку.

В качестве примера приведена схема воздушного войлокования с применением вращающегося трубчатого сетчатого дозатора, в полость которого непрерывно подаются волокна и из которого они попадают на подложку, совершая при этом возвратно-поступательные движения (рис. 2) [5].

При засыпке волокон в полости пресс-форм небольших размеров используют специальные дозаторы, из которых с помощью воздушного потока или вибрации волокна «вытекают» тонкой струйкой и заполняют эти полости.

При изготовлении проницаемого ФВМ не плоской, а трубчатой формы воздушное войлокование осуществляют путем равномерной укладки волокон в кольцевые зазоры формы при изостатическом прессовании или спекании со свободной засыпкой (рис. 3). Для реализации этой технологии авторы предлагают (рис. 3, а) осуществлять непрерывную подачу волокон тонкой струйкой в кольцевой зазор вращающейся

формы с помощью вибрирующего дозатора [5] или осуществлять (рис. 3, б) равномерную подачу волокон в вибрирующую форму [6].

Одним из преимуществ воздушного войлокования, помимо простоты его осуществления, является возможность в процессе его проведения и после его окончания осуществлять целенаправленную ориентацию волокон на подложке, воздействуя на них электростатическим или магнитным полем, накладыванием вибрационных колебаний и других силовых воздействий [7–9].

Известно [10], что для изготовления длинномерных, в том числе многослойных и сложной формы фильтроэлементов, целесообразно использовать метод СИП, основанный на засыпке дисперсного материала в узкие кольцевые зазоры, образованные эластичной оболочкой и металлическим формообразующим стержнем, с после-

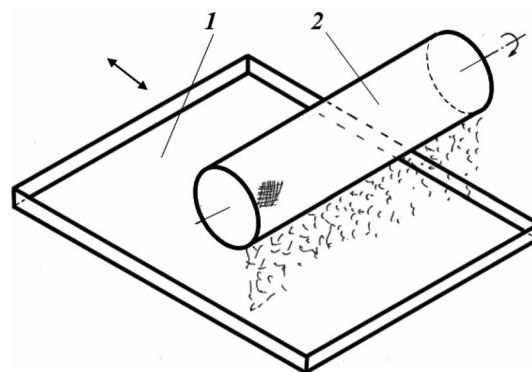


Рис. 2. Схема процесса воздушного войлокования листового материала: 1 – подложка; 2 – вращающийся трубчатый сетчатый дозатор

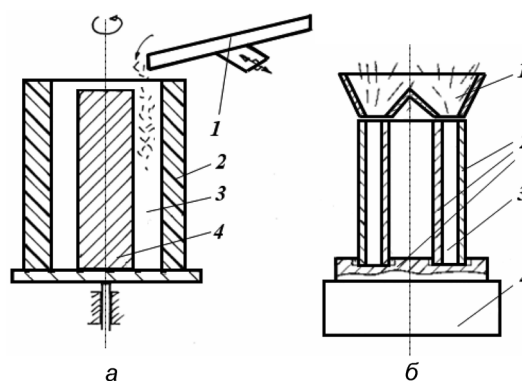


Рис. 3. Схемы процессов воздушного войлокования для получения трубчатых ФВМ: а – методом изостатического прессования (1 – вибрирующий дозатор; 2 – эластичная оболочка; 3 – кольцевой зазор; 4 – металлический формообразующий стержень); б – спеканием со свободной засыпкой (1 – загрузочная воронка; 2 – форма для спекания; 3 – кольцевой зазор; 4 – вибрирующее устройство)

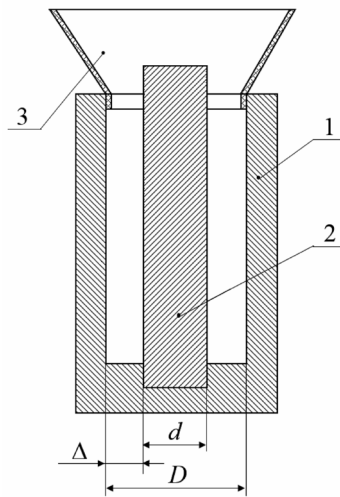


Рис. 4. Схема оснастки для проведения исследований

дующими радиальным прессованием и спеканием. Анализ опубликованных источников показал, что сведения о засыпке волокон и их укладке (воздушное войлокование) в узкие зазоры,

а также о получении ФВМ методом СИП, в литературе отсутствуют.

**Цель** настоящей работы – исследование закономерностей укладки медных кабельных отходов в длинномерных кольцевых зазорах и разработка процесса их войлокования.

**Исходные материалы, оборудование и методики исследований.** Объектом исследования являлись МКО ГО «Белвормет», которые предварительно подвергались ситовому рассеву на фракции. Для проведения исследований использовались МКО следующих фракционных составов:  $(-0,2...+0,1)$ ,  $(-0,315...+0,2)$ ,  $(-0,4...+0,315)$ ,  $(-0,63...+0,4)$  мм.

Плотность насыпки волокон каждой фракции определяли по ГОСТ 19404-94, а плотность утрайки – по ГОСТ 25279-92. Плотность укладки волокон в кольцевой зазор определяли как отношение массы засыпки волокон (электронные весы марки ВК-300) в кольцевом зазоре к его объему. При этом нами рассмотрены три варианта засыпки

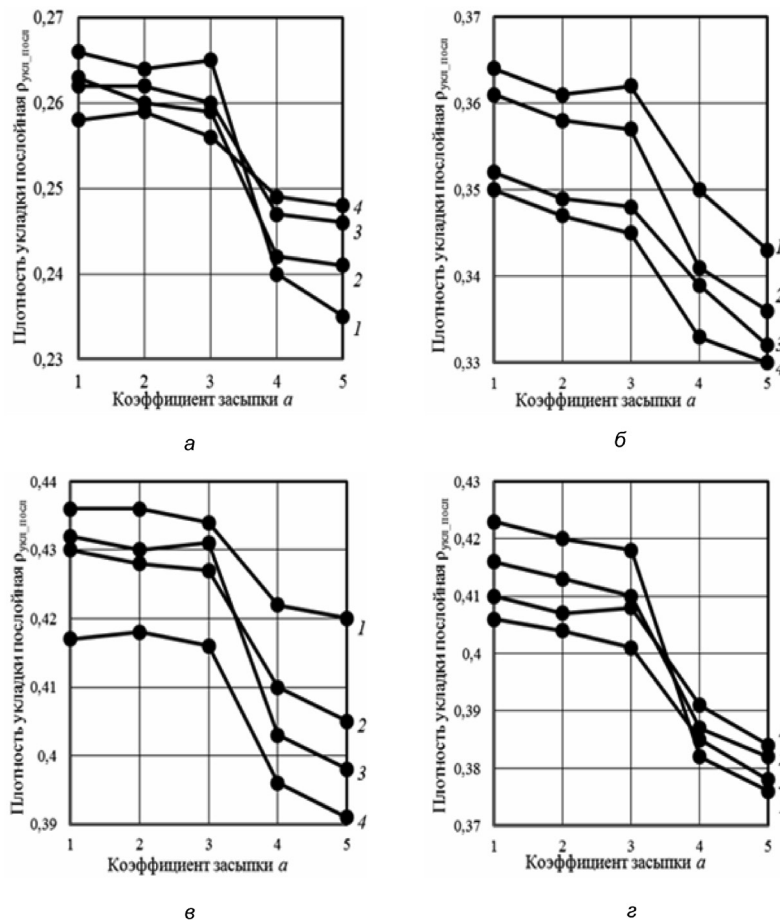


Рис. 5. Зависимость плотности укладки послойной  $\rho_{\text{укл. посл.}}$  от значений коэффициента засыпки  $a$  для различных фракций МКО и толщины зазора  $\Delta$ : а –  $(-0,2...+0,1)$ ; б –  $(-0,315...+0,2)$ ; в –  $(-0,4...+0,315)$ ; г –  $(-0,63...+0,4)$  мм; 1 –  $\Delta = 2,5$ ; 2 –  $\Delta = 5$ ; 3 –  $\Delta = 7,5$ ; 4 –  $\Delta = 10$  мм

волокон в кольцевой зазор: 1) свободная засыпка; 2) засыпка с утряской; 3) послойная засыпка с утряской каждого слоя. Оснастка, моделирующая кольцевые зазоры, состояла из стальных цилиндрических стаканов 1, имитирующих эластичную оболочку в оснастке для СИП, с внутренними диаметрами  $D$ , равным 35, 40, 45 и 50 мм, и высотой 95 мм, стального внутреннего стержня 2, имитирующего внутренний формообразующий стержень в оснастке для СИП, диаметром  $d = 30$  мм и пластмассовой воронки 3 для засыпки волокон. Таким образом, толщина кольцевых зазоров  $\Delta$  составляла 2,5, 5, 7,5 и 10 мм (рис. 4).

Для изготовления экспериментальных образцов трубчатых ФВМ использовали установку СИП вертикального исполнения УПП 01 [10]. Габаритные размеры применяемого монолитного стержня – диаметр 32 мм, внутренний диаметр эластичной матрицы – 50 мм, длина – 220 мм. Давление прессования составляло 100 МПа.

Спекание экспериментальных образцов производили в электропечи в атмосфере эндогаза при температуре спекания  $1010 \pm 10$  °С. Время выдержки образцов в шахтной печи составляло 1,5 ч.

**Результаты исследований.** Значения насыпной плотности и плотности утряски каждой из рассмотренных фракций в таблице.

Значения насыпной плотности и плотности утряски

Фракция, мм	Насыпная плотность	Плотность утряски
(-0,2+0,1)	0,228	0,268
(-0,315+0,2)	0,318	0,364
(-0,4+0,315)	0,371	0,411
(-0,63+0,4)	0,391	0,435

Следует отметить, что при определении насыпной плотности, согласно ГОСТ 19404-94, возникали трудности при ее нахождении: волокнистые отходы фракций  $(-0,2...+0,1)$ ,  $(-0,315...+0,2)$ ,

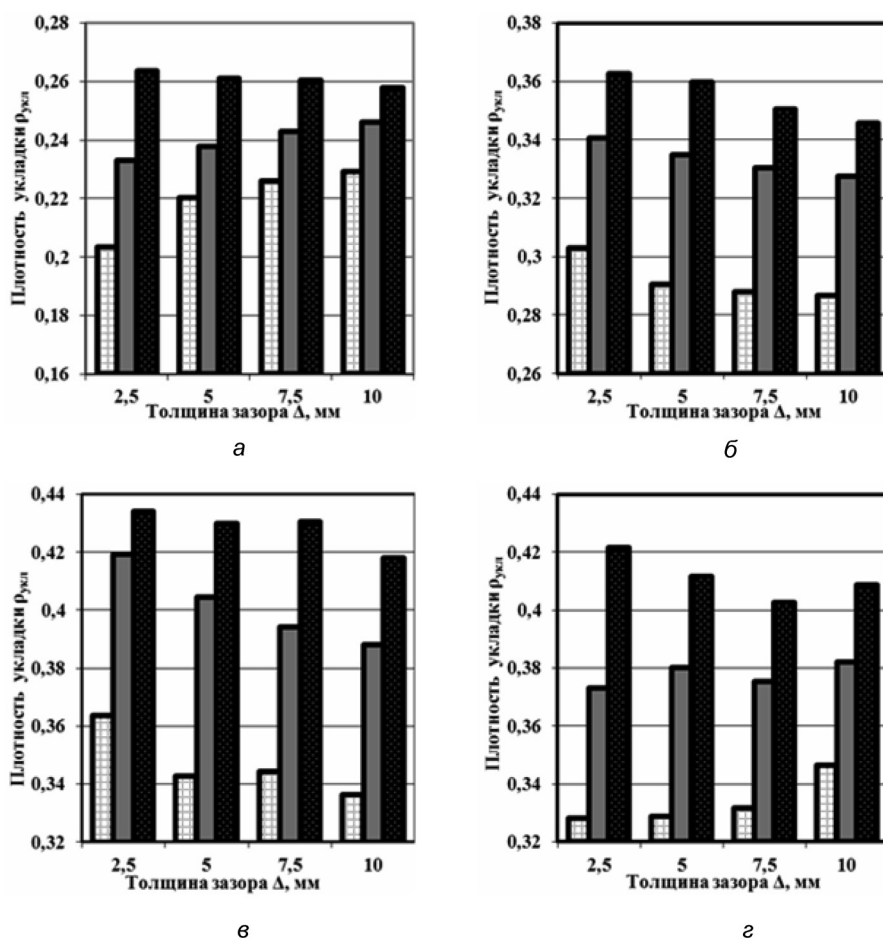


Рис. 6. Зависимость плотности укладки МКО  $\rho_{\text{укл}}$  от способа засыпки МКО для различных фракций:  $\square$  – свободная засыпка;  $\blacksquare$  – засыпка с утряской;  $\blacksquare$  – послойная засыпка с утряской каждого слоя; а –  $(-0,2...+0,1)$ ; б –  $(-0,315...+0,2)$ ; в –  $(-0,4...+0,315)$ ; г –  $(-0,63...+0,4)$  мм

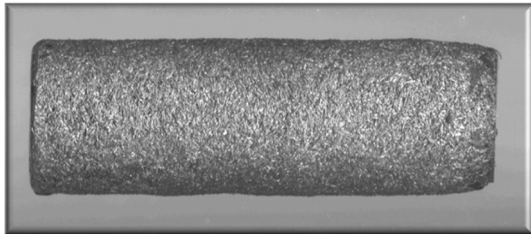


Рис. 7. Изображение поверхности экспериментального образца из МКО фракции  $(-0,4...+0,315)$  мм

$(-0,4...+0,315)$  мм застредали в волюметре, и для их движения приходилось отклонять его от вертикального положения.

При послойной засыпке с утряской каждого слоя варьировалась высота засыпаемого слоя. Нами были определены оптимальные значения высоты засыпаемого слоя  $h_{сл}$  ( $h_{сл} = a\Delta$ , где  $a$  – коэффициент засыпки,  $\Delta$  – толщина зазора), соответствующие максимальным значениям плотности укладки  $\rho_{укл\_посл}$  МКО в зазоре (рис. 5): установлено, что наиболее плотная укладка достигается при  $a = 1-3$ , т. е. высота засыпаемого слоя  $h_{сл} = (1-3)\Delta$ .

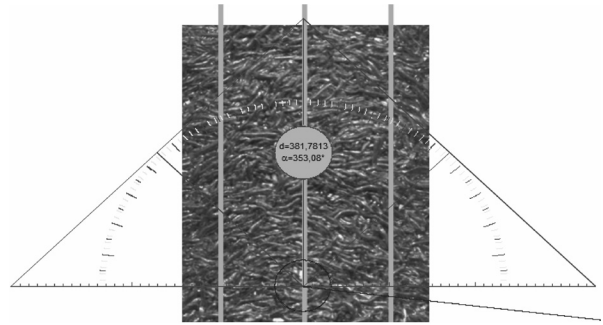
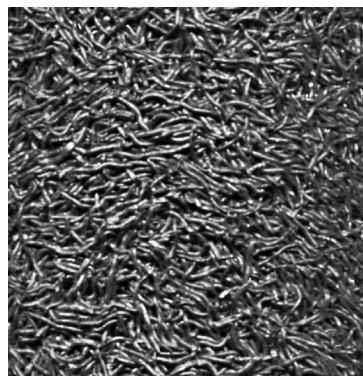


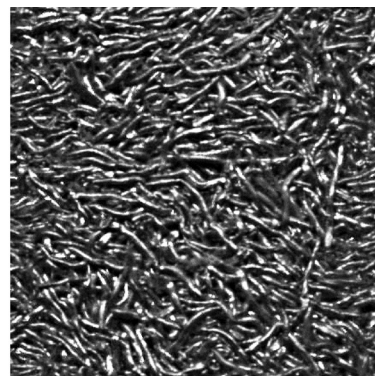
Рис. 8. Измерение углов укладки волокон относительно горизонтальной плоскости с помощью программного обеспечения MB-Ruler

Для трех вариантов засыпки МКО в узкие зазоры получены зависимости плотности укладки от способа засыпки и толщины зазора (рис. 6). Доказано, что послойная засыпка с утряской позволяет повысить плотность укладки в узкие кольцевые зазоры на 7–13 %.

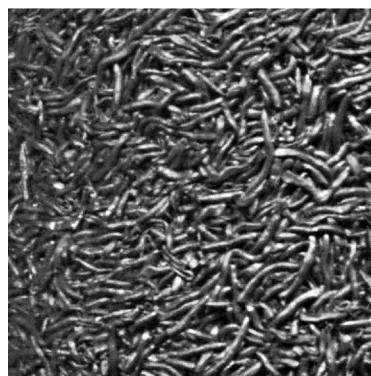
По предложенному варианту послойной засыпки волокон (воздушное войлокование) были изготовлены экспериментальные образцы ФВМ из МКО методом СИП. Для исследования зако-



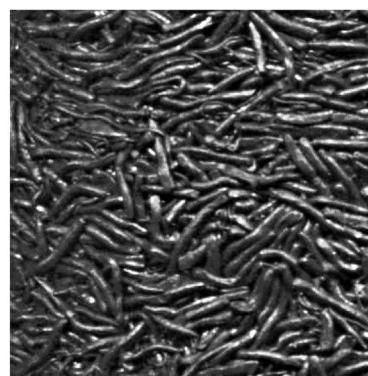
а



б



в



г

Рис. 9. Микрофотографии образцов для определения угла укладки из МКО-фракций: а –  $(-0,2...+0,1)$ ; б –  $(-0,315...+0,2)$ ; в –  $(-0,4...+0,315)$ ; г –  $(-0,63...+0,4)$

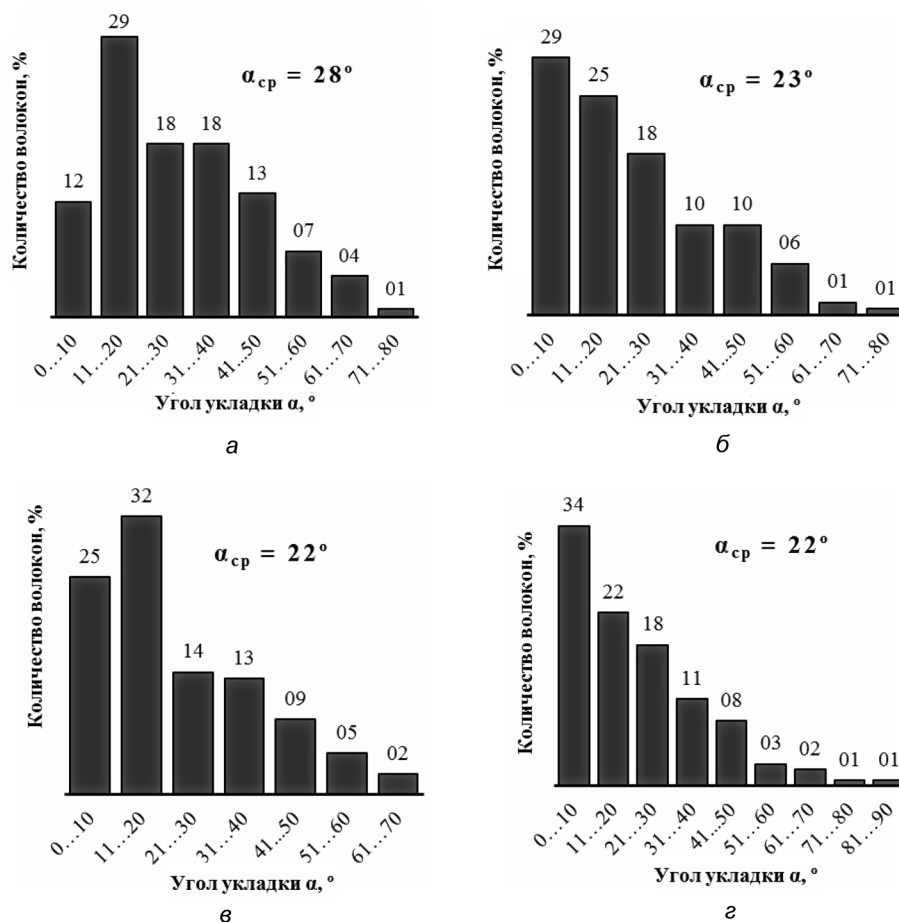


Рис. 10. Ориентация МКО различных фракций в узких зазорах: а –  $(-0,2...+0,1)$ ; б –  $(-0,315...+0,2)$ ; в –  $(-0,4...+0,315)$ ; г –  $(-0,63...+0,4)$  мм

номерностей укладки медных кабельных отходов в длинномерных кольцевых зазорах на сканере HP Scanjet 3770 фиксировалось изображение поверхностей экспериментальных образцов (рис. 7).

Полученные изображения обрабатывались, используя программное обеспечение для измерения расстояний и углов на рабочем столе компьютера MB-Ruler (рис. 8).

Микрофотографии обрабатываемых образцов представлены на рис. 9.

Нами были измерены углы укладки волокон рассматриваемых фракций относительно горизонтальной плоскости (рис. 10). Установлено,

что средний угол укладки для рассматриваемых фракций и величин зазоров оснастки составил  $22\text{--}28^\circ$ . Таким образом, можно утверждать, что при использовании предложенного способа войлокования, достигается более плотная укладка за счет преимущественной ориентации волокон в горизонтальной плоскости.

**Заключение.** Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что метод послойной засыпки с утряской каждого слоя обеспечивает наиболее плотную укладку волокон в кольцевые зазоры. Данный метод следует рекомендовать при изготовлении длинномерных и многослойных трубчатых фильтроэлементов методом СИП.

## Литература

1. Бальшин, М. Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна / М. Ю. Бальшин. – М.: Металлургия, 1972. – 336 с.
2. Косторнов, А. Г. Проницаемые металлические волокновые материалы / А. Г. Косторнов. – Киев: Техніка, 1983. – 128 с.
3. Microporous fibrous sheets useful for filters and apparatus and method of forming the same: Pat. 3573158 US / D. B. Pall [et al]. – Оубл. 30.03.1971.

4. **Method** of manufacturing of a sintered metal fiber medium: Pat. 20070202001 A1 US / C. Stournaras [et al]. – Оpubл. 30.08.2007.
5. **Sintermetallurgisches** verfahren zur herstellung eines filterkörpers aus schmelzextrahierten metallfasern: Pat. 19924675 A1 BRD. / P. Neumann, W. Haede. – Оpubл. 30.11.2000.
6. **Cylindrical** filter and method for producing the same: Пат. 4451377 JP. / W. Takeshi. – Оpubл. 05.02.2010.
7. **Process** for preparing porous metal plate: Pat. 4729871 US. / Toru Morimoto. – Оpubл. 08.03.1988.
8. **Particulate** filter having expansible capture structure for particulate removal: Pat. 7721536 US / J. C. Bradley, R. J. Klinger, J. T. Penaloza. – Оpubл. 25.05.2010.
9. **Porous** metal material, and method for manufacturing same: Pat. 6197251 US / A. Hashimoto [et al]. – Оpubл. 06.03.2001.
10. **Реут, О. П.** Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов / О. П. Реут, Л. М. Богинский, Е. Е. Петюшик. – Минск: Дэбор, 1998. – 258 с.

**PERMEABLE MATERIALS MADE OF COPPER CABLE WASTES MESSAGE 7.  
INVESTIGATION PATTERNS OF COPPER CABLE WASTE LAYING IN LONG-LENGTH ANNULAR SPACES  
AND DEVELOPMENT OF THEIR FELTING PROCESS**

**V. M. Kaptsevich, V. K. Korneeva**

*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: lerakor1974@mail.ru*

*For the manufacture of long-length and multilayer tube filter elements made of copper cable wastes, a technique for their airfelting has been proposed, which ensures the most compact laying of copper cable wastes and is resulted in a layer by layer filling in the annular spaces of the CIW tool set with the tapping of each layer.*