

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 11

ТВЕРЬ 2019

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2019. – Вып. 11. – 680 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2019

© Тверской государственной
университет, 2019

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВОЙ СИСТЕМЫ «ТИТАН – МЕДЬ» ПОСЛЕ ХОЛОДНОГО ФОРМОВАНИЯ

А.Д. Назаров, Н.А. Панькин, В.П. Мишкин

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»

430005, Россия, Саранск, ул. Большевикская, 68

panjkinna@yandex.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.624

Аннотация: В настоящей статье приведены результаты исследования микроструктуры и плотности материала, полученного после формования смеси порошков меди и титана. Растровая электронная микроскопия свидетельствует о незначительной деформации (преимущественно в упругой области) частиц титана и пластической – для зерен меди. Данные растровой электронной микроскопии и результаты измерения плотности указывают на наличие в порошковом теле объема, занятого порами. Процесс прессования системы «медь – титан» хорошо описывается в рамках механистической модели.

Ключевые слова: механистическая модель, порошковое тело, микроструктура, плотность, поровое пространство, диаграмма прессования.

1. Введение

Перспективным, но, в настоящее время, мало изученным материалом, является композит системы $Ti-Cu$. Он может быть использован при изготовлении композиционных катодов для создания многокомпонентной низкотемпературной металлической плазмы. Последнюю можно применять для создания на поверхности различных материалов наноструктурированного слоя (покрытия/пленки) с уникальными физико-механическими свойствами. В [1-4] можно найти сведения о зависимости физико-механических свойств титан – медных композитов от параметров, характерных для различных методов его получения. В их большинстве, начальным этапом является процесс холодного или горячего формования в пресс-форме. При этом свойства будущего композита (порошкового тела) после данной технологической операции не изучаются. Их корреляции с параметрами формования (давление, скорость движения пуансонов, время выдержки под нагрузкой и т.д.) важны для понимания механизмов протекания процессов, протекающих при формовании многокомпонентной смеси порошков металлов.

Целью настоящей работы являлось исследование микроструктуры и плотности порошкового тела, полученного формованием смеси двух металлических порошков – титана и меди.

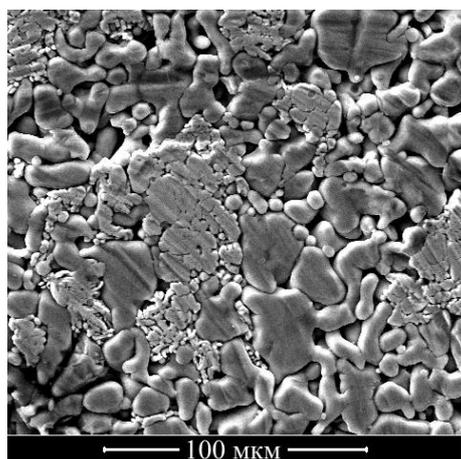
2. Методика исследования

Для получения порошковых тел в качестве исходных компонентов использовали порошки титана (марки ПТМ-1 по ТУ 14-22-57-92 [5]) и

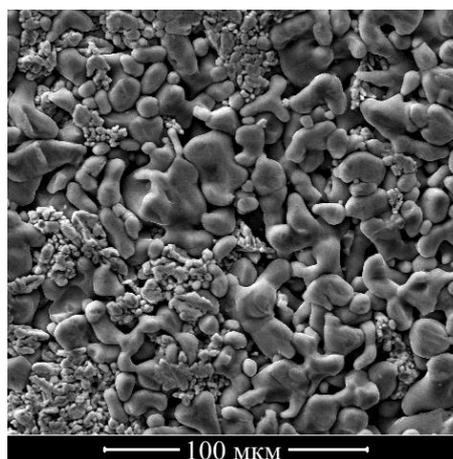
меди (марки ПМС-1 по ГОСТ 4960-75 [6]). Одностороннее холодное прессование порошков в образцы цилиндрической формы проводили на машине для механических испытаний Shimadzu AG-X100kN. Термическая обработка образцов не проводилась. Содержание меди $C(Cu)$ изменялось от 10 до 90 масс.%, давление прессования p – от 240 до 640 МПа. Исследования микроструктуры поверхности порошковых тел проводились на растровом электронном микроскопе Quanta 200i 3D FEI при ускоряющем напряжении 30 кВ в режиме высокого вакуума ($\sim 10^{-3}$ Па). Значения плотности определяли гидростатическим взвешиванием на аналитических весах XS-204, оснащенных соответствующей приставкой.

3. Результаты и их обсуждение

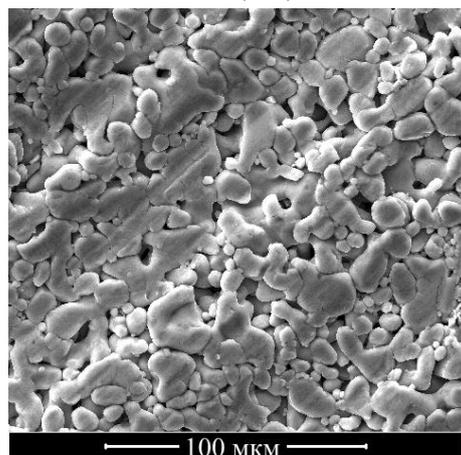
На рис. 1 показаны фотографии микроструктуры поверхности порошкового тела при различных режимах их получения.



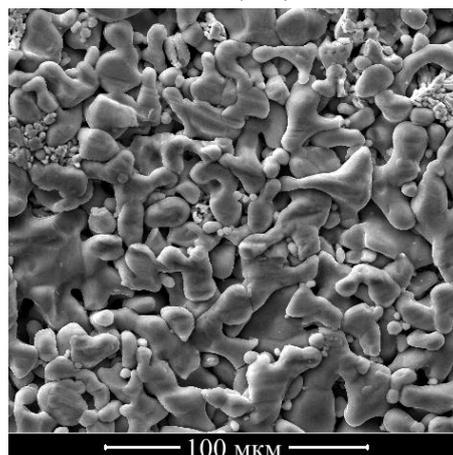
$p = 640$ МПа, $C(Cu) = 40$ масс.%



$p = 640$ МПа, $C(Cu) = 10$ масс. %



$p = 240$ МПа, $C(Cu) = 40$ масс.%



$p = 240$ МПа, $C(Cu) = 10$ масс. %

Рис. 1. Результаты исследования микроструктуры поверхности порошковых тел, полученные методом растровой электронной микроскопии.

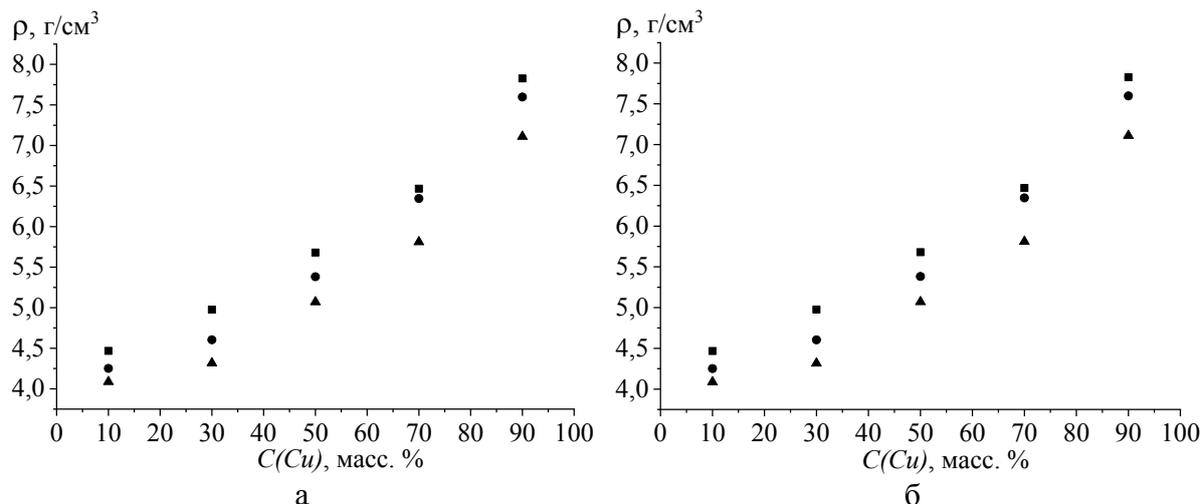


Рис. 2. Зависимость плотности порошкового тела от давления прессования (а): ■ – 10 масс.% Cu, ● – 50 масс.% Cu, ▲ – 90 масс.% Cu) и содержания меди (б): ▲ – 240 МПа, ● – 400 МПа, ■ – 600 МПа).

Для описания прессования исследуемой системы можно использовать механистическую модель, предложенную в [7]. Она рассматривает процесс формирования порошкового тела из керамических и металлических материалов. Согласно ей диаграмма прессования (плотность – давление прессования) является результатом протекания двух процессов:

- 1) свободной укладки и перераспределении первичных структурных элементов порошкового тела в свободное пространство без их значительной деформации и разрушения;
- 2) перераспределения вторичных структурных элементов, образующихся после пластической деформации и хрупкого разрушения первичных.

Зависимость уплотнения порошкового тела от давления прессования за счет первого процесса имеет немонотонный характер: уплотнение равно нулю при отсутствии всяческих сил, действующих на структурные элементы порошкового тела и достигает своего максимума при средних значениях плотности/пористости порошкового тела; стремится к нулю совместно с пористостью порошкового тела при достижении теоретической плотности [7]. Зависимость уплотнения вследствие второго процесса от давления прессования является линейной: уплотнение равно нулю при отсутствии всяческих сил, действующих на структурные элементы порошкового тела; достигает своего максимума при стремлении к нулю по достижении теоретической плотности порошкового тела [7].

Общий ход диаграммы прессования является результатов суперпозиции вышеуказанных процессов. При этом, её можно описать в рамках логарифмической зависимости [7]. Экспериментальные данные

наших измерений для зависимости «плотность – давление прессования» достаточно хорошо аппроксимируются логарифмической функцией.

Библиографический список:

1. **Шморгун, В.Г.** Исследование теплофизических свойств интерметаллидного композита титан-медь / В.Г. Шморгун, Д.В. Проничев, О.В. Слаутин, Д.А. Евстропов, В.П. Кулевич // Известия ВолгГТУ. Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении». – Вып. 10. – 2014. – № 23 (150). – С. 12-14.
2. **Прибытков, Г.А.** Структурообразование при спекании порошковых смесей $Ti-Cu$ / Г.А. Прибытков, Е.Н. Коростелева, А.В. Гурских, В.В. Коржова // Известия вузов: Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2011. – № 4. – С. 16-20.
3. **Крашенинников, С.В.** Исследование кинетики процесса контактного эвтектического плавления в сваренных взрывом титано-медно-стальных композитах / С.В. Крашенинников С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, Н.И. Чистякова // Перспективные материалы. – 2005. – № 3. – С. 75-80.
4. **Шморгун, В.Г.** Диффузионные процессы на межслойной границе сваренного взрывом трёхслойного композита системы $Cu-Ti$ / В.Г. Шморгун, О.В. Слаутин, Д.А. Евстропов, А.О. Таубе // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2014. – № 4. – С. 36-39.
5. Порошок титановый. Технические условия: ТУ 14-22-57-92. – Взамен ТУ14-1-3086-80, ТУ14-1-2886-80; введ. 01.04.1993.
6. Порошок медный электролитический. Технические условия: ГОСТ 4960-75. – Взамен ГОСТ 4960-68; введ. 01.01.1977.
7. **Двилис, Э.С.** Закономерности процессов консолидации порошковых систем при изменении условий деформации и физических воздействий: дисс. ... докт. физ.-мат. наук: 01.04.07: защищена 24.12.2014: утв. 25.06.2015 / Двилис Эдгар Сергеевич. – Томск: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, 2014. – 386 с.

References:

1. **Shmorgun, V.G.** Investigation of the thermophysical properties of the titanium-copper intermetallic composite / V.G. Shmorgun, D.V. Pronichev, O.V. Slautin, D.A. Evstropov, V.P. Kulevich // Izvestiya VolgGTU. Seriya «Problemy materialovedeniya, svarki i prochnosti v mashinostroenii». – I. 10. – 2014. – № 23 (150). – P. 12-14. (In Russian).
2. **Pribytkov, G.A.** Structuring during sintering of $Ti-Cu$ powder mixtures / G.A. Pribytkov, E.N. Korosteleva, A.V. Gurskikh, V.V. Korzhova // Izvestiya vuzov: Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya. – 2011. – № 4. – P. 16-20. (In Russian).
3. **Krasheninnikov, S.V.** Research of contact eutectic melting kinetics of welded by explosion titanium-copper-steel composites / S.V. Krasheninnikov S.V. Kuz'min, V.I. Lysak, N.I. Chistyakova // Perspektivnye materialy. – 2005. – № 3. – P. 75-80. (In Russian).
4. **Shmorgun, V.G.** Diffusion processes at the interlayer boundary of an explosion-welded three-layer $Cu-Ti$ composite system / V.G. Shmorgun, O.V. Slautin, D.A. Evstropov, A.O. Taube // Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya. – 2014. – № 4. – P. 36-39. (In Russian).
5. Titanium powder. Specifications: TU 14-22-57-92. – Vzamen TU14-1-3086-80, TU14-1-2886-80; vved. 01.04.1993. (In Russian).

6. Electrolytic copper powder. Specifications: GOST 4960-75. – Vzamen GOST 4960-68; vved. 01.01.1977. (In Russian).

7. **Dvilis, E.S.** Regularities of the processes of consolidation of powder systems with changing conditions of deformation and physical effects: diss. ... dokt. fiz.-mat. nauk: 01.04.07: zashchishchena 24.12.2014: utv. 25.06.2015 / Dvilis Edgar Sergeevich. – Tomsk: Nats. issled. Tom. politekhn. un-t, 2014. – 386 p. (In Russian).

Short communication

RESEARCH OF THE POWDER SYSTEM «TITAN – COPPER» AFTER COLD FORMING

A.D. Nazarov, N.A. Pan'kin, V.P. Mishkin

National Research N.P. Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.624

Abstract: This article presents the results of a study of the microstructure and density of the material obtained after molding a mixture of powders of copper and titanium. Scanning electron microscopy indicates a slight deformation (mainly in the elastic region) of titanium particles and plastic – for copper grains. Scanning electron microscopy and density measurement results indicate the presence in the powder body of the volume occupied by the pores. The process of pressing a copper-titanium system is well described within the framework of a mechanistic model.

Keywords: mechanistic model, powder body, microstructure, density, pore space, pressing diagram.

Назаров Александр Дмитриевич – магистрант второго года обучения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»

Панькин Николай Александрович – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики твердого тела ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет» им. Н.П. Огарева»

Мишкин Владимир Петрович – младший научный сотрудник, кафедра общей физики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет»

Alexandr D. Nazarov – 2nd year undergraduate student, National Research N.P. Ogarev Mordovia State University

Nikolay A. Pan'kin – Ph. D., Docent, Department of Solid State Physics, National Research N.P. Ogarev Mordovia State University

Vladimir P. Mishkin – Senior Researcher, Department of General Physics, National Research N.P. Ogarev Mordovia State University

Поступила в редакцию/received: 20.08.2019; после рецензирования/revised: 22.09.2019; принята/accepted 04.11.2019.