

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ ВОЛОКНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. М. Константинов<sup>1</sup>, В. М. Капцевич<sup>2</sup>, В. Г. Щербаков<sup>1</sup>, В. К. Корнеева<sup>2</sup>, П. С. Чугаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, тел.: +375 (17) 292-81-85, e-mail: vm.konstantinov@bntu.by, vg.stcherbakov@bntu.by

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь

*Экспериментально изучена и теоретически обоснована перспективность использования диффузионно-легируемых медных кабельных отходов для изготовления пористых волоконных материалов.*

**Введение.** Диффузионное легирование (ДЛ) металлических отходов производства проводят для замены дорогостоящих импортных сплавов при создании сплавов для упрочнения и восстановления быстроизнашиваемых деталей [1–3]. Основой таких отходов являются металлические отходы из углеродистых, легированных сталей и чугунов в виде дроби и стружки. Кроме стальных и чугунных отходов на ряде предприятий образуются отходы в виде проводов и кабелей, перерабатывая которые ГО «Белвормет» выпускает медную сечку – медные кабельные отходы. Из таких отходов в БГАТУ разработана технология изготовления пористых волоконных материалов (ПВМ), включающая ситовый рассев медных кабельных отходов на фракции, операцию воздушного войлокования в узких кольцевых зазорах, радиальное изостатическое прессование (метод СИП) и спекание [4–5]. Ранее было установлено, что в случае ДЛ медных кабельных отходов цинком на поверхности каждого отдельного волокна образуется диффузионный слой с повышенной концентрацией цинка. Использование ДЛ медных кабельных отходов позволяет снизить температуру спекания [6–7] и повысить коррозионную стойкость. Однако концентрационные зависимости неизвестны. Таким образом, **целью данной работы** является анализ спекаемости медных кабельных отходов при различных режимах ДЛ цинком для создания ПВМ.

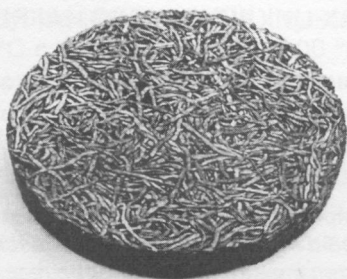
**Материалы и оборудование.** Для исследований были выбраны медные кабельные отходы фракции (–0,4...+0,315) мм. Диаметр волокон и их длина составляли 0,1–0,4 мм и 2–10 мм, соответственно. ДЛ (цинкование) выполнялось в электрической вращающейся печи [8]. Температура и время обработки составляли  $420 \pm 10$  °С и 30 мин, соответственно. Концентрация насыщающей смеси составляла 5, 10, 20, 30, 40 и 50 % от массы волокон. Прессование ДЛ волокон осуществлялось на испытательной машине 1195 (фирма «Instron», Англия) с давлениями прессования от 140–210 МПа до 280–350 МПа с последующим спеканием образцов в атмосфере эндогаза при температуре спекания от 860 до 1020 °С. Время выдержки образцов в печи составляло 1,5 ч.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ ДЛ медных волокон с различными концентрациями цинка выявил, что при содержании цинка в смеси 20–50 % от массы волокон снижается пластичность и прочность медных волокон. Микротвердость диффузионного слоя составляет 4580–5800 МПа. Диффузионный слой на волокне представляет медно-цинковый сплав переменной концентрации (от  $5 \pm 5$  % до  $95 \pm 5$  % цинка). Формуемость при этом составляет 280–350 МПа. При спекании образуется монолитный сплав без открытых пор (закрытая пористость) (см. рисунок, а). Последнее объясняется низкой температурой плавления образующегося медно-цинкового сплава на поверхности медных волокон, приводящих к образованию в процессе спекания большого количества жидкой фазы, заполняющей все поровое пространство прессовки. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с общеизвестными данными по влиянию цинка на свойства медно-цинковых сплавов (см. рисунок, в).

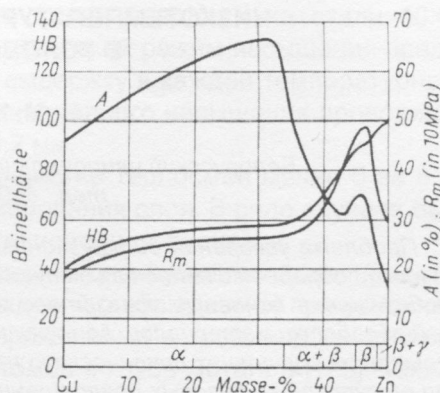
Выполненные исследования свидетельствуют, что необходимым содержанием цинка в смеси для ДЛ является интервал 10–20 % от массы волокон. При данной концентрации цинка при ДЛ на поверхности медных волокон образуется слой  $\alpha$ -твердого раствора цинка в меди, толщиной 20–30 мкм и тонкая прослойка (3–8 мкм) высокоцинковых соединений с пониженной температурой плавления. Образование диффузионного слоя такой толщины и состава благоприятно влияет на снижение давления прессования. Формуемость в этом случае заметно снижается до 140–210 МПа. Обусловлено это образованием пластичных медно-цинковых слоев на поверхности волокна. Температура спекания так же снижается до 860 °С за счет наличия цинковых соединений с пониженной температурой плавления. Диффузионная подвижность цинка в меди, как известно, высока, кроме того, снижение температур «ликвидус-солидус» обеспечивает снижение гомологической температуры, что так же способствует активизации диффузионных процессов и повышению спекаемости в системе Cu–Zn. В результате, после спекания цинкованных медных волокон, обработанных с концентрацией 10–20 % цинка в смеси, ПВМ имеют открытую пористость в интервале 25–40 %.



а



б



в

Внешний вид ПВМ из ДЛ медных волокон: а – концентрация цинка 20–50 %; б – концентрация цинка 10–20 %; в – влияние цинка на механические свойства медно-цинковых сплавов

**Выводы.** Установлено, что при диффузионном легировании цинком медных волокон для формирования требуемой прочности и пористости ПВМ и снижения давления прессования с 280–350 до 140–210 МПа с возможностью понижения температуры спекания с 1020 до 860 °С достаточная концентрация цинка в насыщающей смеси при цинковании находится в интервале 10–20 %.

### Литература

1. Пантелеенко, Ф. И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф. И. Пантелеенко. – Минск: Технопринт, 2001. – 300 с.
2. Ворошнин, Л. Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л. Г. Ворошнин, Ф. И. Пантелеенко, В. М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.
3. Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугунной стружки / В. М. Константинов [и др.]; под ред. Ф. И. Пантелеенко. – Минск: Технопринт, 2005. – 146 с.
4. Проницаемые материалы из металлических волокон: свойства, технологии изготовления, перспективы применения / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2013. – 380 с.
5. Капцевич, В. М. Получение фильтрующих материалов из медных кабельных отходов методом сухого изостатического прессования / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева // Пористые проницаемые материалы: технологии и изделия на их основе: материалы 6-го Междунар. симп. (Минск, 19–20 окт. 2017 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол. А. Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2017. – С. 315–338.
6. Щербаков, В. Г. Исследование влияния термодиффузионного цинкования медных отходов на качество получаемых из них волокнистых фильтрующих материалов / В. Г. Щербаков, П. С. Чугаев // Metallurgia: респ. межвед. сб. науч. тр. / редкол.: В. И. Тимошпольский [и др.]. – Минск: БНТУ, 2014. – Вып. 35. – С. 232–240.
7. Щербаков, В. Г. Исследование особенностей спекания медных волокон после диффузионного легирования в подвижной расходуемой насыщающей смеси / В. Г. Щербаков // Metallurgia: респ. межвед. сб. науч. тр. – 2017. – Вып. 38 – С. 166–177.
8. 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. – Оpubл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. № 1. – С. 143.

### THE USE OF DIFFUSIVELY-ALLOYED WASTES FROM CUPPER CABLES FOR PRODUCTION OF POROUS FIBER MATERIALS

V. M. Konstantinov<sup>1</sup>, V. M. Kapcevic<sup>2</sup>, V. G. Shcherbakou<sup>1</sup>, V. K. Korneeva<sup>2</sup>, P. S. Chugaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
e-mail: vm.konstantinov@bntu.by, vg.stcherbakov@bntu.by  
<sup>2</sup>Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

The article gives the experimental investigation and theoretical analysis in sphere of diffusively-alloyed wastes from copper cables and their use for production of porous fiber materials.