

КЕРАМОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ АЛЮМИНИЯ

Ключникова Н.В.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Россия (308012, г. Белгород, ул. Костюва, 46).

Полученный металлокерамический композиционный материал обладает высокими физико-механическими и эксплуатационными показателями, которые достигаются благодаря эффективности процесса совмещения модифицированной глинистой матрицы и алюминиевого наполнителя. Увеличение содержания алюминиевого наполнителя в композите приводит к возрастанию прочности. Причем лучшие показатели получены для композитов, содержащих 20% алюминиевого наполнителя. Представленные характеристики металлокерамического композита позволяют утверждать, что разработанный материал может быть использован в качестве материала для изготовления конструкций, работающих при внешних нагрузках до 170 МПа с одновременным воздействием агрессивных сред и температуры. Кроме того, разработанный металлокерамический композит может быть использован в качестве связующего при получении корундового материала с пониженной температурой спекания.

Ключевые слова: композиционный, материал, алюминий, свойства.

CERAMO-METALLIC COMPOSITE MATERIALS WITH HIGH ALUMINUM CONCENTRATION

Kluchnikova N.V.

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Belgorod
Belgorod, Russia (308012, Belgorod, Kostyukov street, 46)*

The obtained ceramo-metallic composite material has high physico-mechanical and performance characteristics that are achieved through efficiency of combining the modified argillaceous matrix with the aluminum filler. Raising the concentration of aluminum filler within the composite leads to strength increase. Moreover, the best figures were achieved with the composites containing 20% of aluminum filler. The presented characteristics of ceramo-metallic composite make it possible to state that this engineered material can be used for producing structures that operate under loads up to 170 MPa as well as under aggressive medium and temperature influence at the same time. More than that, this engineered ceramo-metallic composite can be used as a binder when producing corundum material with lowered caking temperature.

Key words: composite, material, aluminum, characteristics.

Развитие научно-технического прогресса требует применения новых высокопрочных химически- и абразивостойких строительных материалов, способных работать при высоких температурах, растягивающих и изгибающих напряжениях, ударных нагрузках. Создание эффективных и высокоэкономичных материалов – одна из основных задач современного строительного материаловедения. С самого начала цель создания композитов состояла в том, чтобы достичь комбинации свойств, не присущих каждому из исходных компонентов в отдельности. Наилучшим способом эта задача решается на пути создания керамических композиционных материалов. Композиционный материал можно изготовить из соединений, которые сами по себе не удовлетворяют всем предъявляемым к материалу требованиям.

Конструкционная металлокерамика с пониженной температурой спекания – один из наиболее перспективных материалов современной техники. Она обладает рядом ценных

свойств, присущих как керамике (твердость, высокая прочность, малая ползучесть), так и металлу (высокая теплопроводность, электропроводность, стойкость к ударным нагрузкам).

Одним из направлений создания композитов является совмещение металлической матрицы с неметаллическим наполнителем. Получаемый строительный материал экономически выгоден, обладает низкой теплопроводностью, повышенными износостойкостью и демпфирующими свойствами.

Нами предложена идея получения керамометаллических композиционных материалов с высоким содержанием металлического наполнителя методом полусухого прессования с последующей сушкой и обжигом. Особенностью получаемого материала является то, что вводимый в него металл не только исполняет роль наполнителя, но и участвует в стадиях структурообразования композита.

Керамика характеризуется низкой прочностью при растяжении в сочетании с высоким модулем Юнга, низкой ударной вязкостью. При высоких температурах одной из причин выхода из строя изделий из керамики является растрескивание. Введение металлического наполнителя позволяет получить интересное сочетание важнейших эксплуатационных характеристик – высокой прочности (включая диапазон высоких температур), усталостной прочности и др. Основные преимущества таких композиционных материалов связаны с высокими температурами эксплуатации (что характерно для керамики) при одновременном значительном повышении прочностных свойств.

При выборе металлического наполнителя предпочтение было отдано алюминию, так как он относительно дешёв, кроме того, обладает хорошей пластичностью и податливостью, низкой температурой плавления (660 °С). В качестве матрицы использовали каолиновые глины. Керамическая матрица способна в процессе обжига изделия привести к протеканию физико-химических реакций между компонентами, что позволяет получить материал с заданными эксплуатационными характеристиками.

Одной из главных проблем, возникших при получении композиционного материала предложенным методом, явилось достижение совместимости гидрофильных глин с гидрофобным металлическим наполнителем. При этом необходимо было решать две задачи: обеспечение прочной связи между компонентами и предотвращение выплавов алюминия на стадии обжига, так как последний при спекании практически в любой среде окисляется, и дальнейшее уплотнение образца зависит, в среде прочих факторов, и от фазовых трансформаций вновь образовавшегося оксида.

Физико-механические свойства получаемых материалов в большой степени зависят от вида адгезионного взаимодействия матрицы и наполнителя. В зависимости от физико-химических свойств отдельных компонентов и механизма образования связей на границе

раздела фаз адгезионное взаимодействие можно разделить на три группы. Это механическая адгезия, обусловленная отсутствием химического взаимодействия и образующаяся при механическом сцеплении матрицы с поверхностью наполнителя; физическая адгезия, обусловленная взаимодействием электронов на атомном уровне; физико-химическая адгезия, определяемая необратимым смачиванием матрицы наполнителем, их взаимным растворением и возможным последующим образованием химических соединений или твёрдых растворов [1; 3].

Физико-химическое взаимодействие между металлической матрицей и неметаллическими наполнителями в металлокерамических композициях в процессе их изготовления и службы является одним из главных аспектов проблемы совместимости. При этом необходимо решать две задачи: обеспечение прочной связи между компонентами и предупреждение недопустимого развития на их границе процессов дегградации. Задача осложняется тем, что механизмы образования адгезионных соединений на границе металл – неметалл в настоящее время недостаточно изучены. Однако их исследование необходимо для разработки новых композиционных строительных материалов с заранее заданными механическими эксплуатационными свойствами.

Введение в небольших количествах добавок, которые химически взаимодействуют как с металлом, так и с керамикой, в значительной мере способствует образованию прочной связи между разными по химической природе частицами. В работе [2] был проведен эксперимент на смачивание алюминием неметаллических подложек, который показал, что алюминий можно использовать в качестве наполнителя для получения композитов. Для лучшей смачиваемости расплава металла с наполнителем его поверхность обрабатывали специальными добавками, среди которых: растворы солей щелочных металлов, растворы гидроксида кальция, селена, хрома, растворы солей минеральных и органических кислот [5].

В наших исследованиях для обеспечения совместимости матрицы с металлическим наполнителем и создания однофазной структуры получаемого композита проводилась активация поверхности глины механической обработкой, термической и химической модификацией [4]. Так как расплав алюминия плохо совмещается с частицами глины, то для улучшения смачиваемости в глину вводили поверхностно активные вещества (ПАВ) в количестве 0,1–1%. Химическая модификация глины ионами Al^{3+} из водных растворов и термомеханическая модификация алюминиевой матрицы с одновременным диспергированием позволила увеличить содержание алюминия в композите до 20%, при этом избежать выделов металлов и разрыхления структуры прослойками нестабильного оксида алюминия, снизить температуру образования жидкой фазы на 80–120 °С, а также сместить максимумы на кривых вязкости в область более низких температур.

Материалы на основе керамической матрицы и алюминиевого наполнителя готовили путём смешивания модифицированных компонентов с последующим прессованием, сушкой и обжигом.

Качество формования зависело от влажности наполнителя и давления прессования. При уменьшении влажности наблюдалось расслоение образцов за счёт упругих деформаций, возникающих после снятия давления и извлечения его из формы. При повышении давления прессования более 10 МПа происходит частичное удаление воды из глинистых масс, что приводит к ухудшению их пластичности. Оптимальные результаты были получены при влажности 6–7% и давлении 4–6 МПа.

Исследование кинетики спекания проводили методом последовательных обжигов в интервале температур 900–1300 °С с шагом 50 °С. Изучение стадий спекания необходимо для выявления основных процессов, происходящих при обжиге, а также факторов, влияющих на них. Наличие взаимного растворения твердой фазы в жидкой подтверждается тем, что плотный материал можно получить на основе композиций, содержащих до 20% алюминия.

Таблица 1 – Основные физико-механические и эксплуатационные свойства керамометаллических композитов

№ п/п	Показатель	Керамометаллический композит, содержащий 20% алюминия, полученный на основе	
		глуховецкого каолина	краснояржужской глины
1	Воздушная усадка, %	0,5	0,6
2	Огневая усадка, %	2,8	4,6
3	Коэффициент чувствительности	0,5	0,5
4	Интервал спекания, °С	1150–1300	950–1050
5	Плотность, кг/м ³		
	истинная	1730	1970
	кажущаяся	1650	1740
6	Пористость, %	4,6	7,4
	открытая	1,5	2,1
	закрытая	3,1	5,3
7	Водопоглощение, %	1,9	2,6
8	Прочность на сжатии, МПа	170	130
9	Прочность на изгиб, МПа	47	34
10	Модуль упругости, МПа	$8,8 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^4$

11	Ударная вязкость, кДж/м ²	4,3	3,9
12	Твердость по Бринеллю, НВ (10, 300, 10)	78	65
13	Морозостойкость, циклов	80	80
14	Термостойкость, циклов при 20–1000 °С	22	22
15	Химическая стойкость: Кислотостойкость, % Щелочестойкость, %	97,8 97,7	97,0 97,0

При спекании металлокерамического композита происходит изменение количества, размеров и форм пор, которые существенно влияют на прочность изделий. При исследовании металлокерамического композита на порометрию выявлено, что материал на основе глуховецкого каолина в среднем содержит округлые закрытые поры размером около 5,2 мкм. Для материала на основе красноярской глины характерно содержание округлых закрытых пор размером около 15,1 мкм и 0,55 мкм. Причем введение алюминиевого наполнителя позволяет снизить размер пор на 1–2 порядка. Кроме того, с увеличением содержания алюминиевого наполнителя в композите до 20% наблюдается уменьшение пористости композита, что в свою очередь приводит к увеличению прочности материала. Механическая прочность металлокерамических материалов при комнатной температуре характеризуется пределом прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, который составляет 130–170 МПа. Увеличение содержания алюминиевого наполнителя в композите приводит к возрастанию прочности. Причем лучшие показатели получены для композитов, содержащих 20% алюминиевого наполнителя.

Полученный металлокерамический композиционный материал обладает высокими физико-механическими и эксплуатационными показателями (табл. 1), которые достигаются благодаря эффективности процесса совмещения модифицированной глинистой матрицы и алюминиевого наполнителя. Представленные характеристики металлокерамического композита позволяют утверждать, что разработанный материал может быть использован в качестве материала для изготовления конструкций, работающих при внешних нагрузках до 170 МПа с одновременным воздействием агрессивных сред и температуры. Это могут быть несущие конструкции подземных сооружений, при возведении плотин, аэродромные покрытия, плиты полов в «горячих» цехах, в качестве защитного слоя под полами подвальных помещений, и т.д. Кроме того, разработанный металлокерамический композит

может быть использован в качестве связующего при получении корундового материала с пониженной температурой спекания.

Таким образом, в результате исследований получен материал, сочетающий в себе повышенную механическую прочность (за счёт свойств металлического наполнителя), малую открытую пористость (за счёт плотной упаковки частиц при прессовании с оптимальной влажностью и в результате последующих физико-химических процессов, протекающих во время обжига), гидрофобность и пониженную хрупкость.

Список литературы

1. Болдарев А.М., Орлов А.С., Рубцова Е.Г. Структурообразование и свойства бетонов // Сб. докл. междун. конф. молодых ученых и аспирантов «Передовые технологии в промышленности и строительстве на пороге XXI века». – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 1998. – Ч. 1. – С. 314–318.

2. Болдарев А.М., Орлов А.С., Рубцова Е.Г. Исследование смачиваемости металлическими расплавами минеральных заполнителей в металlobетонах // Междун. конф. «Промышленность стройматериалов и стройиндустрия, энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений». – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 1997. – Ч. 1. – С. 42–44.

3. Ключникова Н.В., Лымарь Е.А., Юрьев А.М. Перспективные композиционные материалы на основе металлической матрицы и неметаллического наполнителя // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 2. – С. 69.

4. Ключникова Н.В., Лымарь Е.А., Приходько А.Ю. Керамические композиционные материалы строительного назначения с использованием металлического наполнителя // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 7. – С. 62–65.

5. Потапов Ю.Б., Соломатов В.И. Метоны – эффективные металlobетонные композиты // Пятые академические чтения РААСН «Современные проблемы строительного материаловедения». – Воронеж, 1999. – С. 350–354.

Рецензенты:

Шаповалов Н.А., д.т.н, профессор, первый проректор, ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород.

Евтушенко Е.И., д.т.н, профессор, проректор по научной работе, ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород.