

Полученная таким образом древесина, пропитанная модифицированным полимером и моторным маслом, после сушки упаковывается в полиэтиленовые или бумажные мешки.

Полученный материал [1, 2] применяется, главным образом, в узлах трения рабочих органов хлопкоочистительных машин, работающих без смазки, взамен подшипников качения и оказывающее благоприятное действие на работу подшипников скольжения из этого материала. Его рекомендуют применять в тех случаях, когда масла, консистентные и другие смазки нежелательны, непрактичны или ненадежны, а также когда температуры слишком высоки или слишком низки для обычных смазок. Особенно рекомендуется этот материал для механизмов с периодическим возвратно-поступательным или вращательным движением.

Использование подшипников скольжения [3, 4] из древесины, полимеров и ингредиентов, полученных из местных минеральных и вторичных сырьевых ресурсов, позволяет повысить вдвое их ресурс работы, снизить уровень шума, сократить расход смазочных материалов и трудоёмкость смазочных работ.

Такая технология позволяет использовать различные полимеры, смолы и наполнители для получения изделий с заданными объемными и поверхностными свойствами. Отличительной особенностью этого древесно-полимерного материала является эффект самосмазывания, что очень важно для машин текстильной, хлопкоочистительной, пищевой отраслей промышленности и сельского хозяйства.

1. Патент РУз № 05068. Антифрикционный древесно-полимерный композиционный материал / Негматов С.С., Гулямов Г., Шернаев А.Н., Абед-Негматова Н.С. и др. // Расмий ахборотнома. – 2015. – № 7.
2. Шернаев А.Н., Гулямов Г. Композиционные древесно-полимерные материалы для подшипников узлов трения рабочих органов машин и механизмов // Вестник ТашГТУ, 2012. – № 3–4. – 67–71.
3. Шернаев А.Н., Гулямов Г. Подшипники скольжения из композиционных древесно-полимерных материалов и эффективность их применения в узлах рабочих органов хлопкоочистительных машин // Композиционные материалы, 2012. – № 3. – С. 69–71.
4. Шернаев А.Н., Гулямов Г. Подшипники скольжения из композиционных древесно-полимерных материалов для узлов трения рабочих органов хлопкоочистительных машин // Проблемы механики, 2012. – № 3. – С. 68–71.

---

---

## СИНТЕЗ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ CuNi МЕТОДОМ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ В РАСТВОРАХ

О.В. Щипцов<sup>1</sup>, В.И. Романовский<sup>2</sup>, Е.В. Романовская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,  
elena.romanovskaia@belstu.by

<sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Металлические наночастицы уже давно являются предметом повышенного интереса исследователей, что обусловлено как перспективностью их практического применения, так и наличием некоторых размерных эффектов, т. е. различием их свойств и характеристик соответствующей объемной фазы. В то же время прикладные и научные аспекты тесно взаимосвязаны, поскольку в одних случаях размерные эффекты могут использоваться целенаправленно, а в других они могут мешать использованию наночастиц и наноструктурированных материалов.

Переход от однокомпонентных металлических наночастиц к бинарным и многокомпонентным существенно расширяет как диапазон структурных превращений, связанных с ними, так и перспективы их практического применения. В частности, для бинарных и многокомпонентных частиц характерно явление сегрегации [1], которое проявляется в эволюции системы как при постоянной температуре, так и при ее изменении. Кроме того, в определенном смысле явление коалесценции может служить технологией получения бинарных и многокомпонентных наночастиц [2]. Согласно экспериментальным данным [3], можно говорить о выраженной поверхностной сегрегации Cu к поверхности массивного сплава Cu–Ni. Таким образом, исследование синтеза наночастиц Cu–Ni экспериментально и с использованием результатов компьютерного моделирования является актуальной задачей.

Для синтеза использовались химические вещества «чда»: гексагидрат нитрата никеля ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и гексагидрат нитрата меди ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) использовались в качестве прекурсоров металлов, глицин ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$ , G) — в качестве восстановителя.

Образец Cu–Ni с мольным соотношением Cu:Ni равным 1:1 был синтезирован методом экзотермического горения в растворе (SCS) описанном в [4]. Данный метод является перспективным как для синтеза наноразмерных материалов [1, 2, 4], так и для получения наноструктурированных покрытий [3]. Отношение топлива к окислителю  $\phi$  было 1,75, которое было выбрано на основании наших предыдущих исследований [1—5]. В случае использования  $\phi > 1$  образующиеся в реакционном объеме  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$  обеспечивает возможность получения чистого металла в атмосфере нормального воздуха без его окисления.

Фазовый состав и структура полученных продуктов сгорания охарактеризованы методом рентгеновской дифракции (XRD) на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE с вращающимся медным анодом. Справочные данные фаз были взяты из базы данных PDF2.

В наших предыдущих статьях [1—4] было показано, что синтезированные образцы представляет собой биметаллический нанопорошок с взаимно искаженной кубической структурой никеля и меди с характерными пиками (111), (002) и (022). Других кристаллических фаз на дифрактограммах не обнаружено. Минимальный размер частиц составлял 3,5 нм при среднем диаметре около 10 нм.

Результаты элементного анализа подтверждают тенденцию, наблюдаемую при анализе линейного сканирования. Элементный анализ показывает присутствие никеля, меди и небольшого количества кислорода в диапазоне 0,03—0,10 мкм. Полученные микрофотографии подтверждают сделанное выше заявление о том, что агрегаты состоят из частиц никеля и меди.

В диапазоне 45—95 нм в основном синтезированный образец состоит из Cu, а в диапазоне 130—150 нм — из твердого раствора. Содержание кислорода очень низкое и соответствует диапазону распределения атомов Cu по первому диапазону. Было вычислено межатомное расстояние равное 0,202 и 0,207 нм, что соответствует пику на дифрактограмме рентгеновских лучей 44,14 для  $2\theta$ . Эта величина хорошо согласуется с параметрами кубической кристаллической структуры Ni (111) и Cu (111).

Синтезированные нанопорошки представляют собой биметаллические частицы с коинтегрированными кристаллическими структурами никеля и меди. Мы полагаем, что возможность использования метода SCS для синтеза биметаллического нанопорошка на воздухе без образования оксидных фаз металлов обусловлена сочетанием типа и количества восстановителя, а также технологических условий синтеза. Это приводит к быстрому процессу сгорания при низкой температуре процесса. Кроме того, в результате термического разложения лимонной кислоты в реакционном объеме над свежесинтезированными наночастицами металла образуется инертная атмосфера  $\text{N}_2/\text{CO}_2$ . Сочетание этих факторов в конечном итоге предотвращает окисление металлов. В свою очередь, скорость процесса синтеза обеспечивает высокую однородность распределения металлических наночастиц при формировании композитов.

Таким образом, биметаллические наночастицы были успешно синтезированы с помощью модифицированного подхода SCS и охарактеризованы различными методами. Исследование показало, что синтезированные частицы представляют собой мелкие взаимосвязанные металлические кристаллиты.

Обнаруженная возможность формирования биметаллических наночастиц из различных взаимных начальных конфигураций демонстрирует возможность создания как пространственно-симметричных, так и асимметричных структур. Описанный подход и результаты исследования могут быть использованы для разработки композиций и эффективных методов синтеза полиметаллических наноматериалов для катализаторов, сенсоров и других приложений.

1. Sdobnyakov N., Khort A., Myasnichenko V., Podbolotov K., Romanovskaia E., Kolosov A., Sokolov D., Romanovski V. Solution combustion synthesis and Monte Carlo simulation of the formation of CuNi integrated nanoparticles. *Computational Materials Science*. 2020. V. 184. 109936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2020.109936>.
2. A. Khort, V. Romanovski, D. Leybo, D. Moskovskikh. CO oxidation and organic dyes degradation over graphene-Cu and graphene-CuNi catalysts obtained by solution combustion synthesis. *Scientific Reports*. 2020. V.10. 16104. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72872-0>.

3. Ivanov, D., Antonov, A., Sdobnyakov, N., Shimanskaya, H., Romanovskaia, E., Afanasiev, M. About “technological” properties of nano-sized nickel and copper films. *Physical and Chemical Aspects of the Study of Clusters Nanostructures and Nanomaterials*. 2018. N 10. P. 506–516. DOI: <https://doi.org/10.26456/PCASCNN/2018.10.291>.
4. Romanovskii, V., Khort, A. A., Podbolotov, K. B., Sdobnyakov, N. Y., Myasnichenko, V. S., Sokolov, D. N. One-step synthesis of polymetallic nanoparticles in air environment. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*, 2018. V. 61(9-10), p. 42–47. DOI: 10.6060/ivkkt.20186109-10.5867a.
5. Propolsky, D., Romanovskaia, E., Kwapinski, W., Romanovski, V., Modified activated carbon for deioning of underground water, *Environmental Research* (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108996>.

---

---

## БАЗАЛЬТОВОЕ ВОЛОКНО — ВАЖНЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ё.Ю. Юсуфжонов

Государственное унитарное предприятие «Фан ва Таракиёт», Ташкент, Узбекистан,  
Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова,  
Ташкент, Узбекистан, [ayusupbekov@inbox.ru](mailto:ayusupbekov@inbox.ru)

Одним из эффективных способов формирования необходимого комплекса свойств полимерных материалов является их наполнение. Наполнители вводят в полимеры и эластомеры с целью создания новых композиционных материалов с комплексом ценных эксплуатационных свойств: улучшение технологических свойств и перерабатываемости наполненных полимеров; снижение себестоимости материалов; утилизация отходов и решение экологических задач; расширение сырьевой базы и ассортимента наполнителей.

В настоящее время, несмотря на сложившийся довольно устойчивый ассортимент минеральных наполнителей, поиск новых типов наполнителей, в том числе природных, является весьма актуальной задачей. Природные неорганические наполнители: базальтовое волокно и вермикулит следует рассматривать как перспективные наполнители для полимерных композиционных материалов широкого назначения.

Это, прежде всего, связано с уникальными свойствами присущими базальтовым волокнам: высокие показатели модуля упругости и химических свойств; повышенная стойкость к агрессивным средам; вибрации; морозостойкость; долговечность; стабильность свойств при длительной эксплуатации в различных климатических условиях, хорошая адгезия к различным связующим определяет их как перспективный армирующий материал для производства композиционных материалов многофункционального назначения.

Перспективы использования базальтовых волокон обусловлены, во-первых, достаточным количеством запасов базальтовой породы в ближнем и дальнем зарубежье, во-вторых, в отличие от шихты, используемой для производства стеклянных волокон, они не требуют дефицитных добавок бора, соды, сульфата, глинозема и других компонентов и, следовательно, исключается процесс приготовления шихты. Как правило, горные породы базальта более однородны по химическому составу, имеют высокий модуль упругости, что положительно влияет на химическую и термическую стойкость волокна. Этим и объясняется значительный успех ООО «Базальтовые технологии», которое является одной из ведущих фирм в производстве базальтового волокна в странах СНГ, где выпускается более 10 ассортиментов волокна и изделий из них.

Разработаны базальтопластиковые текстолиты, полученные на основе ткани из базальтовых волокон и фенолформальдегидных и кремнийорганических полимерных связующих и отмечен их расширенный температурный диапазон эксплуатации. Показано, что для пластиков на фенолформальдегидном связующем при армировании стеклянными волокнами характерно понижение прочности уже при 180 °С, в то время как для базальтовых волокон температура снижения прочности повышается почти на 60 °С. Для пластика на кремнийорганическом связующем рост температуры эксплуатации объясняется кислой средой, свойственной для базальтового волокна, в отличие от стеклянного волокна, для которого характерна щелочная реакция. В присутствии кислой среды цик-