

**Взаимодействие чугунных армирующих  
составляющих с материалом основы при синтезе  
литых композиционных материалов**

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

*Аннотация:*

В работе рассмотрены актуальные подходы применяемые при создании литых композиционных материалов на основе медных сплавов армированных чугунными гранулами. Приведены данные по технологии синтеза композиционных материалов и ряд данных об удельных нагрузках выдерживаемых композитами, показаны структуры в зависимости от времени выдержки.

*Текст доклада:*

Литые композиционные материалы нашли применение в различных отраслях промышленного производства, в частности, для нормализации тепломеханического состояния турбоагрегатов тепловых электростанций [1]. Разработанные композиционные материалы (КМ) на основе меди разрабатывались, главным образом, для триботехнического применения, так как они обладают повышенными антифрикционными свойствами и хорошей демпфирующей способностью. 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. Во многом это связано с необходимостью управления структурой получаемых железоуглеродистых гранул, служащих упрочняющей фазой. Необходимы и дополнительные исследования, связанные с определением влияния ввода добавок различных элементов в исходный сплав на формирование литой микроструктуры. Сочетание химического состава и условий охлаждения при получении гранул позволит расширить области применения композиционных литых материалов, поднять уровень эксплуатационных характеристик композита.

Применение литейной технологии для их синтеза позволяет снизить стоимость продукции и получать детали различной конфигурации. Наиболее часто КМ 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 (форму). При организации масштабного производства литье в кокиль относится к жидкофазному методу совмещения и обладает определенным преимуществом, так как не требует сложного оборудования и позволяет получать отливки значительной массы и различной геометрии.

Технологическая схема получения композитов 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.

Структура КМ представляет собой на макроуровне упрочняющие элементы, равномерно распределенные в матрице. Среди факторов, влияющих на эксплуатационные свойства КМ, 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.

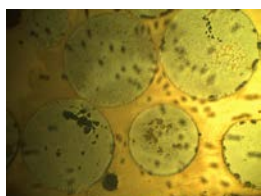
Несомненный практический интерес представляет применение для получения КМ в качестве армирующей фазы быстрозакаленных чугунных гранул. Благодаря чувствительности чугуна к режиму термообработки, возможно, получить композиты с широким диапазоном свойств. Химический состав и температурно-временной режим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

Структуры КМ 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 заранее заданной связи структурных элементов, высоких эксплуатационных свойств композитов необходимо установление общей закономерности формирования структуры.

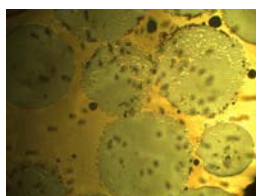
Ранее проведенными исследованиями [2,3] было установлено, что после быстрого охлаждения из жидкого состояния полученные гранулы имеют структуру белого доэвтектического чугуна различной дисперсности в зависимости от размера фракции, в то время как серийные гранулы из ана-

логичного 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.

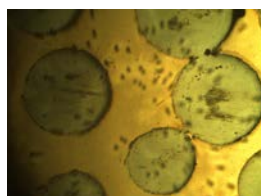
Для оценки изменения структуры и зоны контакта бронзовая матрица – чугунная гранула в зависимости от условий литья, были подготовлены 6 одинаковых образцов для синтеза композиционного материала. Образцы были загружены в печь с температурой 1080°C. После падения температуры вследствие захлаживания печного пространства образцами, имеющими комнатную температуру и выдержки до момента достижения заданной температуры, был проведен синтез литых композиционных материалов. После полного окончания пропитки (окончание синтеза), образец №1 был извлечен из печи и с целью фиксации структуры на момент окончания синтеза был охлажден в воде. Образцы №№2-6 извлекались из печи с интервалом в 20 минут с последующем охлаждением в воде. Далее из образцов были изготовлены шлифы для микроструктурного анализа, данные которого представлены на рисунке 1.



Окончание процесса синтеза



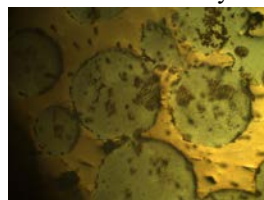
Окончание процесса синтеза +20 минут



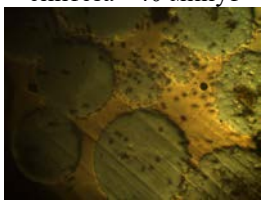
Окончание процесса синтеза +40 минут



Окончание процесса синтеза +60 минут



Окончание процесса синтеза +80 минут



Окончание процесса синтеза +100 минут

Рисунок 1 - Влияние условий литья на изменение структуры  
Как видно из рисунка увеличение времени выдержки привносит значи-

тельные изменения в структуру армирующей составляющей на основе чугунной дроби. С увеличением времени выдержки идет активное растворение гранул расплавом матричной составляющей, наблюдается свариваемость гранул, а так же попадание матричного сплава внутрь самих гранул по микротрещинам.

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

### Литература

1. Кобзарь Ю.В., Калиниченко А.С., Воронов Е.О. Опыт применения композиционных материалов с макронеоднородной структурой для нормализации тепломеханического состояния паровых турбин // Энергетика – Изв. Вузов и энерг. объединений СНГ. - 2013. -№3. - С. 79 – 86.
2. Калиниченко А.С., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Трубицкий Р.Э., Стефанович В.А., Сметкин В.А. Особенности сфероидизирующего модифицирования высокопрочного чугуна лигатурами на основе меди // Литье и металлургия. 2016. №2. С. 110-115.
3. Калиниченко А.С., Шейнерт В.А., Калиниченко В.А., Слуцкий А.Г. Влияние условий получения быстроохлажденных гранул на основе железа на свойства композиционных материалов, формируемых литейной технологией.// «Литье и металлургия», №1. 2017., с.136-142