

УДК 621.762

DOI dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2015-4-28-33

## Получение и свойства композиционных материалов из смеси механически легированных гранул и медного порошка

© 2015 г. В.А. Довыденков, А.В. Довыденкова, М.В. Ярмольк

Поволжский государственный технический университет (ПГТУ), г. Йошкар-Ола

ООО «Наномет», г. Йошкар-Ола

ЗАО «Завод металлокерамических материалов «Метма», г. Йошкар-Ола

Статья поступила в редакцию 02.04.15 г., доработана 29.04.15 г., подписана в печать 04.05.15 г.

Из порошков меди, ее оксида, алюминия и графита методом механического легирования в атриторе в воздушной среде изготовлены гранулы размером 45–315 мкм. Их структура представляет собой медную основу с размером зерен 150–300 нм, по границам которых расположены включения фазы  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  размерами 30–60 нм и небольшие количества промежуточной фазы  $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$  и углерода. Микротвердость гранул находится в пределах 1500–2100 МПа. Путем двукратного пресования–спекания смеси медного порошка и механолегированных гранул получены образцы композиционных материалов с содержанием гранул 30, 50 и 70 мас.%. Исследовались их механические свойства, электропроводность и структура в зависимости от температуры спекания и количества гранул. При различных содержаниях гранул свойства материалов, спеченных при 900 °С, изменяются в следующих пределах: электропроводность – 55±70 % от электропроводности меди марки М1, твердость – 60±93 НВ, предел прочности на растяжение – 150±230 МПа. При этом прочность и твердость при увеличении массовой доли гранул возрастают, а электропроводность – снижается. Структура материала, содержащего 30 % гранул, представляет собой медную матрицу с включениями на основе гранул, микротвердость которых составляет 1150–1700 МПа. В образцах, в составе которых присутствует 70 мас.% гранул, образуется каркас, заполненный медной фазой. Твердость материала с массовой долей гранул 50 % после нагрева в течение 120 мин при  $t = 900$  °С уменьшается менее чем на 15 %.

**Ключевые слова:** механическое легирование, гранулы, медный порошок, композиционный материал, электропроводность.

**Довыденков В.А.** – докт. техн. наук, профессор кафедры материаловедения и машиностроения ПГТУ (424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), директор ООО «Наномет» (424008, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 41). Тел.: (8362) 41-42-99. E-mail: ya.dovydenkov@yandex.ru.

**Довыденкова А.В.** – канд. техн. наук, ген. директор ЗАО «Завод металлокерамических материалов «Метма» (424007, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия, ул. Крылова, 53а). Тел.: (8362) 49-55-50. E-mail: pm@metma12.ru.

**Ярмольк М.В.** – аспирант кафедры материаловедения и машиностроения ПГТУ, инженер-технолог ЗАО «Метма». Тел.: (8362) 49-55-49. E-mail: milayr@mail.ru.

**Для цитирования:** Довыденков В.А., Довыденкова А.В., Ярмольк М.В. Получение и свойства композиционных материалов из смеси механически легированных гранул и медного порошка // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия. 2015. No. 4. С. 28–33. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2015-4-28-33.

*Dovydenkov V.A., Dovydenkova A.V., Yarmolyk M.V.*

### **Fabrication and properties of composite materials from the mixture of mechanically alloyed granules and copper powder**

Granules 45–315  $\mu\text{m}$  in size are fabricated from powers of copper, its oxide, as well as aluminum and graphite by mechanical alloying in the attritor in air medium. Their structure represents a copper base with the grain size of 150–300 nm bordered by inclusions of the  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  phase 30–60 nm in size and small amounts of the  $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$  phase and carbon are arranged. Microhardness of granules is in limits of 1500–2100 MPa. The samples of composite materials with the content of granules of 30, 50, and 70 wt.% are prepared by double compaction–sintering of a mixture of copper powder and mechanically alloyed granules. Their mechanical properties, electrical conductivity, and structure are investigated depending on the sintering temperature and amount of granules. Depending on the content of granules, properties of materials sintered at 900 °C, vary in the following limits: electrical conductivity is 55–70 % of electrical conductivity of copper of brand M1, hardness 60–93 HB, and tensile yield strength is 150–230 MPa. The strength and hardness increase with an increase in the weight fraction of granules, while electrical conductivity decreases. The structure of the material containing 30 % granules represents a copper matrix with granule-based inclusions, microhardness of which is 1150–1700 MPa. A skeleton filled with a copper phase is formed in the samples containing 70 % granules. Hardness of the material with a weight fraction of granules of 50 % decreases less than by 15 % after annealing at 900 °C for 120 min.

**Keywords:** mechanical alloying, granules, copper powder, composite material, electrical conductivity.

**Dovydenkov V.A.** – Dr. Sci. (Tech.), prof., Department of material science and machine building, Volga State University of Technology (424000, Rep. Mari El, Yoshkar-Ola, Lenin sq., 3), director of LLC Nanomet (424008, Rep. Mari El, Yoshkar-Ola, Panfilov str., 41). E-mail: ya.dovydenkov@yandex.ru.

**Dovydenkova A.V.** – Cand. Sci. (Tech.), general director of CJSC Metma (424007, Rep. Mari El, Yoshkar-Ola, Krylov str., 53-a) E-mail: pm@metma12.ru.

**Yarmolyk M.V.** – postgraduate student, Department of material science and machine building, Volga State University of Technology, production engineer, CJSC Metma. E-mail: milayr@mail.ru.

**Citation:** Dovydenkov V.A., Dovydenkova A.V., Yarmolyk M.V. Poluchenie i svoystva kompozitsionnykh materialov iz smesi mekhanicheski legirovannykh granul i mednogo poroshka. *Izv. vuzov. Poroshk. metallurgiya i funkts. pokrytiya*. 2015. No. 4. P. 28–33. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2015-4-28-33.