

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ

В. К. Корнеева¹, В. М. Капцевич¹, Л. Н. Дьячкова²

¹Белорусский государственный аграрный технический университет,
пр. Независимости, 99, 220023, г. Минск, Беларусь, e-mail: lerakor1974@mail.ru

²Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа,
ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь

Поступила 07.09.2018 г.

Представлены результаты исследований морфологии поверхности медных кабельных отходов, используемых для изготовления фильтрующих волоконных материалов. Установлено, что медные кабельные отходы представляют собой фрагменты проволоки на медной основе различного диаметра и степени изогнутости, на поверхности которых обнаружены дефекты в виде задигов, трещин, пор, наливов. Показано, что данная морфология медных кабельных отходов способствует улучшению процесса войлокования, формуемости и спекаемости фильтрующих волоконных материалов, а наличие дефектов на их поверхности приводит к увеличению удельной поверхности, что также активизирует процесс спекания.

Введение. Медные кабельные отходы (МКО) являются перспективным материалом для производства фильтрующих волоконных материалов (ФВМ) методами порошковой металлургии [1, 2]. В ранее опубликованных работах [2, 3] представлена разработанная авторами классификация дисперсных элементов МКО, в которой выделены основные группы:

– волоконного строения (волокна диаметром от 100 до 800 мкм и длиной от 2 до 25 мм в виде изогнутых (крючки) и закрученных волокон (свертыши));

– неволоконного строения (расплющенные волокна, лепестки и гранулы).

Показано, что по гранулометрическому составу и морфологии МКО можно выделить группу фракций: $(-0,2...+0,1)$, $(-0,315...+0,2)$, $(-0,4...+0,315)$ и $(-0,63...+0,4)$ мм, – состоящую из дисперсных элементов только волоконного строения и доказана целесообразность использования этой группы фракций для изготовления ФВМ.

В процессе эксплуатации медных кабелей, из которых получают МКО, могут протекать процессы короткого замыкания, перегрузки, возникать вихревые токи, искрение и другие явления, что приводит к появлению на их поверхно-

сти характерных следов – утолщений, утончений (шеек), пор различного размера, кратеров, хребтов и т. д. [4–7]. Таким образом, в процессе эксплуатации медных кабелей происходит изменение состояния поверхности дисперсных элементов МКО, что существенно влияет на прессуемость и спекаемость ФВМ.

Процесс получения МКО в отличие от традиционного волоконного сырья, получаемого мерной резкой проволоки, состоит из подготовки кабеля к переработке, при которой их предварительно нарезают на куски длиной 0,5–1,5 м с помощью гидравлических или аллигаторных ножниц, разделки кабеля путем разрезания и снятия изоляции, предварительного измельчения с помощью шредера, который не рубит материал, как это происходит, например, в мельнице, а «грызет» его, разрезая на мелкие фрагменты размером 30–40 мм, и отделяет гранулы требуемого размера для дальнейшего измельчения и сепарации (воздушной или водной) в специальных установках, в которых измельченный в шредере кабель перемалывается между ножами быстро вращающегося ротора и ножами неподвижного статора в режущей мельнице и происходит отделение металлических частиц

от пластика [1]. Такая механическая переработка также может привести к образованию дефектов, вызывающих изменение состояния поверхности дисперсных элементов МКО, влияющее на их технологические свойства и, соответственно, свойства ФВМ.

Цель работы – изучить морфологию поверхности МКО после их механической переработки.

Материалы и методы исследований. При проведении исследований в качестве исходных материалов использовали МКО «медная сечка», выпускаемую «Белвтормет», следующего фракционного состава: $(-0,2...+0,1)$; $(-0,315...+0,2)$; $(-0,4...+0,315)$; $(-0,63...+0,4)$ мм.

Исследование морфологии поверхности МКО проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) в режиме вторичных электронов (SE) и обратно рассеянных электронов (BSE).

Микрорентгеноспектральный анализ выполняли на анализаторе «INCA 350» фирмы «Oxford Instruments» (Англия).

Результаты и их обсуждение. Исследования показали, что все МКО, независимо от размера фракции, имеют изогнутую форму (рис. 1), но степень изогнутости с уменьшением диаметра увеличивается. Деформация МКО происходит в результате их механической переработки вышеописанным методом. Как было сказано выше, такая форма МКО способствует улучшению процесса войлокования (более прочного сцепления МКО друг с другом) и равномерной укладке [8, 9], что в конечном итоге приводит к улучшению прессуемости и спекаемости.

При большем увеличении было установлено (рис. 2), что в МКО фракции $(-0,4...+0,315)$ мм наблюдается отклонение от цилиндричности дисперсных элементов за счет различных дефектов

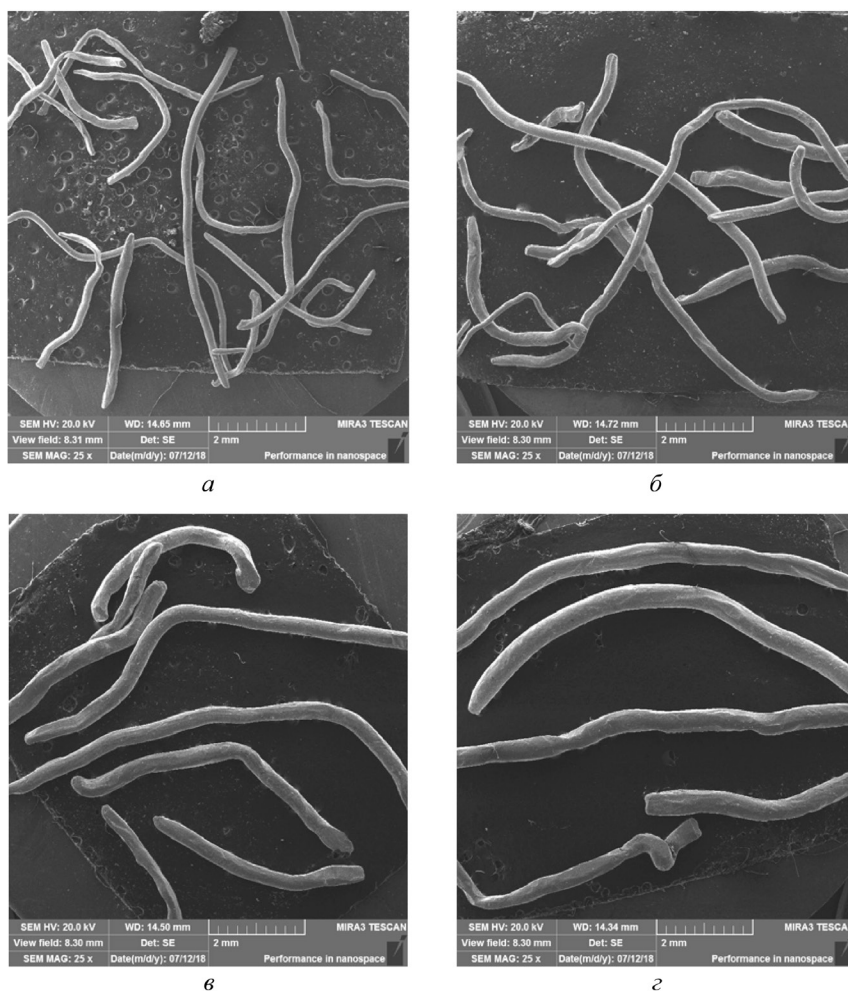


Рис. 1. Форма медных кабельных отходов различной фракции, мм: а – $(-0,2...+0,1)$; б – $(-0,315...+0,2)$; в – $(-0,4...+0,315)$; г – $(-0,63...+0,4)$. $\times 25$

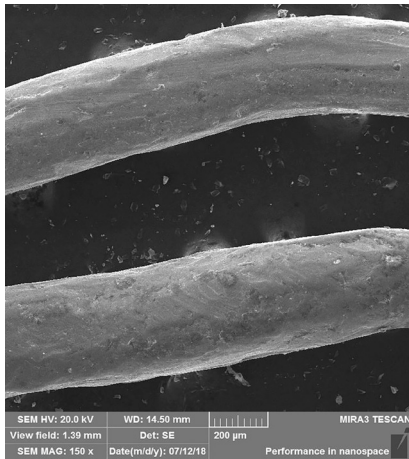


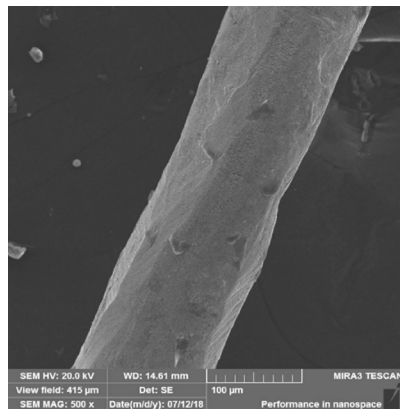
Рис. 2. Морфология поверхности МКО фракции $(-0,4...+0,315)$ мм. $\times 150$

их поверхности. Это обусловлено, во-первых, пластической деформацией и изнашиванием МКО в процессе их механической переработки, а, во-вторых, высокотемпературными процессами, протекающими при эксплуатации медных кабелей.

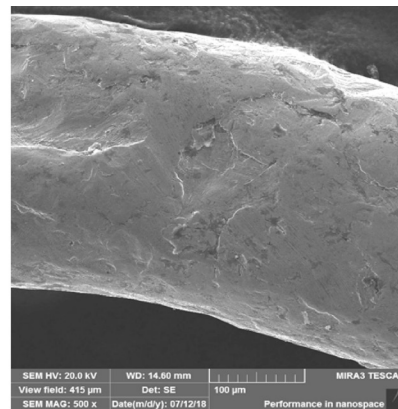
С увеличением размера МКО на их поверхности возрастает количество вмятин, царапин, задиров и трещин (рис. 3). Это может быть результатом пластической деформации, усталостного гидро-, газообразного или адгезионного изнашивания при механической переработке на шредере, стриппере, в режущей мельнице и при воздушной или водной сепарации. Так, МКО фракций $(-0,4...+0,315)$ и $(-0,63...+0,4)$ мм, по-видимому, больше подвергаются пластической деформации с образованием вмятин и усталостному изнашиванию с образованием трещин (рис. 4, а, б), а МКО фракции $(-0,315...+0,2)$ – с образованием задиров (рис. 4, в) и царапин (рис. 4, г).

На мелкодисперсных МКО фракции $(-0,2...+0,1)$ мм видны дефектные участки в виде множества трещин (рис. 5), которые возникли, по-видимому, в процессе нескольких циклов деформации протяжкой.

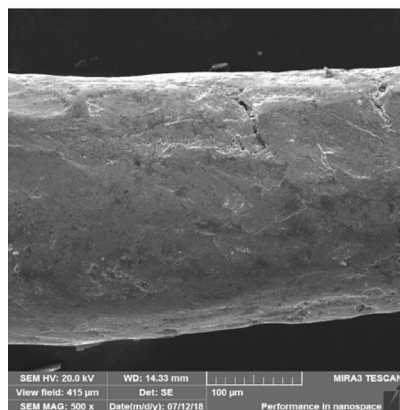
На МКО фракции $(-0,63...+0,4)$ мм при увеличении более чем в 5000 раз обнаружены участки «шагреновой кожи» (рис. 6), которые



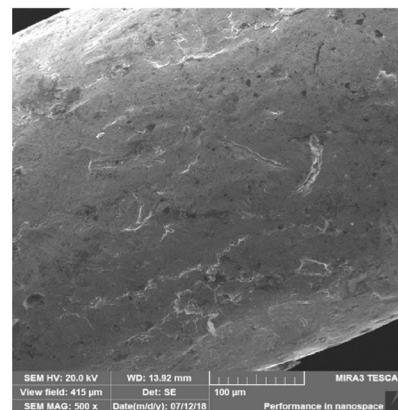
а



б



в



г

Рис. 3. Морфология поверхности МКО фракций, мм: а – $(-0,2...+0,1)$; б – $(-0,315...+0,2)$; в – $(-0,4...+0,315)$; г – $(-0,63...+0,4)$. $\times 500$

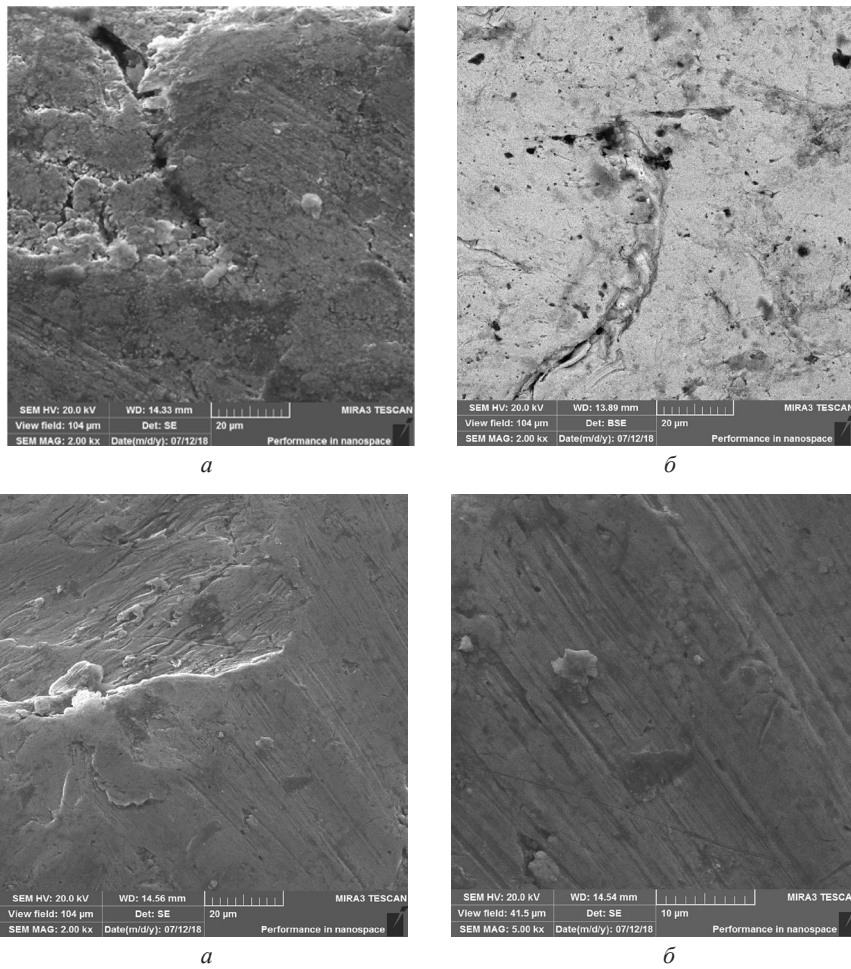


Рис. 4. Морфология поверхности МКО фракций, мм: *a* – (–0,4...+0,315); *б* – (–0,63...+0,4); *в, г* – (–0,315...+0,2); *a, б, в* – $\times 2000$; *г* – $\times 5000$

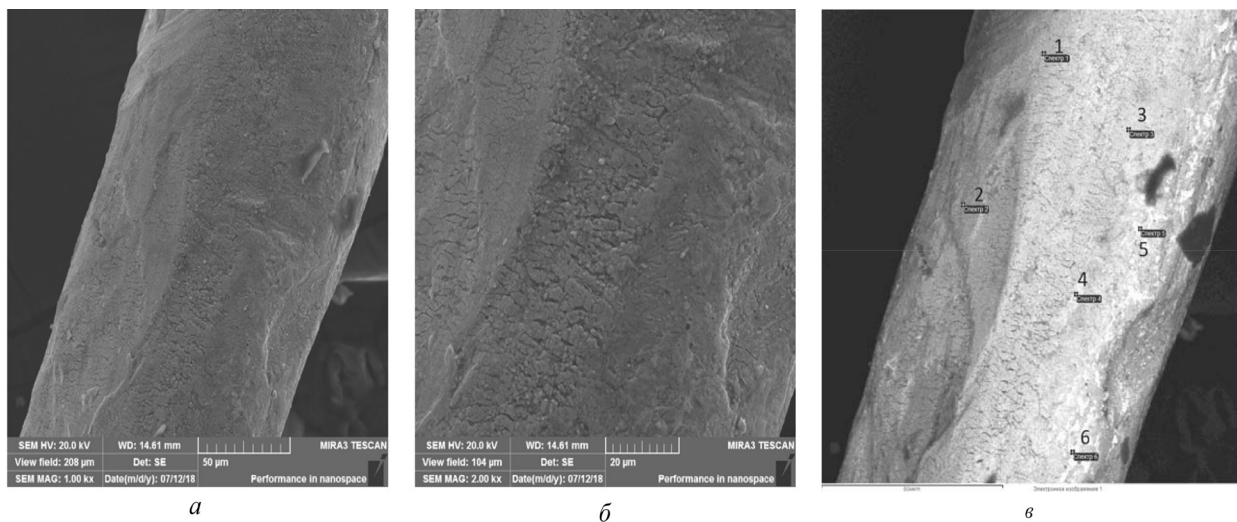


Рис. 5. Морфология поверхности МКО фракции (–0,2...+0,1) мм: *a, б* – в отраженных электронах; *в* – в обратно рассеянных электронах, МРСА; *a, б* – $\times 1000$; *в* – $\times 1000$

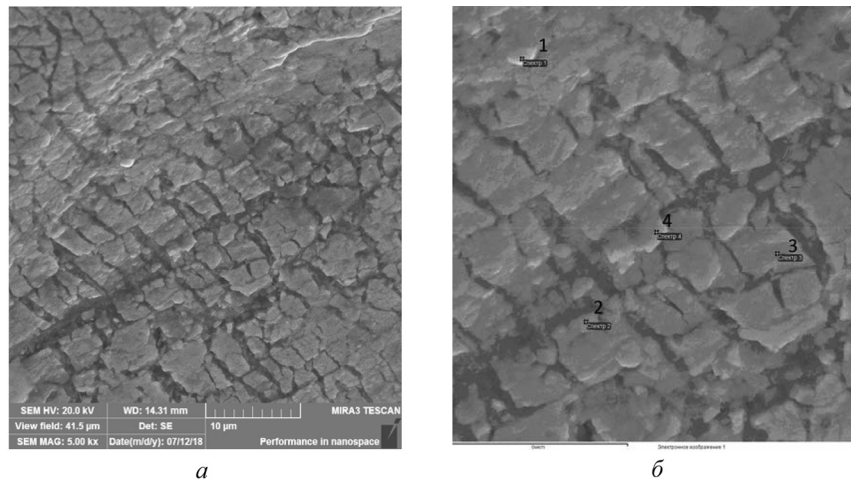


Рис. 6. Морфология поверхности МКО фракции $(-0,63...+0,4)$ мм: *a* – в отраженных электронах; *б* – в обратно рассеянных электронах, МРСА; *a* – $\times 5000$; *б* – $\times 10\,000$

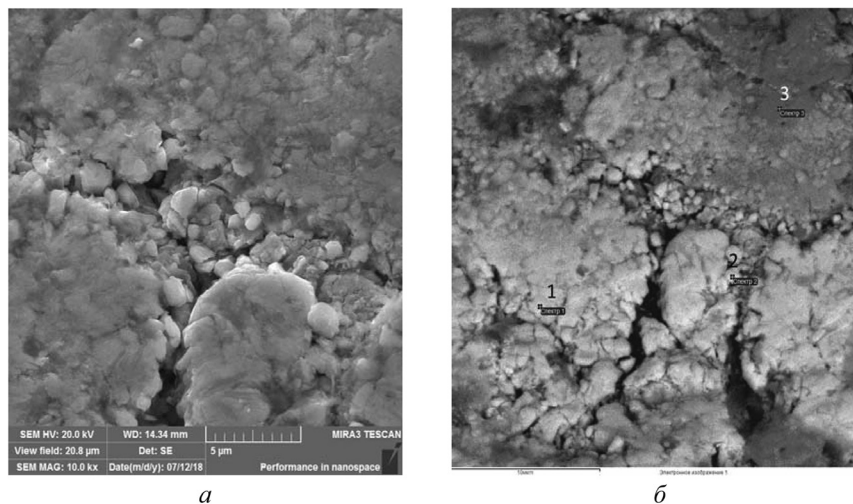


Рис. 7. Морфология поверхности МКО фракции $(-0,4...+0,315)$ мм: *a* – в отраженных электронах; *б* – в обратно рассеянных электронах, МРСА; *a* – $\times 10\,000$; *б* – $\times 5000$

возникают, по мнению авторов работы [8], в результате воздействия в течение длительного времени периодических циклов нагревания и охлаждения, а также при значительных перегрузках в сетях, а на фракции МКО $(-0,4...+0,315)$ мм выявлены рыхлоты (рис. 7). Такая структура, по данным работы [5], образуется при больших переходных сопротивлениях, когда многочисленные микрозаряды оставляют на поверхности жил медного кабеля следы электроэрозии в виде кратеров, микроплавлений, хребтов, а также пленок оксида меди, образованных при нагреве выше $300\text{ }^\circ\text{C}$, которая легко отделяется при механической переработке и поверхность приобретает представленный микрорельеф.

Все вышеописанные дефекты на поверхности МКО приводят к увеличению удельной поверхности, что в конечном итоге улучшает прессуемость и спекаемость ФВМ.

Заключение. Изучена морфология поверхности МКО фракций $(-0,2...+0,1)$, $(-0,315...+0,2)$, $(-0,4...+0,315)$ и $(-0,63...+0,4)$ мм при увеличениях 25, 150, 500, 1000, 2000, 5000, 10 000 и 25 000.

Показано, что изогнутость МКО является положительным явлением, так как способствует улучшению процесса войлокования, что в конечном итоге приводит к улучшению прессуемости и спекаемости.

В то же время выявленные дефекты на поверхности МКО в виде вмятин, царапин, зади-

ров, трещин, «шагреновой кожи», кратеров, микрооплавлений, хребтов, полученные в результате пластической деформации и различных видов изнашивания при механической переработ-

ке или в процессе эксплуатации медного кабеля, способствуют увеличению удельной поверхности, что улучшает прессуемость и спекаемость ФВМ из МКО.

Литература

1. **Проницаемые** материалы из металлических волокон: свойства, технологии изготовления, перспективы применения / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2013. – 380 с.

2. **Ильющенко, А. Ф.** Проницаемые материалы из медных кабельных отходов. Сообщение 1. Свойства медных волоконных отходов / А. Ф. Ильющенко, В. М. Капцевич, В. К. Корнеева // Порошковая металлургия : респ. межвед. сб. науч. тр. / редкол.: А. Ф. Ильющенко [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 36. – С. 243–249.

3. **Корнеева, В. К.** Особенности морфологии медьсодержащего сырья медных кабельных отходов / В. К. Корнеева // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию Белорус. гос. аграрн. техн. ун-та и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), д-ра техн. наук, проф. В. П. Суслова, Минск, 4–6 июня 2014 г. : в 2 ч. – Минск : БГАТУ, 2014. – Ч. 1. – С. 386–392.

4. **Исследование** медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия : методические рекомендации / Л. С. Митричев [и др.]. – М. : ВНИИ МВД СССР, 1986. – 44 с.

5. **Лебедев, К. Б.** Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений : методические рекомендации / К. Б. Лебедев, А. Ю. Мокряк, И. Д. Чешко. – М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. – 29 с.

6. **Мокряк, А. Ю.** Морфологический анализ медных проводников, подвергшихся воздействию токовой перегрузки, при экспертизе пожаров / А. Ю. Мокряк, И. Д. Чешко, В. В. Пеньков // Проблемы управления рисками в техносфере : науч.-аналит. журн. – 2014. – № 4 (32). – С. 41–49.

7. **Мокряк, А. Ю.** Металлографический анализ медных проводников, подвергшихся воздействию токовой перегрузки, при экспертизе пожаров / А. Ю. Мокряк, И. Д. Чешко // Вес. Санкт-Петербургского ун-та Гос. противопожар. службы МЧС России. – 2014. – № 4. – С. 51–58.

8. **Повреждения** кабельных линий: причины, классификация, методы поиска повреждений [Электронный ресурс] // ПУЭ8. – 2018. – Режим доступа: <http://pue8.ru/kabelnye-linii/320-povrezhdeniya-kabelnykh-linij.html>. – Дата доступа: 13.08.2018.

SPECIAL FEATURES OF SURFACE MORPHOLOGY OF COPPER CABLE SCRAPS OBTAINED BY MECHANICAL RECYCLING

V. Korneeva¹, V. Kaptssevich¹, L. Dyachkova²

¹Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”,
Minsk, Belarus, e-mail: erakor1974@mail.ru

²O. V. Roman Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The results of studies of the surface morphology of copper cable scraps used for the manufacture of filtering fiber materials are presented. It is found that copper cable scraps are the fragments of copper-based wire of various diameters and curvature degree. The defects in the form of burrs, cracks, pores, and sticky spots are found on their surface. It is shown that this morphology of copper cable scraps contributes to the improvement of the felting, molding and sintering processes of filtering fiber materials, and the presence of defects on their surface leads to an increase in the specific surface. This also activates the sintering process.