

С учетом полученных предварительных результатов и применительно к конкретной вакуумно-электродуговой испарительной установке в дальнейшем планируется отработка совмещенного литейно-деформационного технологического процесса получения опытных образцов катодов-мишеней из комплексных силицидов.

Список литературы

1. Исследование процесса получения сплавов металл-кремний для изготовления катодов-мишеней / И.А. Иванов [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., Минск 14–16 сентября 2016 г. / ФТИ НАН Беларуси. – Минск, 2016.

2. Особенности получения силицидов для изготовления катодов-мишеней / А.И. Иванов [и др.] // Metallurgia: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2016. – Вып. 37. – С. 98–103.

3. Технологические особенности получения силицидов на основе меди, никеля и титана для катодов-мишеней / И.А. Иванов [и др.] // Metallurgia: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38. – С. 84–90.

4. Получение катодов-мишеней из силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И. А. Иванов [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – № 2 (91). – С. 99–102.

УДК 669

В.А. ШЕЙНЕРТ,
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
В.С. КАЛИНИЧЕНКО, канд. техн. наук,
Е.Г. ИВАНОВСКИЙ (БНТУ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРООХЛАЖДЕННЫХ АРМИРУЮЩИХ ЧУГУННЫХ ГРАНУЛ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ

Для макронеоднородных композиционных материалов, получаемых методами литья и применяемых в тяжелонагруженных узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего эле-

мента. При этом в качестве армирующего элемента в основном используются литые гранулы стали и чугуна. Это позволяет не только снизить стоимость подшипников скольжения, но и обеспечить широкий уровень физико-механических и эксплуатационных свойств за счет управления их структурой, которая чувствительна к режимам термообработки.

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

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по совершенствованию способа получения армирующих гранул.

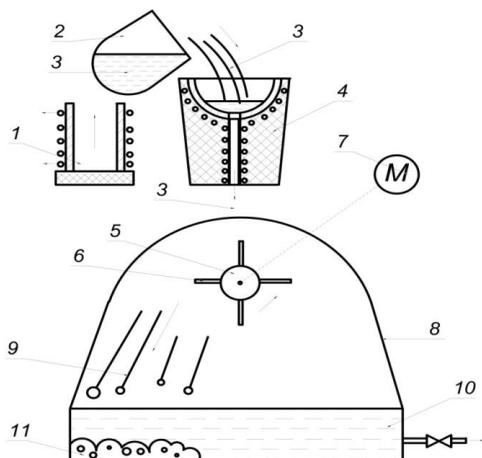
В качестве объекта изучения был выбран композиционный материал на основе высокопрочной марганцовистой бронзы типа БрКМц3-1 и армирующих гранул из серого чугуна. Наличие в бронзе кремния и марганца обеспечивают надежный контакт с армирующим материалом, например, чугунными гранулами, за счет их химического взаимодействия с оксидными пленками железа в процессе пропитки композита жидкой бронзой.

Анализ способов получения гранулированных материалов показал, что применительно к сплавам на основе железа наиболее приемлемым вариантом является разбрызгивание жидкого металла под действием центробежных сил. Данная схема была положена в основу лабораторной установки, на которой отрабатывались технологические режимы гранулирования чугуна и изготавливались опытные образцы материала в малых объемах (рисунок 1).

По такой технологической схеме была изготовлена лабораторная установка и выполнены эксперименты по отработке режимов гранулирования чугуна. Были подобраны необходимые шихтовые материалы для получения исходного жидкого чугуна следующего химического состава (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетный состав базового чугуна

C	Si	Mn	S	P	Cr
2,7	1,1	0,2	0,09	0,06	до 0,04



- 1 – плавильная печь; 2 – тигель для разливки; 3 – жидкий чугун; 4 – обогреваемый металлоприемник; 5 – ротор диспергатора; 6 – диспергирующая лопатка; 7 – приводной электродвигатель; 8 – защитный кожух; 9 – поток капель чугуна; 10 – охлаждающий бак; 11 – чугунные гранулы

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для получения армирующих чугунных гранул в малых объемах

Плавка осуществлялась на высокоскоростной индукционной установке по методике, описанной в работе [4]. После расплавления шихтовых материалов, доводки чугуна по химическому составу, тигель 2 извлекался из индуктора плавильной установки 1 и затем осуществлялась разливка жидкого металла. Конструкцией установки предусмотрен обогреваемый металлоприемник 4 позволяющий равномерно подавать жидкий чугун через калиброванную трубку на диспергирующие лопатки 6 которые расположены на роторе 5 приводного электродвигателя 7. Образующийся поток капель чугуна 9 попадает в охлаждающий бак 10, где окончательно формируются гранулы 11.

Режим гранулирования чугуна: частота вращения ротора 1000 об/мин, материал лопатки – электродный графит, длина свободного пролета капель – 80 см, глубина охлаждающего бака – 50 см. По такому режиму балы изготовлена партия чугунных гранул. В таблице 2 представлен фракционный состав полученного материала.

Таблица 2 – Гранулы, полученные из базового чугуна

Фракция	Размер фракции, мм	Количество фракции, %	Примечание
		8–5	33,2
	5–3	34,5	пригодна
	3–2	17,3	пригодна
	2–1	11,9	пригодна
	менее 1	3,1	не пригодна
	скрап сверх 100 %	17,0	

Установлено, что выход годных фракций для изготовления композиционных антифрикционных материалов составил 63,7 % от веса полученной дроби и 54,5 % от веса жидкого металла. Этот результат является удовлетворительным для лабораторного использования разработанного способа гранулирования сплавов.



Рисунок 2 – Общий вид различных фракций чугуновых гранул

Округлость частиц полученных гранул характеризовалась фактором формы K_{ϕ} , определенным как отношение наименьшего d размера гранулы к наибольшему D по результату среднего арифметического 15–20 измерений:

$$K_{\phi} = \frac{d}{D}.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таким образом, можно заключить, что вся дробь, отлитая из модельного чугуна, имеет округлую форму, а основные фракции (5–3, 3–2, 2–1 мм), используемые для изготовления антифрикционных композитов, близки к сферической форме.

Таблица 3 – Расчетные значения фактора формы (K_{ϕ})

Фракция	Размер фракции, мм	K_{ϕ}
	8–5	0,56
	5–3	0,74
	3–2	0,87
	2–1	0,95
	менее 1	0,99

В дальнейшем на лабораторной установке были отлиты опытные образцы гранул из износостойких легированных чугунов. Из множества составов таких сплавов были выбраны те, которые не претерпевали структурных превращений при термовременных условиях получения композитов. Это износостойкий хромоникелевый мартенситный чугун марки ЧХ9Н5. В литом состоянии он имеет мартенситно-аустенитную матрицу, может сохранить ее даже после нагрева до 1150 °С при синтезе композита и после медленного охлаждения готовой заготовки за счет подавления перлитного превращения при содержании в его химическом составе никеля более 4,0 %. Твердость такого чугуна лежит в пределах 500–600 НВ, что позволяет в полной мере реализовать принцип Шарпи в композите бронза «эвердур» – чугун ЧХ9Н5. Однако такой антифрикционный материал можно использовать только в паре с закаленным валом из-за высокой твердости матрицы чугуна.

Следующим материалом, позволяющим композитам на основе бронз БРКМц 3–1 и БрКН 1–3 эксплуатацию в паре с сырым валом, является высокованадиевый износостойкий чугун с инвертированной структурой, содержащий ~ 2,5 % С и 8–9 % V при содержании Mn и Si в пределах 0,5 %. Такой чугун в процессе синтеза композитов приобретает феррита-перлитную, перлитную или бейнитную матрицу в зависимости от скорости охлаждения заготовки с твердостью не выше 300 НВ и относительным удлинением 3–8 %. При этом прочность чугуна в гранулах составляет 500–700 МПа, что в перспективе позволит осуществить теплую обработку давлением готовых композиционных заготовок на основе однофазных бронз и латуней с целью увеличения плотности и придания окончательной геометрии, а также для запрессовки в опорные корпуса. Важным свойством ванадиевых инвертированных чугунов является возмож-

ность работы в условиях сухого трения без схватывания и задиrow при минимальном износе.

Третьим армирующим материалом, принципиально отличным от выше приведенных, является сталь 75Х6Г7. Являясь относительно мягким и пластичным материалом (250–300 НВ, $\delta > 10\%$), эта сталь склонна к деформационному мартенситному превращению в процессе изнашивания, что значительно увеличивает ее твердость, прочность и износостойкость.

Для получения структуры с метастабильным аустенитом такую сталь необходимо закаливать с температур не ниже 1150 °С с высокими скоростями, но так как литая дробь уже имеет такую структуру, нагрев под такую закалку может быть очень кратковременным, что имеет место при получении композитов как раз при $t = 1150\text{ °С}$. Закалка такого композита с твердожидкого состояния прямо в форме даст сверхпластичный материал с относительным удлинением матрицы до 50 % и упрочняющей фазой (дробь из «МАС» – стали) до 15 %. Эти свойства позволят осуществить холодную прокатку исходной заготовки с большими обжатиями. Такая обработка позволит регулировать соотношение площадей матрицы и наполнителя в рабочей плоскости трения за счет вытяжки заготовки в направлении прокатки.

Таким образом, представляется возможность получать материал с равномерным распределением упрочняющей фазы (дробь), полностью окруженной матричной фазой (бронзой), что значительно увеличит общую прочность композиционного материала.

Заключение

1. Разработана усовершенствованная технологическая схема получения чугунных гранул для армирования композитов.

2. Изготовлена лабораторная установка, отработаны технологические режимы гранулирования высокоуглеродистых сплавов и получены опытные образцы материала.

3. Исследован фракционный состав и на основании этого рассчитан коэффициент округлости армирующих чугунных гранул.

4. Подобраны составы износостойких железоуглеродистых сплавов для изготовления на их основе армирующих гранул с последующим использованием при получении композитов (износостойкий

хромоникелевый мартенситный чугун марки ЧХ9Н5, высокованадиевый износостойкий чугун с инвертированной структурой, «МАС» сталь 75Х6Г7).

Список литературы

1. Способ получения быстроохлажденных гранул на основе железа / В.А. Шейнерт [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 377.

2. 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.

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

4. 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.