

А.С. КАЛИНИЧЕНКО, д-р техн.наук,
В.А. ШЕЙНЕРТ,
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук
В.А. КАЛИНИЧЕНКО, канд. техн. наук,
В.А. СТЕФАНОВИЧ, канд. техн. наук
С.В. КИСЕЛЕВ (БНТУ)

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНО-ЧУГУННЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Армированные литые композиционные материалы (КМ) находят все более широкое применение в различных отраслях промышленного производства. В настоящее время хорошо развиты теоретические основы механики армированных композиционных материалов, существенные успехи достигнуты в материаловедении. Однако имеется еще много проблем, связанных с выбором оптимальной технологии, обеспечивающей достижение на практике предсказываемых теорией свойств композитов, управление межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и свойств КМ, с разработкой новых видов армирующих элементов, позволяющих поднять уровень эксплуатационных характеристик композита [1–3].

Композиционные материалы на основе меди разрабатывают, главным образом, триботехнического назначения, так как они обладают повышенными антифрикционными свойствами.

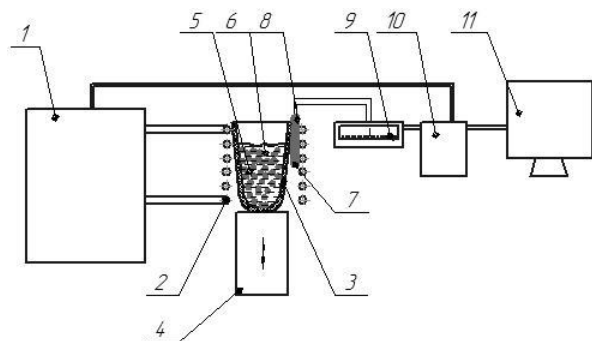
Для макрогетерогенных композиционных материалов, применяемых в узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего элемента. Если в качестве армирующего элемента, в основном, используются литые гранулы стали ШХ15 или литейная чугунная дробь марки ДЛЧ диаметром порядка 1 мм, то в отношении состава матрицы имеется широкий спектр подходящих материалов, которые удовлетворяют поставленной задаче (повышенная прочность на сжатие, низкий коэффициент трения, высокая износостойкость и контактная выносливость).

В работе представлены результаты экспериментальных исследований технологических особенностей получения композиционных

материалов на основе бронзы и чугунных гранул с использованием управляемой индукционной плавки.

С этой целью был разработан комплексный аппарат для управления процессом нагрева и избирательной плавки компонентов через интерфейс RS232. Он позволяет регулировать параметры работы инвертора, контролируя температуру в зоне нагрева и плавления с использованием термопары ПР10. Предварительно был проведен термический анализ бронзы, используемой в качестве матрицы в исследуемом композите, и установлена температура ликвидуса, которая для данного сплава составила 1006 °С. Исходя из этого показателя, была принята рабочая температура процесса 1080 °С, которая находится между температурой солидус для железоуглеродистого сплава – армирующего компонента (примерно 1150 °С) и температурой ликвидус для бронзовой основы.

Аппаратный комплекс позволяет эффективно управлять процессом нагрева исходных компонентов до температуры плавления бронзы, осуществлять пропитку полученной жидкой фазой армирующих железоуглеродистых гранул в течение заданной выдержки, а также удалять образовавшиеся газы в процессе охлаждения композита по заданному режиму. Схема управления процессом получения композитов представлена на рисунке 1.



- 1 – высокочастотная индукционная установка; 2 – водоохлаждаемый индуктор; 3 – тигель; 4 – подвижный стол; 5, 6 – шихта; 7 – термопара ПР10; 8 – кварцевый наконечник; 9 –электронный термометр; 10 – коммутатор; 11 – компьютер

Рисунок 1 – Схема управления процессом плавки на высокочастотной индукционной установке

По разработанной методике выполнена серия экспериментов получения композитов. В качестве шихты использовали компактные слитки бронзы и чугунные гранулы различных фракций в требуемых соотношениях. Варианты загрузки исходных материалов и общий вид полученного композита представлен на рисунке 2.

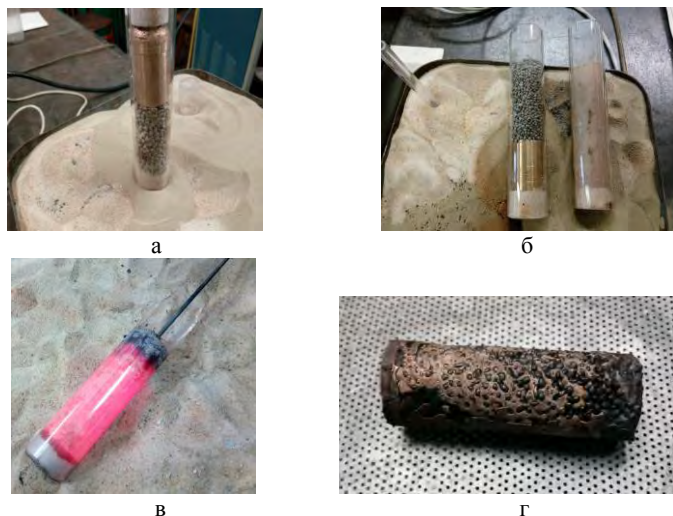


Рисунок 2 – Варианты загрузки шихтовых материалов (а, б), кварцевая ампула с поршнем для проведения процесса (в) и общий вид полученного композита (г)

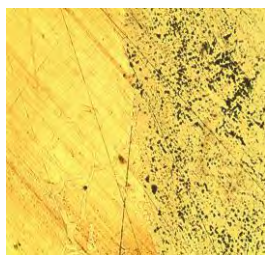
По первому варианту (рисунок 2, а) цилиндрический слиток бронзы располагался в верхней части кварцевой ампулы над слоем предварительно засыпанных чугунных гранул, а по второму наоборот – вначале загружали бронзу, а затем засыпали расчетное количество чугунных гранул. Эксперименты показали, что второй вариант загрузки шихты является более предпочтительным, так как это позволяет эффективнее осуществлять пропитку чугунных гранул жидкой бронзой. Кроме того облегчается удаление газов в процессе формирования композита. Однако при расчетном соотношении бронзовой матрицы и чугунных гранул (1:1) выявились газоусадочные дефекты в готовом композите, что вызвало необходимость увеличения количества бронзы на 10–15 %, излишки которой удалялись в возвратные отходы.

Был апробирован вариант, при котором в процессе пропитки осуществляли дополнительную подпрессовку армирующих чугунных гранул, используя керамический поршень в верхней части кварцевой ампулы (рисунок 2, в). Это позволило ускорить процесс формирования композита и увеличить коэффициент наполнения, а также уменьшить избыток бронзы для получения необходимой плотности матрицы. Были изготовлены опытные образцы композитов с использованием, как мелких серийных, так и крупных (3–4 мм) чугунных гранул, полученных на установке БНТУ.

Для оценки эффективности процесса полученные образцы композита разрезали в продольном и в поперечном направлениях. При этом на продольных срезах изучали его макроструктуру, а на поперечных – микроструктуру. Полученные результаты исследований представлены на рисунках 3, 4.



а – продольный срез

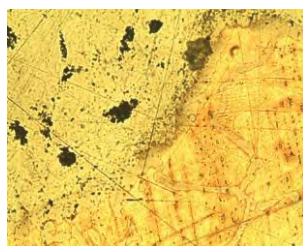


б – $\times 200$

Рисунок 3 – Макроструктура (а) и микроструктура (б) образца композита с крупными чугунными гранулами



а – продольный срез



б – $\times 200$

Рисунок 4 – Макроструктура (а) и микроструктура (б) образца композита с мелкими чугунными гранулами

Из фотографий видно, что армирующие композит чугунные гранулы равномерно распределены по высоте, а в микроструктуре четко просматривается графитная фаза, которая образовалась за счет отжига гранул в процессе их пропитки при температуре 1080 °С. Такая структура характерна для ковкого перлитного чугуна, являющегося хорошим конструкционным материалом. Наличие такой структуры в армирующем материале композита обеспечит его высокие эксплуатационные характеристики.

На основании полученных результатов подана патентная заявка на способ изготовления износостойкого композиционного материала с макрогетерогенной структурой для подшипников скольжения, обеспечивающего высокие физико-механические и триботехнические свойства при работе в условиях удельных нагрузок до 450 МПа.

Литература

1. Кезик, В.Я. Формирование структуры поверхностного объема литых макрогетерогенных композиционных материалов в условиях низкоскоростного трения без смазки / В.Я. Кезик, А.С. Калиниченко, Р.К. Иванова // *Литье и металлургия*. – 2003. – № 2. – С. 118–123.

2. Особенности получения макрогетерогенных композиционных материалов методами индукционной плавки, их структура и свойства / В.А. Калиниченко [и др.] // *Литье и металлургия*. – № 4. – 2015. – С. 146–150.

3. 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. – С. 136–143.