

риалы и технологии порошковой металлургии», Минск, 19–20 марта 1997. Минск: НИИ ПМ с ОП, 1997. – С. 106–107.

10. Валькович, И.В. К вопросу получения двухслойных пористых материалов методом прессования / И.В. Валькович, Р.А. Кусин, А.Н. Сорокина // Порошковая металлургия. – Минск: Кибер, 1995. – Вып. 18. – С. 64–69.

11. Кусин, А.Р. Повышение эффективности двухслойных порошковых проницаемых материалов / А.Р. Кусин, И.Н. Черняк // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы респ. науч.-техн. конф. – Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2005. – С. 100.

12. Витязь, П.А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин. – Минск: НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.

**Abstract.** The method for calculating the permeability of two-layer powder filtering materials with the overlap zone is given. The negative influence of the overlap zone is shown and the possibility of compensating for this effect by reducing the thickness of the fine-dispersed layer is confirmed.

УДК 501.22:621.763

**Андрушевич А.А.**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент;  
**Калиниченко В.А.**<sup>2</sup>, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий лабораторией

<sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

## **ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАТРИЦЕЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ**

**Аннотация.** В статье приведены сведения о влиянии ряде особенностей получения композиционных материалов с макрогетерогенной структурой. Рассмотрены особенности получения струк-

*турных составляющих материалов данного типа и ожидаемых свойств.*

**Введение.** Литые композиционные материалы (ЛКМ) нашли применение в различных отраслях промышленного производства [1-3]. Однако имеется ряд проблем, связанных с выбором оптимальной технологии их синтеза, решение которых обеспечит достижение на практике предсказываемых теорией свойств композиционных материалов, управление межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и их свойств, разрабатываемых, главным образом, для триботехнического применения, так как они обладают повышенными антифрикционными свойствами благодаря реализации принципа Шарпи [4].

**Основная часть.** Применение литейной технологии для синтеза композиционных материалов с макрогетерогенной структурой (КММС) позволяет снизить стоимость продукции и получать детали различной конфигурации. Наиболее часто КММС получают путем пропитки металлическим сплавом армирующего каркаса. Реже применяется замешивание армирующих элементов в матричный расплав. Процесс пропитки можно реализовать одним из следующих способов: пропитка с кристаллизацией под давлением, литье под давлением, литье в кокиль. Литье в кокиль относится к жидкофазному методу совмещения и при организации масштабного производства обладает определенными преимуществами, так как не требует сложного оборудования и позволяет получать отливки значительной массы и различной геометрии.

Технологическая схема получения композиционных материалов методом литья включает следующие операции: 1. подготовка компонентов (калибровка, подготовка поверхности армирующих элементов); 2. подготовка матричного сплава; 3. размещение армирующих элементов в форме; 4. нагрев формы; 5. заливка металлическим сплавом, пропитка; 6. выдержка в форме, охлаждение и выемка из формы; 7. термическая и механическая обработка композиционных изделий [2].

Структура КММС на макроуровне представляет собой упрочняющие элементы, равномерно распределенные в матрице. Среди факторов, влияющих на их эксплуатационные свойства, существенное значение имеет степень армирования композитов и линейные

размеры армирующих элементов. К армирующим элементам предъявляется ряд требований, среди которых одним из важнейших является фактор формы, равный или больший 0,9. Это обеспечивает ряд преимуществ, в частности, высокую текучесть армирующих элементов при заполнении литейной формы.

Несомненный практический интерес представляет применение для получения КММС в качестве армирующей фазы быстрозакаленных чугуновых гранул. Благодаря чувствительности чугуна к режиму термообработки, возможно, получить композиты с широким диапазоном свойств. Химический состав и температурно-временной режим термической обработки литой дроби являются определяющими в формировании эксплуатационных свойств.

Структуры КММС формируются в результате реализации многостадийных, последовательно и параллельно протекающих процессов, к которым относятся окисление армирующих элементов и расплава матрицы; физико-химическое взаимодействие при контакте твердой и жидкой фаз; диффузионные процессы в твердых фазах; кристаллизация и затвердевание матрицы и др. Для получения ЛКМ высокого качества, надежной взаимосвязи структурных элементов, повышенных эксплуатационных свойств необходимо установление общей закономерности формирования структуры.

В области температур совмещения элементов твердой фазы с жидкой матрицей большинство компонентов КММС являются термодинамически неравновесными, способными вступать между собой в различные реакции на границе раздела фаз.

В системе металл - армирующая фаза – форма протекают гетерофазные процессы, движущей силой которых является наличие градиентов химических потенциалов в различных фазах. Взаимодействие между компонентами может осуществляться на стадии формирования, когда матрица находится в расплавленном состоянии, на стадии затвердевания и охлаждения, при последующих нагревах и деформации в процессе обработки или эксплуатации. Поэтому при рассмотрении видов межфазного взаимодействия целесообразно учитывать конкретные условия, в которых они произошли, поскольку изменение внешних условий или вмешательство в ход реакции может привести к изменению типа взаимодействия на любой из стадии формирования связи [3].

Одним из основных условий формирования КММС является смачивание армирующих элементов расплавом матрицы и заполнение им пор, капилляров и других пустот. Смачивание расплавом приводит к тесному контакту – необходимому условию для развития процессов химического взаимодействия на границе раздела. При смачивании уменьшается межфазное поверхностное натяжение на границе раздела фаз. Исследование скоростей процессов образования связей за счет растворения, диффузии, химической реакции позволяет установить преобладающий вид и классифицировать композиты по этому признаку [1].

Процесс формирования растворно – диффузионного соединения состоит из стадий растворения твердой фазы жидкой, взаимной диффузии атомов твердой фазы и расплава матрицы, выделения из расплава перенасыщающего его компонента. При кристаллизации на поверхности армирующего элемента формируется сплав, близкий по составу сплаву предельного насыщения. Еще одна стадия формирования растворно – диффузионного соединения проходит по механизму твердофазной диффузии после кристаллизации матрицы. Процесс растворения проходит через образование некоторой промежуточной фазы при условии, что скорость ее растворения превышает скорость ее образования. Ускорение растворения элементов армирующей фазы КММС наблюдается после обработки в расплавах флюсов, когда вследствие химической (электрохимической) реакции возможно образование суб-соединения.

Растворение твердой фазы через промежуточное нестабильное соединение должно проходить в области активных центров и иметь периодически повторяющийся характер. При удалении от такого центра скорость растворения должна уменьшаться. Это приводит к появлению пиков и впадин в микрообъемах твердой фазы, к предпочтительному направлению перемещения жидкой фазы по поверхности или вглубь твердой фазы, к последующему направленному росту пересыщенного вердого раствора при кристаллизации матрицы или направленному росту твердой прослойки [1].

Контактное твердо – жидкое плавление происходит с высокой скоростью в результате перехода термодинамической системы твердая фаза – расплав из предельного неравновесного в метастабильное для данных условий состояние. Характерной особенностью такого вида взаимодействия является появление прослойки жидкости с температурой плавления ниже температуры плавления арми-

рующего элемента и матрицы. Дальнейшее взаимодействие твердой и жидкой фаз после контактного плавления протекает по диффузионному механизму.

Необходимо отметить, что процессы, происходящие на границе раздела фаз «армирующие элементы – матрица» являются наиболее важными с точки зрения формирования композитной системы, поскольку они определяют большинство механических свойств.

Экспериментальное установление формирования структуры поверхности раздела фаз, зависимость ее от процессов взаимодействия фаз и затвердевания является важной задачей управления процессом получения КММС с заданными свойствами.

Образцы композиционных материалов отливались в цилиндрических графитовых формах. Температура заливки  $-1100^{\circ}\text{C}$ , температура предварительного нагрева гранул не ниже  $0,8 T_{\text{пл}}$ . Скорость заполнения формы  $5-8\text{ мм/с}$ . Скорость свободного охлаждения отливки от температуры литья до  $800-850^{\circ}\text{C}$  была  $0,15-1,2\text{ К/с}$ . Ускоренное охлаждение отливки особенно от температуры заливки до  $830-860^{\circ}\text{C}$  приводит к формированию структуры матрицы с зернами разной травимости, опирающимися на чугунные гранулы, в которых наблюдается структура подобная обезуглероженному слою.

С увеличением времени выдержки при высоких температурах поверхностный слой гранулы претерпевает изменение, которое тем больше, чем больше время выдержки.

На характер образования прослойки на границе чугунных гранул и матрицы оказывает влияние не только время высокотемпературной выдержки, но и состав матричного сплава. Выявлен характер взаимодействия чугунных гранул с матрицей  $\text{Cu} - 3\%\text{Si} - 1\%\text{Mn}$  (БрК3Мц1) и характер взаимодействия с матрицей  $\text{Cu} - 5,5\%\text{Si}$  (БрК5,5). Сравнение показывает, что при использовании матрицы из бронзы БрК3Мц1 толщина зоны взаимодействия в несколько раз меньше по сравнению с матрицей бронзы БрК5,5.

**Заключение.** Установлено, что качество получаемых ЛКМ определяется такими факторами как правильный выбор состава матрицы и упрочненной фазы применительно к условиям работы, тщательная подготовка используемых материалов. Кроме того, на эффективность жидкофазного совмещения оказывают влияние тепловые параметры процесса (температура расплава и литейной формы).

Список использованных источников

1. Калиниченко А.С., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Калиниченко В.А., Киселев С.В. Особенности получения медночугунных композитов с использованием литейных технологий *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов* – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38– С. 101–105.
2. 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. – № 7. – р. 416–423.
3. Макрогетерогенные композиты, армированные гранулами [Электронный ресурс]. режим доступа: <http://metal-archive.ru/litye-materialy/103-makrogeterogennye-kompozity-armirovannye-granulam.html>. Дата доступа: 16.01.2018.
4. А.А. Андрушевич, В.А. Калиниченко *Литейная технология изготовления деталей сельскохозяйственной техники из композиционных материалов*. // *Мат. МНТК «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК» Минск 7–8 июня 2018 г.* – Минск: БГАТУ, 2018. – 452с., С. 225–228.

**Abstract.** The article presents information on the impact of the number of features of obtaining composite materials with macroheterogeneous structure. The features of obtaining the structural components of materials of this type and the expected properties are considered.

УДК 621.456:642.767.4

**Карташевич А.Н.**, доктор технических наук, профессор;  
**Шапорев В.А.**, аспирант

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь*

**РЕГУЛИРОВКА СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ СИЛОВОЙ  
УСТАНОВКИ ТРАКТОРА ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЯХ  
ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С БИОГАЗОМ**

**Аннотация.** *Одной из основных задач при эксплуатации авто-тракторной техники является разработка мероприятий по защите*