

**ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И АРМИРУЮЩИХ
ГРАНУЛ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ
СПЛАВОВ**

В.А. ШЕЙНЕРТ, А.С. КАЛИНИЧЕНКО, д-р техн. наук,
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук, **В.А. КАЛИНИЧЕНКО**, канд. техн.
наук, **П.Д. ХОРОЛЬСКИЙ**
Белорусский национальный технический университет

В статье представлены результаты исследований технологических особенностей получения литых композиционных материалов на основе меди и армирующих гранул из легированных сплавов на основе железа. Разработана методика осадительного покрытия поверхности чугуновых гранул слоем меди толщиной 20–30 мкм из раствора, что позволило обеспечить необходимый показатель дефектности готового композита. Изготовлены опытные образцы композиционных материалов, проведен анализ микроструктуры и фазового состава.

Ключевые слова: литые композиционные материалы, методика осадительного покрытия, показатель дефектности композита, микроструктура.

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL MODES
FOR PRODUCING CAST COMPOSITE MATERIALS BASED
ON COPPER AND REINFORCING GRANULES
FROM ALLOYED WEAR-RESISTANT ALLOYS**

V.A. SHEINERT, A.S. KALINICHENKO, Dr. of Engineering Sciences,
A.G. SLUTSKY, Ph. D in Technical Sciences, **V.A. KALINICHENKO**,
Ph. D in Technical Sciences, **P.D. KHOROLSKY**
Belarusian National Technical University

The article presents the results of research on the technological features of obtaining cast composite materials based on copper and reinforcing granules from alloyed iron-based alloys. A technique has been developed for precipitating the surface of cast iron granules with a layer of copper 20–30 μm thick from

the solution. This made it possible to provide the necessary indicator of defectiveness of the finished composite. Prototypes of composite materials have been made, and microstructure and phase composition have been analyzed.

Keywords: *cast composite materials, deposition coating technique, composite defectiveness index, microstructure.*

Ранее выполненные экспериментальные исследования показали перспективность получения композиционных материалов с использованием литейной технологии [1–3].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований по разработке методики и технологических особенностей получения композиционных сплавов на основе меди с использованием армирующих гранул из легированных износостойких сплавов. Для получения легированных армирующих гранул выбраны композиции из трех характерных групп износостойких сплавов: графитированная сталь, легированный белый чугун, инвертированный чугун. Из первой группы была выбрана характерная графитированная сталь, содержащая 1,6–1,8 % углерода, 2,2–2,4 % кремния, 0,6–0,7 % марганца, 0,8–1,0 % меди, 0,22–0,25 % алюминия и до 0,025 % серы. Вторая группа представлена комплексно-легированным белым чугуном, содержащим 2,7–3,0 % углерода, 1,0–1,5 % кремния, 3,0–4,0 % марганца, 7–11 % хрома, 6–9 % ванадия и до 0,05 % серы. Из инвертированных чугунов выбран типичный представитель – ванадиевый чугун состава: 2,3–2,5 % углерода, 1,8–2,2 % кремния, до 0,7 % марганца, 1,0–1,5 % меди, 7–9 % ванадия и до 0,025 % серы.

Для получения гранул из вышеуказанных сплавов была модернизирована установка, предназначенная для гранулирования серого чугуна, так как температуры плавки графитированной стали, легированного белого чугуна, инвертированного ванадиевого чугуна составляют 1500–1550 °С, что значительно выше, чем для серого чугуна. Кроме того интервал кристаллизации таких чугунов более узкий и для сохранения необходимой для гранулирования жидкотекучести использован подогреваемый металлоприемник с нихромовым нагревателем, позволяющим доводить температуру рабочего пространства до 900 °С. Вследствие повышенной технологической

вязкости таких сплавов в процессе разливки частоту вращения разбрызгивающего ротора увеличили до 1200 об/мин.

Полученные гранулы просушивались и рассеивались на три фракции более 3 мм, 1–3 мм, менее 1 мм. Для изготовления литых композитов использовалась фракция 1–3 мм. Характерная структура легированного белого чугуна после гранулирования в воду приведена на рисунке 1. Характерная форма первичных карбидов, растущих совместно с дендритами аустенита показана на рисунке 1, *а*, *б*, *в*. На рисунке 1, *г* приведена фотография эвтектических колоний, которые составляют основу матрицы сплава.

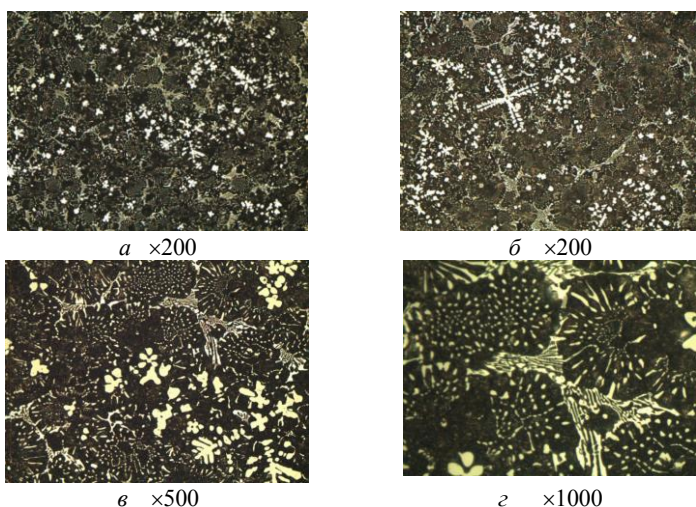


Рисунок 1 – Микроструктура гранул из белого легированного чугуна

Для улучшения смачивания гранул матричным сплавом использовалась бронза БрКМц 3-1 («эвердур»). Для флюсования применялась бура (тетраборат натрия), растворенная в воде при температуре 60 °С в пропорции 0,03 кг буры на 0,1 л воды. Гранулы смачивались раствором, затем быстро переносились в сушило с температурой 250 °С и в процессе сушки перемешивались до полного удаления кристаллизационной влаги и после полного охлаждения помещались в эксикатор с прокаленным силикагелем.

Получение литых композиционных сплавов осуществлялось по ранее разработанной методике [4] с верхним керамическим поршнем в кварцевой трубке внутренним диаметром 25 мм. Температура пропитки свободно насыпанного слоя гранул матричной бронзой составляла 1150 °С и поддерживалась с помощью компьютерной программы через интерфейс RS 232. Процесс проводился в графитовом трубчатом нагревателе, разогреваемом током высокой частоты от установки УИН 30-8-50. Анализ структуры полученного композита производился на разрезах заготовок. Осуществляли просмотр микроструктуры гранул, который показал, что фазовый состав используемых сплавов практически не изменился вследствие скоротечности процесса получения композита по режиму: нагрев – 5 мин, пропитка и выдержка 1 мин, охлаждение с тиглем 30 мин.

Структура ванадиевого инвертированного чугуна не изменилась, а в структуре белого комплексно-легированного чугуна наблюдалось некоторое сокращение количества карбидов (10–15 %) от начального состояния. Более значительные изменения произошли в структуре графитированной стали. Визуально наблюдаемое количество графитных включений в поле шлифа сократилось примерно с 4 до 2 %. Это связано с переходом данного сплава в аустенитную зону при температуре нагрева 1050 °С даже на короткое время, приводящее к значительному растворению графита в аустените. Обратное выделение углерода при охлаждении было несимметричным вследствие недостатка времени.

Но, несмотря на этот негативный факт, анализ литературы показал, что износные показатели графитированной стали меняются не критично для служебных свойств композита, полученного с ее использованием.

Анализ полученных композитов на прочность сцепления матрицы с гранулами производился по сравнительной методике, основанной на визуальной фиксации отрыва матрицы от гранул при осаждении цилиндрических заготовок диаметром 25 мм и высотой 40 мм на прессе до высоты 50 % от начальной. За эталон принимался композит с гранулами из серого чугуна, относительный показатель которого принимался за единицу. Относительный показатель дефектности испытываемых заготовок (Д) рассчитывался по формуле:

$$Д = 1 - K_2 - K_1/10, \quad (1)$$

где K_2 – количество дефектов в структуре исследуемого композита, видимое в поле бинокулярного микроскопа (*9) на срезе деформированной заготовки при случайной выборке 10 гранул; K_1 – количество дефектов эталона (как правило 1–2) принимаем 2; 10 – случайная выборка гранул.

В результате анализа на дефектность структур литых композитов получили следующие данные: для графитизированной стали $D = 1,1$; комплексно-легированного белого чугуна $D = 0,5$, ванадиевого инвертированного чугуна $D = 0,8$.

Полученные результаты объясняются следующим образом. Графитизированная сталь смачивается матричным «эвердуром» легче, чем серый чугун за счет меньшего количества свободного графита в структуре, а инвертированный чугун смачивается труднее за счет образования на его поверхности при нагреве продуктов окисления, в основном ванадия. Легированный белый чугун с хромом смачивается расплавами достаточно плохо за счет плотной пленки двуокиси хрома на поверхности. Прочность композита на основе таких гранул будет, по-видимому, низкой в условиях высоких удельных нагрузок в парах трения. При этом выкрашивание гранул из матрицы вполне вероятно.

С целью устранения недостатков технологии получения литых композитов, основанной на методике мокрого флюсования, решено применить предварительное плакирование гранул слоем меди. Для этого разработана методика осадительного покрытия поверхности слоем меди толщиной 20–30 мкм из раствора. Данный способ широко применяют для электро-химического меднения в промышленности, с той разницей, что травление поверхности совмещают с процессом осаждения в непрерывном последовательном цикле.

На первой стадии гранулы травят 5 % раствором серной кислоты при 60 °С в течение 60 мин, затем раствор вместе с гранулами охлаждается до комнатной температуры и к нему приливается медьсодержащий электролит на основе CuSO_4 и этилового спирта. Анодом в процессе плакирования служила медная фольга в виде цилиндра, а катодом – нержавеющая пластина с нанесенной на нее слоем дроби диаметром 10 мм. При постоянном перемешивании дроби стеклянной палочкой и плотности тока (100–200 A/m^2) за 16 мин осаждался слой меди (20–30 мкм), затем процесс прекра-

шался, гранулы промывались в проточной воде и флюсовались по вышеприведенному режиму.

Композиты с плакированными медью гранулами изготавливались при тех же режимах. В результате показатель дефектности заготовок с использованием гранул из комплексно-легированного белего чугуна оказался равным $D = 0,8$, что вполне приемлемо.

Таким образом представляется возможность получить материал с равномерным распределением упрочняющей фазы (дроби), полностью окруженной матричной фазой (бронзой), что значительно увеличит общую прочность композиционного материала. По результатам выполненных исследований была подана заявка и получен Евразийский патент [5].

Список литературы

1. Влияние условий получения быстроохлажденных гранул на основе железа на свойства композиционных материалов, формируемых литейной технологией / А.С. Калиниченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2017. – № 1 (86). – С. 136–142.

2. Технологические принципы получения композиционных материалов на основе сплавов меди, упрочненных быстроохлажденными чугунными гранулами / А.С. Калиниченко [и др.] // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2018. – Вып. 39. – С. 90–94.

3. Особенности изготовления композиционного материала с макронеоднородной структурой с применением магнитных полей / А.С. Калиниченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – № 1 (90). – С. 124–127.

4. Совершенствование технологии получения быстроохлажденных армирующих чугунных гранул для композитов / В.А. Шейнерт [и др.] // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2019. – Вып. 40. – С. 95–101.

5. Способ изготовления композиционного материала с макронеоднородной структурой: пат. 033554 ЕАПВ: МПК (2006.01) C22C1/04, C22C47/08, C22C47/12, C22C49/04 / А. С. Калиниченко [и др.]; заявитель Белорусский национальный технический университет; дата публ.: 2019.10.31.

References

1. Vliyanie uslovij polucheniya bystroohlazhdennyh granul na osnove zheleza na svoystva kompozicionnyh materialov, formiruemyh litejnoj tekhnologiej [Influence of conditions for obtaining fast-cooled iron-based granules on the properties of composite materials formed by casting technology] / A.S. Kalinichenko [et al.] // *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. – 2017. – No. 1(86). – P. 136–142.

2. Tekhnologicheskie principy polucheniya kompozicionnyh materialov na osnove splavov medi, uprochnennyh bystroohlazhdennymi chugunnyimi granulami [Technological principles for obtaining composite materials based on copper alloys, hardened by fast-cooled cast iron granules] / A.S. Kalinichenko [et al.] // *Metallurgiya: respublikanskij mezhdovedomstvennyj sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: republican interdepartmental collection of scientific papers*. – Minsk: BNTU Publ., 2018 – Vyp. 39. – P. 90–94.

3. Osobennosti izgotovleniya kompozicionnogo materiala s makroeterogennoj strukturoj s primeneniem magnitnyh polej [Features of manufacturing a composite material with a macroheterogeneous structure using magnetic fields] / A.S. Kalinichenko [et al.] // *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2018. – No. 1(90). – P. 124–127.

4. Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya bystroohlazhdennyh armiruyushchih chugunnyh granul dlya kompozitov [Improvement of the technology for obtaining fast-cooled reinforcing cast iron granules for composites] / V.A. Sheinert [et al.] // *Metallurgiya: respublikanskij mezhdovedomstvennyj sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: republican interdepartmental collection of scientific papers*. – Minsk: BNTU Publ., 2019. – Vyp.40. – P. 95–101.

5. Kalinichenko, A.S. [at al.]. *Sposob izgotovleniya kompozicionnogo materiala s makroeterogennoj strukturoj* [A method of manufacturing a composite material with a macroheterogeneous structure]: patent No.033554 EAPO, MPK (2006.01) S22 S1/04, S22S47/08, S22S47/12, S22S49/04.

Поступила 28.08.2020

Received 28.08.2020