

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОДИФфуЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ МЕДНЫХ ОТХОДОВ НА КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ НИХ ВОЛОКНИСТЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

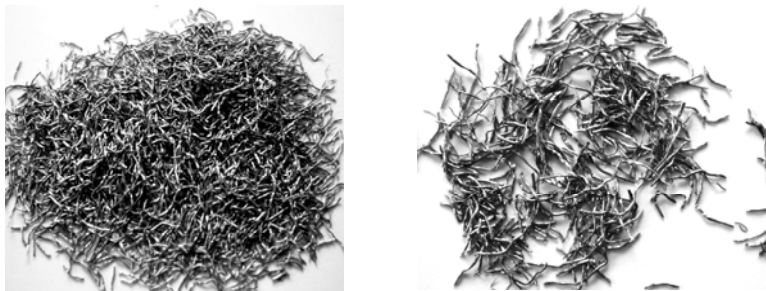
**Введение.** Пористые материалы находят широкое применение на промышленных предприятиях Республики Беларусь. Пористые порошковые материалы (ППМ) и пористые волокнистые материалы (ПВМ) используются для очистки жидкостей и газов. ПВМ обладают рядом преимуществ: обладают большей пористостью, проницаемостью, прочностью, упругостью и пластичностью, более эффективной задерживающей способностью и др. [1–4]. Известны работы с практическим применением ПВМ, однако широкое внедрение и использование ПВМ в промышленности не нашло, так как данные волокна являются дефицитными и дорогими. В то же время в Республике Беларусь имеются отходы медного кабеля, из которого УП «Белцветмет» наладил выпуск медной сечки – медных разнотолщинных волокон небольшой длины, которые представляют интерес в качестве исходного сырья для производства ПВМ [5, 6]. Работ, связанных с применением медных волокон в качестве основы для получения ПВМ, крайне мало. Известны работы по изучению свойств медных и стальных волокон, но авторы ограничились только изучением исходных материалов [5, 6]. Авторы работы [5] изготовили экспериментальные образцы ПВМ из медных волокон и исследовали их структурные и гидродинамические свойства. Однако исследований по изменению технологических свойств медных волокон перед прессованием и спеканием не проводилось. Таким образом, целью данной работы являлось предварительное диффузионное легирование (ДЛ) медных волокон цинком и исследование технологических свойств ДЛ волокон при изготовлении пористых фильтрующих материалов (ФМ).

**Материалы и методика исследований.** Для исследования использовали медную сечку, фракцией 315 и 400 мкм, полученную путем дробления кабеля. ДЛ (цинкование) осуществляли во вра-

щающей электрической печи для химико-термической обработки сыпучего материала [7]. Насыщающая среда – порошок цинка ГОСТ 12601-76. Медные волокна смешивались с порошком цинка в различных пропорциях по массе: 50–50 %, 60–40 %, 70–30 %, 80–20 %, 90–10 %, 95–5 %. Температура обработки 420 °С, время – 30 мин. Сепарацию волокон от порошка цинка проводили ситовым методом. Изготовление микрошлифов, микроанализ и измерение микротвердости в волокнах проводили по стандартным методикам. Прессуемость волокон определяли по ГОСТ 25280-82. Влияние цинка на уплотняемость волокон исследовали на испытательной машине модели 1195 (фирма «Instron», Англия) по ГОСТ 18228-72, рассчитанной на максимальное усилие 0,1 МН. На основании ранее проведенных исследований [3, 8] прикладываемые усилия уплотнения были выбраны в диапазоне 0–20 кН. Для опытов использовали пресс-форму для двухстороннего прессования с внутренним отверстием диаметром 10 мм.

**Исследование диффузионного легирования медных отходов цинком.** Известно, что цинк повышает прочность и пластичность меди, но только до 30 %. Исходя из диаграммы состояния Cu-Zn, цинк также снижает и температуру плавления меди [9].

Внешний вид исходных медных отходов и после ДЛ показаны на рисунках 1 и 2.



а

б

а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

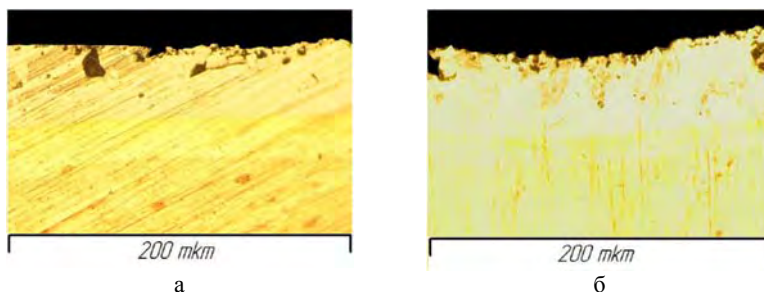
Рисунок 1 – Внешний вид исходных медных волокон



а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

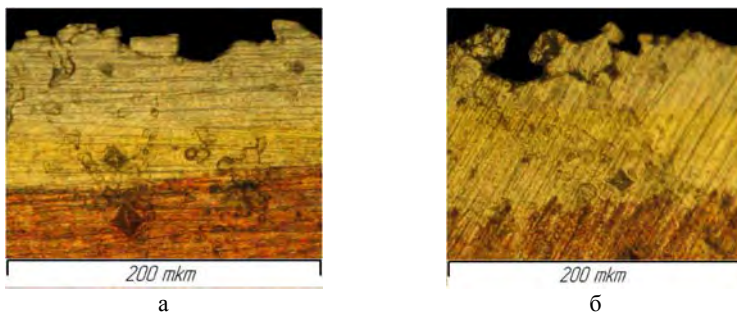
Рисунок 2 – Внешний вид медных волокон после ДЛ

На рисунках 3–8 представлены микроструктуры волокон после ДЛ.



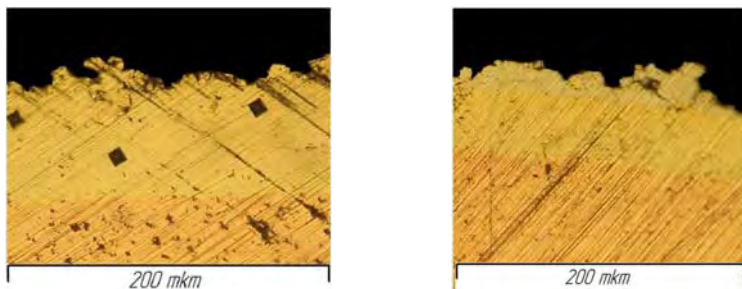
а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

Рисунок 3 – Микроструктура медных волокон после ДЛ: 50 % Cu + 50 % Zn



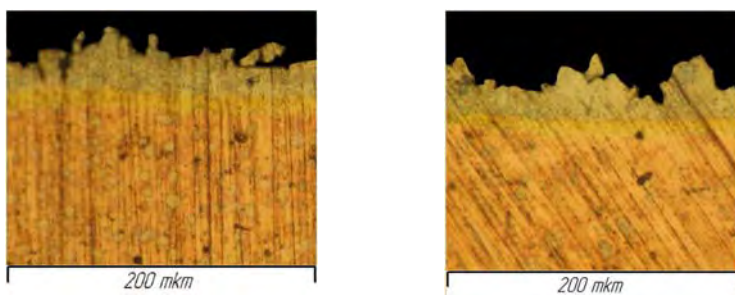
а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

Рисунок 4 – Микроструктура медных волокон после ДЛ: 60 % Cu + 40 % Zn



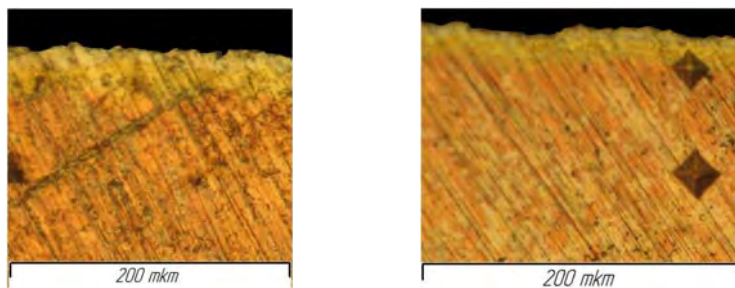
а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

Рисунок 5 – Микроструктура медных волокон после ДЛ: 70 % Cu + 30 % Zn



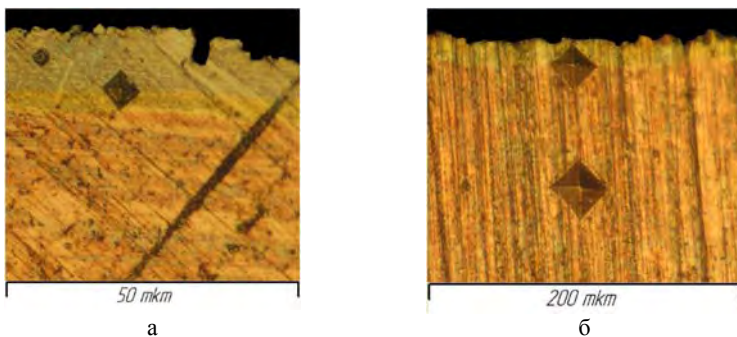
а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

Рисунок 6 – Микроструктура медных волокон после ДЛ: 80 % Cu + 20 % Zn



а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

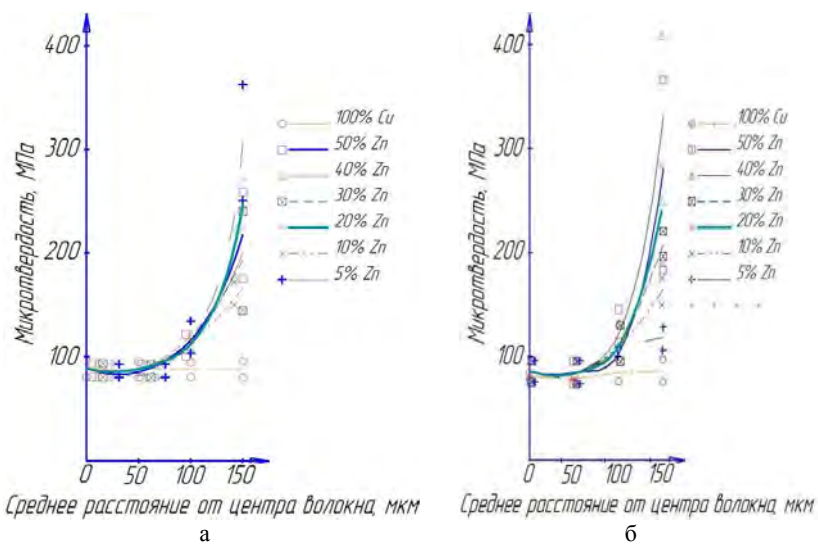
Рисунок 7 – Микроструктура медных волокон после ДЛ: 90 % Cu + 10 % Zn



а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

Рисунок 8 – Микроструктура медных волокон после ДЛ: 95 % Cu + 5 % Zn

Распределение микротвердости от центра к краю по сечению волокон после ДЛ показано на рисунке 9.



а – фракция 315 мкм; б – фракция 400 мкм

Рисунок 9 – Распределение микротвердости по сечению волокна после ДЛ

Толщина диффузионных слоев после ДЛ существенно зависит от количества насыщающего элемента в смеси и микропластических

деформаций, возникающих в процессе обработки. Так, в поверхностных слоях медных волокон, обработанных в смесях с содержанием цинка 30–50 %, диффузионный слой составляет порядка 80–100 мкм и разделен на две зоны. Нижний диффузионный слой является твердым раствором цинка в меди высокой концентрации. Данный слой обладает высокой прочностью и пластичностью. Верхний диффузионный слой в медных волокнах, из-за высокой концентрации цинка, состоит из  $\gamma$ -,  $\varepsilon$ - и  $\alpha$ -фаз различной концентрации. Образование данных фаз приводит к резкому снижению прочности и пластичности. В медных волокнах, обработанных в смеси с содержанием цинка 5–20 %, образуются диффузионные слои толщиной 30–50 мкм. Визуально разделения слоев на зоны не наблюдается вследствие малой концентрации насыщающего элемента. Пористость диффузионных слоев составляет порядка 5–8 % при концентрации цинка 50 % и снижается с уменьшением насыщающего элемента в смеси. Высокая пористость в образовавшихся слоях с концентрацией цинка 30–50 % объясняется высокой концентрацией насыщающего элемента и одновременной микропластической деформацией волокон во время обработки. В медных волокнах после обработки с меньшей концентрацией цинка образуются слои с минимальной пористостью, порядка 1–2 %.

На рисунке 10 представлена совмещенная зависимость изменения пористости ( $\Pi$ ) ДЛ медных волокон размером 315 и 400 мкм от давления нагружения ( $P$ ), в зависимости от процентного содержания (по масс.) цинкового порошка в насыщающей смеси. Внешний вид получаемых ФМ после спекания медных волокон показан на рисунке 11.

Анализ ДЛ меди цинком в подвижной порошковой среде с различными концентрациями выявил, что при содержании цинка в смеси более 30 % он резко снижает пластичность и прочность медных волокон. Установлено, что оптимальное содержание цинка в смеси – 10 %. При данном содержании цинка при ДЛ на поверхности медных волокон образуется слой  $\alpha$ -фазы, различной концентрации, что положительно влияет на прессование и снижение температуры спекания. Экспериментальные исследования выявили снижение давления прессования с 20–25 т до 10–15 т и температуры спекания с 1020 °С до 860 °С.

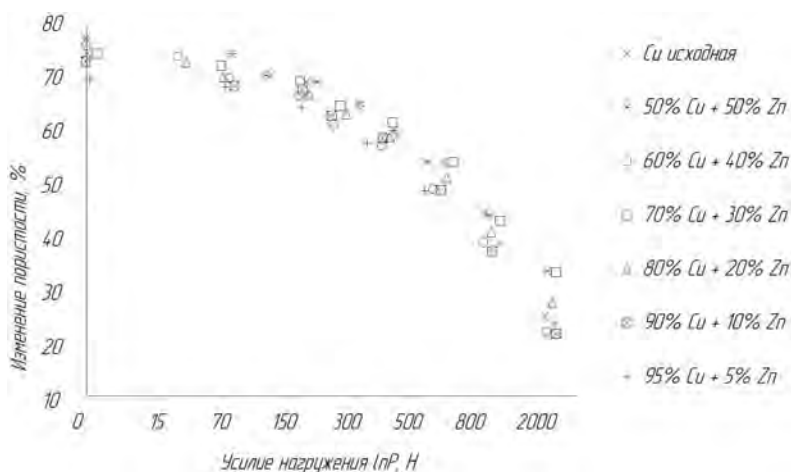
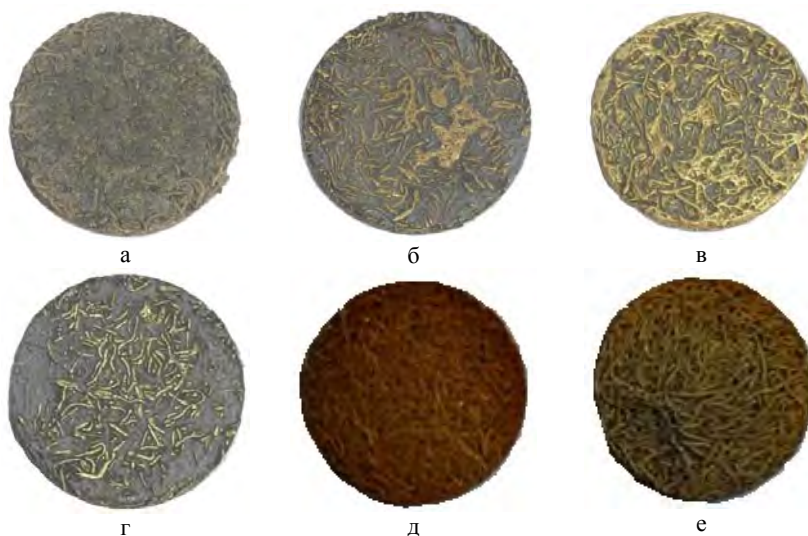


Рисунок 10 – Совмещенный график зависимости изменения пористости ( $\Pi$ ) от давления нагружения ( $P$ ) исходных медных волокон и волокон после насыщения цинком различной концентрации



а – 50 % Cu + 50 % Zn; б – 60 % Cu + 40 % Zn; в – 70 % Cu + 30 % Zn; г – 80 % Cu + 20 % Zn; д – 90 % Cu + 10 % Zn; е – 95 % Cu + 5 % Zn

Рисунок 11 – Образцы после спекания в зависимости от содержания Zn в смеси, % масс.

При спекании волокон с содержанием цинка в насыщающей смеси 30–50 % спекания образцов не произошло, образец разрушался во время извлечения его из печи, так как в поверхностных слоях присутствовали хрупкие  $\gamma$  и  $\epsilon$ -фазы. Спекание медных волокон, обработанных в смеси с содержанием цинка 10–20 %, произошло во всем объеме образца из-за образования в поверхностных слоях пластичной  $\alpha$ -фазы различной концентрации.

**Заключение.** ДЛ меди цинком положительно влияет на технологические свойства медных волокон и позволяет снизить энергетические затраты при производстве ФМ. Анализ результатов по спеканию образцов показал, что лучшие результаты спекания у образцов, обработанных в смеси с содержанием цинка 10–20 %. Предложен и экспериментально подтвержден эффективный путь повышения технологических свойств медных отходов кабельной промышленности при изготовлении фильтрующих материалов.

## Литература

**1. Костронов, А.Г.** Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов / А.Г. Костронов. – Киев: Наукова думка, 2002. – Т. 1. – 576 с.

**2. Витязь, П.А.** Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег. – Минск: Выш. школа, 1987. – 164 с.

**3. Новые** фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2008. – 232 с.

**4. Очистка** и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства : монография / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2007. – 232 с.

**5. Использование** отходов медного кабельного производства для изготовления фильтрующих материалов / В.М. Капцевич [и др.] // Пористые проницаемые материалы: технологии и изделия на их основе: материалы докладов Международного симпозиума, 27–28 октября 2011 г., Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ НАН Беларуси. – Минск, 2011. – С. 325–334.

**6. Свойства** биметаллических пористых волоконных материалов из медных и стальных волокон, полученных из отходов / В.М. Кап-



цевич [и др.] // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–14 сент. 2012 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: П.А. Витязь (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 325 с.

**7. Вращающаяся** электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала : пат. 15412 Респ. Беларусь, МПК7 F27B 7/14 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков ; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20091415 ; заявл. 05.10.09 ; опубл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. № 1. – С. 143.

**8. Косторнов, А.Г.** Проницаемые металлические волокновые материалы / А.Г. Косторнов. – Киев: Техника, 1983. – 123 с.

**9. Диаграммы** состояния двойных систем: Справочник. В 3 т. / Под. общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.

*УДК 621.791.13*

**Г.М. СЕНЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
**В.С. НИСС**, канд. техн. наук,  
**Н.И. УРБАНОВИЧ**, канд. техн. наук (БНТУ)

## **СВОЙСТВА БИМЕТАЛИЧЕСКИХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ СТАЛИ 40Х И СПЛАВА Д16, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ**

Во многих отраслях техники (машиностроение, автомобилестроение, станкостроение и т.д.) большое распространение получили гидроцилиндры, основные детали которого, гильза и шток, воспринимают различные по величине и направлению нагрузки (рисунки 1 и 2). На гильзу действует внутренняя распределенная нагрузка с интенсивностью  $q$  и растягивающее усилие  $q_1$  от данной нагрузки с той же интенсивностью ( $q_1 = q$ ), а на шток – сжимающая сила  $P$  и внешняя распределенная нагрузка с интенсивностью  $q$ .