



УДК 542.4

Поступила 01.02.2018

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С МАКРОГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

*А. С. КАЛИНИЧЕНКО, В. А. ШЕЙНЕРТ, В. А. КАЛИНИЧЕНКО, А. Г. СЛУЦКИЙ, Белорусский национальный технический университет. г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.
E-mail: akalinichenko@bntu.by*

Литые композиционные материалы нашли применение в различных отраслях промышленного производства. Однако имеется еще ряд проблем, связанных с выбором оптимальной технологии их синтеза, решение которых обеспечит достижение на практике предсказываемых теорией свойств композитов, управление межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и свойств композитов. Необходимы и дополнительные исследования, связанные с разработкой новых видов армирующих элементов, которые позволят поднять уровень эксплуатационных характеристик композита. Установлено, что важную роль играют не только тип матрицы, но и химический состав и микроструктура армирующего материала. Требуется и исследования по оптимизации технологии получения композиционных материалов твердожидким совмещением. В работе представлены обобщенные результаты экспериментальных исследований особенностей получения композиционных материалов на основе бронзы и чугуновых гранул с использованием высокоскоростной индукционной плавки. В качестве армирующего материала использовали чугуновые гранулы марки ДЛЧ диаметром порядка 1 мм.

Ключевые слова. Индукционная установка, комплекс управления, высокоскоростная плавка, композиционные материалы, макро- и микроструктура.

FEATURES OF MANUFACTURE OF COMPOSITE MATERIAL WITH MACROHETEROGENEOUS STRUCTURE WITH THE APPLICATION OF MAGNETIC FIELDS

A. S. KALINICHENKO, V. A. SHEINERT, V. A. KALINICHENKO, A. G. SLUTSKY, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosty ave. E-mail: akalinichenko@bntu.by

Casted composite materials have found application in various branches of industrial production. However, there are still a number of problems related to the choice of optimal technology for their synthesis and the solution of which will help to achieve in practice high level of properties predicted by the theory and provide the control of interfacial interactions to enhance the stability of the structure and properties of composites. There is a need in additional research related to the development of new types of reinforcing elements, which will provide the raise in the level of performance of the composite. It is established that an important role plays not only the type of the matrix but also the chemical composition and microstructure of the reinforcing material. This would require research on optimization of technology for production of composite materials during the solid-liquid synthesis. The paper presents generalized results of experimental studies of peculiarities during the formation of composite materials on the basis of bronze and iron granules with the use of high-speed induction melting. As reinforcing phase iron granules DCHL with a diameter of about 1 mm were used.

Keywords. Inductive heater, control unit, high speed melting, composite materials, macro- and microstructure.

Литые композиционные материалы нашли применение в различных отраслях промышленного производства [1–3]. Однако имеется еще ряд проблем, связанных с выбором оптимальной технологии их синтеза, решение которых обеспечит достижение на практике предсказываемых теорией свойств композитов, управление межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и свойств композитов. Необходимы и дополнительные исследования, связанные с разработкой новых видов армирующих элементов, которые позволят поднять уровень эксплуатационных характеристик композита. Например, композиционные материалы на основе меди разрабатываются, главным образом, для триботехнического применения, так как они обладают повышенными антифрикционными свойствами [4].



Рис. 1. Высокочастотная индукционная установка (а) и аппаратный комплекс управления процессом плавки (б)

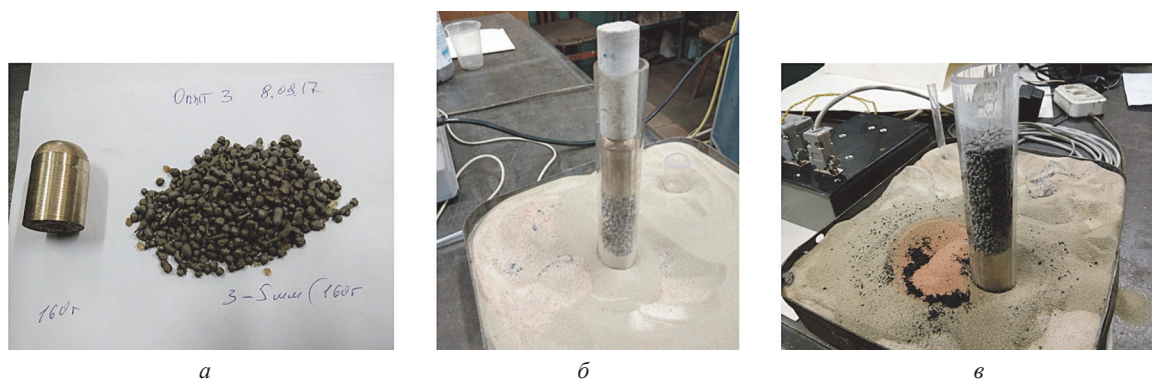


Рис. 2. Общий вид исходных материалов (а) и варианты их загрузки (б, в) в кварцевую ампулу

В ходе ранее выполненных исследований [5] была проведена модернизация лабораторной установки, позволяющая получать быстроохлажденные чугунные гранулы для армирования литых композитов.

Установлено, что после быстрого охлаждения из жидкого состояния полученные гранулы имеют структуру белого доэвтектического чугуна различной дисперсности в зависимости от размера фракции, в то время как серийные гранулы из аналогичного сплава, используемые в композитах, имеют структуру отжига серого чугуна.

В процессе высокотемпературного формирования композита на основе медных сплавов армирующие гранулы претерпевают фазовые превращения и приобретают структуру перлитного ковкого чугуна с небольшими включениями феррита и графита хлопьевидной формы. Вместе с тем, актуальным является вопрос равномерности распределения армирующего материала в матрице композита в процессе его изготовления при использовании литейных технологий. Решению данной проблемы были посвящены настоящие исследования.

С этой целью была разработана технологическая схема получения композитов и создан комплексный аппарат на основе индукционной установки для управления процессом получения композита [6]. Он позволяет эффективно управлять процессом нагрева исходных компонентов до температуры плавления бронзы, осуществлять пропитку полученной жидкой фазой армирующих железоуглеродистых гранул, последующую выдержку, а также удалять образовавшиеся газы в процессе охлаждения композита по заданному режиму. Общие виды высокочастотной индукционной установки и аппаратного комплекса управления процессом плавки показаны на рис. 1.

По разработанной методике была выполнена серия экспериментов с целью отработки технологических режимов получения композитов. В качестве шихты использовали компактные слитки бронзы и чугунные гранулы различных фракций, полученные на модернизированной лабораторной установке. Общий вид и вариант загрузки исходных материалов показан на рис. 2.

Предварительные эксперименты показали, что вариант загрузки шихты (рис. 2, в), при котором на дно тигля загружается слиток бронзы, а сверху засыпается расчетное количество чугунных гранул, является более предпочтительным, так как позволяет эффективнее осуществлять пропитку чугунных гранул жидкой бронзой. Кроме того, облегчается удаление газов в процессе формирования композита.

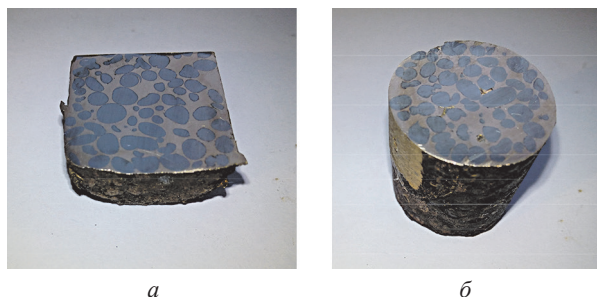


Рис. 3. Макроструктура образца композита с крупными чугунными гранулами на продольном (а) и поперечном (б) срезах

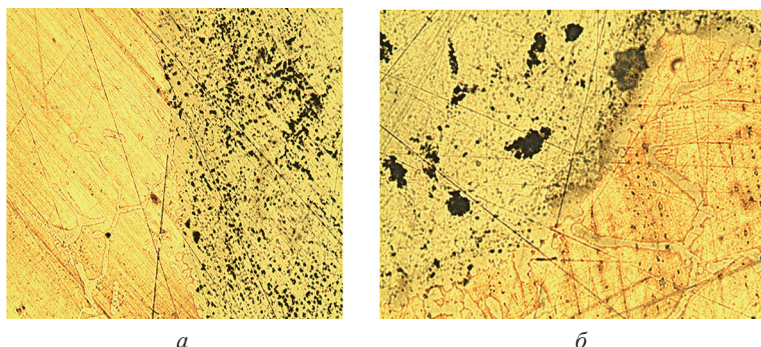


Рис. 4. Микроструктура образца композита с крупными (а) и мелкими (б) чугунными гранулами. х200

Был также апробирован вариант, при котором в процессе пропитки осуществляли дополнительную подпрессовку армирующих чугунных гранул, используя керамический поршень в верхней части кварцевой ампулы (рис. 2, б). Это позволило ускорить процесс формирования композита и увеличить коэффициент наполнения, а также уменьшить избыток бронзы, тем самым, обеспечив необходимую плотность матрицы. Были изготовлены опытные образцы композитов с использованием чугунных гранул различных фракций, полученных на лабораторной установке БНТУ.

Для оценки эффективности процесса полученные образцы композита разрезали в продольном и поперечном направлениях. На полученных срезах изучали макроструктуру композитов (рис. 3, а, б). Из рисунка видно, что армирующие чугунные гранулы крупной фракции равномерно распределены в объеме образца. Аналогичная картина наблюдалась при анализе макроструктуры в композитах, содержащих чугунные гранулы мелкой фракции.

Из рис. 4 видно, что в микроструктуре армирующих гранул четко просматривается графитная фаза, которая образовалась в результате отжига чугуна в процессе их пропитки жидкой бронзой при температуре 1080 °С. Такая структура характерна для ковкого чугуна, являющегося хорошим конструкционным материалом. Наличие такой структуры в армирующем материале композита обеспечит более высокие эксплуатационные характеристики материала.

Проведенные исследования позволили определить режимы синтеза износостойкого композиционного материала с макрогетерогенной структурой для подшипников скольжения, который характеризуется высокими физико-механическими и триботехническими свойствами при работе в условиях удельных нагрузок до 450 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин В. Г., Терентьев Н. А., Перфильева А. И. Литые металломатричные композиционные материалы электротехнического назначения // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2014. Vol. 4. No 7. P. 416–423.
2. Макрогетерогенные композиты, армированные гранулами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://metal-archival.ru/litye-materialy/103-makrogeterogennye-kompozity-armirovannye-granulam.html>. Дата доступа: 16.01.2018.
3. Луц А. Р., Галочкина И. А. Алюминиевые композиционные сплавы – сплавы будущего. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013.
4. Кобзарь Ю. В., Калининко А. С., Воронов Е. О. Опыт применения композиционных материалов с макрогетерогенной структурой для нормализации тепломеханического состояния паровых турбин // Энергетика. Изв. вузов и энерг. объединений. 2013. № 3. С. 79–86.
5. Калининко А. С., Шейнерт В. А., Слущкий А. Г., Калининко В. А. Влияние условий получения быстроохлажденных гранул на основе железа на свойства композиционных материалов, формируемых литейной технологией // Литье и металлургия. 2017. № 1. С. 136–142.

6. Калининченко А. С., Слуцкий А. Г., Шейнерт В. А., Калининченко В. А., Киселев С. В. Особенности получения медно-чугунных композитов с использованием литейных технологий // *Металлургия: Респуб. межведомственный сб. науч. тр. Минск: БНТУ, 2017. Вып. 38. С. 101–105.*

REFERENCES

1. Babkin V. G., Terent'ev N. A., Perfil'eva A. I. Litye metallomatrixnye kompozicionnye materialy jelektrotehnicheskogo naznachenija [Cast metal-matrix composite materials for electrical purposes]. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2014, Vol. 4, no. 7, pp. 416–423.
2. Makroheterogennye kompozity, armirovannye granulami [Macroheterogeneous composites reinforced with granules]. <http://metal-archive.ru/litye-materialy/103-makroheterogennye-kompozity-armirovannye-granulami.html>.
3. Luts A. R., Galochkina I. A. *Aljuminievye kompozitsionnye splavy – splavy budushhego* [Aluminum composite alloys – alloys of the future]. Samara, Samarskij gosudarstvennyj gosudarstvennyj tehnikeskij universitet Publ., 2013, 82 p.
4. Kobzar' Ju. V., Kalinichenko A. S., Voronov E. O. Opyt primeneniya kompozicionnyh materialov s makroheterogennoj strukturoj dlja normalizacii teplomehanicheskogo sostojanija parovyh turbin [Experience in the use of composite materials with a macroheterogeneous structure for normalizing the thermal mechanical state of steam turbines.]. *Energetika. Izvestija Vuzov i energeticheskikh ob'edinenij SNG = Power engineering. Izvestiya of Higher Educational Institutions and Energy Associations of the CIS*, 2013, no. 3, pp. 79–86.
5. Kalinichenko A. S., Shejnert V. A., Sluckij A. G., Kalinichenko V. A. Vlijanie uslovij poluchenija bystroohlazhdennyh granul na osnove zheleza na svojstva kompozicionnyh materialov, formiruemyh litejnoj tehnologiej [Influence of the conditions for obtaining fast-cooled iron-based granules on the properties of composite materials formed by foundry technology]. *Lit'e i metallurgija = Foundry and metallurgy*, 2017, no. 1, pp. 136–142.
6. Kalinichenko A. S., Sluckij A. G., Shejnert V. A., Kalinichenko V. A., Kiselev S. V. Osobennosti poluchenija mednochugunnyh kompozitov s ispol'zovaniem litejnyh tehnologij [Features of obtaining copper-copper composites using foundry technologies]. *Metallurgija: Respublikanskij mezhdomestvennyj sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific papers*, Minsk, BNTU Publ., 2017, Vyp. 38, pp. 101–105.