

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Калужский филиал
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования
«Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Н.С. Герасимова

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КЕРАМИКИ

Учебное пособие
по дисциплине «Материаловедение»

Калуга
2019 г.

УДК 669.01

ББК 30.3

Г 37

Данное учебное пособие издается в соответствии с учебным планом для всех специальностей.

Учебное пособие рассмотрено и одобрено:

кафедрой «Материаловедение и химия» (М5-КФ)

протокол № 9 от «23» апреля 2019 г.

Зав. кафедрой  д.т.н., профессор В.К. Шаталов

Методической комиссией факультета МК

протокол № 7 от «25» апреля 2019 г.


Председатель методической комиссии факультета М-КФ

 к.ф.-м.н., доцент Степанов С.Е.

Методической комиссией КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

протокол № 8 от «4» 06 2019 г.

Председатель метод. комиссии

 д.э.н. профессор О.Л. Перерва

Рецензенты:

 доцент кафедры М1-КФ, к.т.н.

Мусохранов М.В.

Главный специалист

ОАО «Калужский турбинный завод»

Павловский А.З.

Автор:

 к.т.н., доцент Герасимова Н.С.

Аннотация

В учебном пособии изложены общие сведения о композитах, принципы создания композиционных материалов. Содержатся данные об основных видах керамических и полимерных материалов. Рассмотрены области их применения. Учебное пособие предназначено для студентов всех специальностей.

© КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019 г.

© Герасимова Н.С.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
СОДЕРЖАНИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	5
2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	8
3. ВИДЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	11
3.1. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕСКИСЛОРОДНЫХ МАТРИЦ.....	11
3.2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ.....	13
3.3. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ	16
3.4. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ	19
3.5. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ	19
3.6. «ВЯЗКАЯ» КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ, АРМИРОВАННЫХ ТУГОПЛАВКИМИ ВОЛОКНАМИ.....	21
3.7. «ВЯЗКАЯ» КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ.....	22
3.8. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТНЫХ МАТРИЦ.....	23
3.9. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БОРИДОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ.....	26
4. КЕРАМИКА В ДВИГАТЕЛЯХ.....	27
5. РЕЖУЩИЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	29
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	32

ВВЕДЕНИЕ

Композиционный материал (КМ) - неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу, обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.

Механическое поведение композита определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними. Эффективность и работоспособность материала зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик. В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композита, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми изолированные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композитах, в отличие от металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения.

Преимущества композиционных материалов:

- высокая удельная прочность;
- высокая жёсткость (модуль упругости 130-140 ГПа);
- высокая износостойкость;
- высокая усталостная прочность;

Из КМ возможно изготовить размеростабильные конструкции, причём, разные классы композитов могут обладать одним или несколькими преимуществами.

Наиболее частые недостатки композиционных материалов:

- высокая стоимость;
- анизотропия свойств;
- повышенная наукоёмкость производства, необходимость специального дорогостоящего оборудования и сырья, а следовательно развитого промышленного производства и научной базы.

1. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Керамикой называются материалы, полученные спеканием порошков минеральных веществ.

Спекание происходит при нагреве изделий, отформованных из порошков. Исходными материалами для получения керамики служат глины, полевой шпат, тальк, окислы бария, титана, циркония, ниобия, а также карбиды, силициды, нитриды, бориды. При обжиге исходные вещества взаимодействуют друг с другом, образуя *кристаллическую и аморфную фазы* керамики. В керамике при технологическом процессе ее получения всегда остаются микропоры.

Кристаллическая фаза представляет собой кристаллы размером 20–30 мкм и выше. В зависимости от исходного состава они могут быть окислами, твердыми растворами или соединениями окислов.

Аморфная фаза представляет собой стекло, которое по химическому составу отличается от кристаллов. Исходные материалы для получения керамики имеют практически неограниченную сырьевую базу.

Основное преимущество керамики заключается в ее более высокой жаропрочности по сравнению с металлами. Она почти неподвержена старению и не дает остаточных деформаций под действием механических нагрузок.

Керамические материалы выгодно отличаются от металлических и полимерных следующими свойствами: многофункциональностью, доступностью сырья, низкой энергоемкостью производства, высокой коррозионной стойкостью и устойчивостью к радиационному воздействию, биологической совместимостью, низкой плотностью.

К недостаткам следует отнести ее хрупкость и большую усадку до 25% при обжиге, и это затрудняет получать точные размеры изделий. Спеченная керамика очень твердая, режется с трудом и только абразивами.

Керамика обладает хорошими электрическими свойствами, химической стойкостью, водостойкостью. В ближайшее время керамика найдет применение в двигателестроении, атомной энергетике, металлургии, в химической, электротехнической промышленности и других отраслях. Можно привести конкретные области применения и преимущества этих материалов:

- нагреватели для электропечей (обеспечивают рабочую температуру свыше 2000°С);
- штамповочный инструмент (повышение износостойкости в 5–10 раз);
- безвольфрамовые твердые сплавы (100% экономии вольфрама);
- огнеупоры для футеровки плавильных печей;
- детали для двигателей (повышение КПД двигателя и снижение расхода топлива до 30%);
- жаропрочные детали для газовых турбин (снижает расход топлива до 20%, значительно уменьшает вес турбины);
- неограниченные возможности получения режущего инструмента, для изготовления подшипников, фильер для волочения проволоки, для перекачки жидкого металла и т.д.

Сегодня получение тугоплавких керамических материалов производится прямым восстановлением, плазмохимическим синтезом и СВС (методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза). СВС основан на том, что при взаимодействии исходных веществ в процессе экзотермической реакции образуются высокие температуры, резко ускоряющиеся диффузионные процессы. Методом СВС получено около трехсот новых материалов: карбид тантала с температурой плавления 4000°С, нитрид кремния и многие другие.

По составу керамику можно подразделить на кислородную, состоящую из оксидов металлов и неметаллических элементов (бериллия, магнезия, алюминия, кремния, титана, циркония) и бескислородную – нитридную, карбидную, боридную и др.

Корундовая керамика на основе Al_2O_3 получила наибольшее распространение. Характеризуется температурой плавления 2050°С, плотностью 3,97 г/см³, высокой прочностью, теплостойкостью, химической стойкостью, износостойкостью, диэлектрическими свойствами. Сырьем для получения чистого оксида алюминия являются бокситы, содержащие от 50 до 100 % Al_2O_3 . Эта керамика широко применяется для изготовления инструмента, деталей двигателей внутреннего сгорания, высокотемпературных печей, керамических подшипников, тиглей для плавки металлов, сопел, в приборостроении и электротехнике.

Керамика из оксида циркония ZrO_2 , характеризуется низкой теплопроводностью, высокой прочностью, высокой температурой плавления $2677^\circ C$, плотностью $5,56 \text{ г/см}^3$. Поэтому она используется для работы при высоких температурах до $2200^\circ C$. Из нее изготавливают тигли для плавки металлов, тепловую изоляцию печей и реакторов, теплозащитные покрытия на металлах, детали двигателей внутреннего сгорания. Недостатками этой керамики является низкая стойкость к резкой смене температур и высокая стоимость.

Керамика из оксида магния MgO имеет высокую температуру плавления $2800^\circ C$, плотность $3,58 \text{ г/см}^3$, обладает стойкостью к действию основных шлаков различных металлов. Поэтому применяется для изготовления тиглей и футеровки печей. Недостаток оксида магния – летучесть при высоких температурах, низкая термическая стойкость.

Керамика из оксида бериллия BeO характеризуется высокой теплопроводностью и термостойкостью, температурой плавления $2580^\circ C$, плотностью $3,03 \text{ г/см}^3$, низкой прочностью, хорошо рассеивает ионизирующее излучение и замедляет тепловые нейтроны. Поэтому используется в конструкции ядерных реакторов и для изготовления тиглей для плавки металлов. Недостатками этой керамики является высокая стоимость и токсичность.

Карбид кремния SiC обладает высокой твердостью, прочностью, химической стойкостью, жаростойкостью до $1800^\circ C$, температурой плавления $2600^\circ C$, плотностью $3,2 \text{ г/см}^3$. Применяется в качестве абразивного материала, защитного покрытия графита, деталей двигателей внутреннего сгорания, нагревательных стержней (рис.1.).

Нитрид кремния SiN_3 характеризуется высокой прочностью, жаропрочностью, износостойкостью, жаростойкостью до $1800^\circ C$, плотностью $3,2 \text{ г/см}^3$. Применяется для деталей двигателей внутреннего сгорания.

Бориды тугоплавких металлов (TiB_2 , ZrB_2) характеризуются высокой твердостью, износостойкостью, обладают металлическими свойствами, очень высокой температурой плавления. Их используют в качестве износостойких и защитных покрытий. ZrB_2 используют

для изготовления термопар, работающих в среде расплавленных металлов.

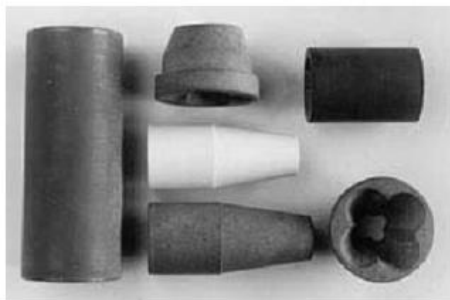


Рис. 1. Сопла для газосварочных аппаратов из керамики на основе карбида кремния

2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Композиты – это материалы, состоящие из двух или более компонентов (армирующих элементов и скрепляющей их матрицы) и обладающие свойствами, отличными от суммарных свойств компонентов.

При этом предполагается, что компоненты, входящие в состав композита, должны быть хорошо совместимыми и не растворяться или иным способом поглощать друг друга.

Композиционные материалы имеют высокие значения прочности, жаропрочности, жесткости, сопротивления, усталости при меньшей их плотности. Прообразом создания композиционных материалов явилось большое разнообразие биологических биматериалов, которые обладают высокими механическими свойствами.

Например, обычное дерево, его кора и древесина имеют различные свойства, строение, назначение, но вместе с тем это единое целое. Другой пример: зуб человека, животных состоит из кровеносных сосудов и нервных окончаний, костной ткани и эмали. Так что обычный зуб есть не что иное, как прообраз композита. Сочетание различных металлов, сплавов и неметаллов в многослойном виде позволяет не только объединить полезные свойства отдельных составляющих, но и

получить совершенно новые качества, которыми исходные материалы не обладают. Композиционные материалы представляют собой сочетание двух и более химически разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. По структурным признакам композиты подразделяются на три основные группы: волокнистые, дисперсионные и слоистые. Их схемы представлены на рис. 2.

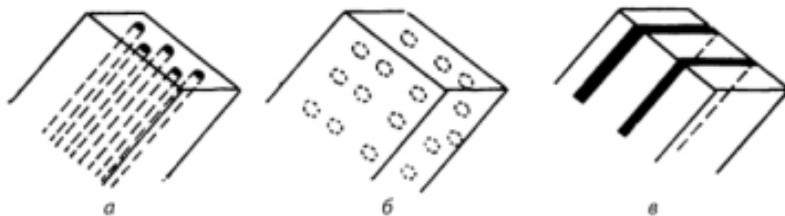


Рис. 2. Композиты: а – волокнистые, б – дисперсные, в – слоистые

Волокнистые конструкционные материалы состоят из волокон одного компонента, распределенных в другом компоненте (матрице).

Дисперсные конструкционные материалы, состоящие из частиц одного или более компонентов, распределенных в матрице, и образующие механическую смесь.

Слоистые композиционные материалы, состоящие из двух или более слоев различных компонентов. К ним можно отнести и биметаллы.

Волокнистые композиционные материалы по виду матрицы делят на металлические, полимерные и керамические; по виду волокон – на материалы, армированные проволокой, стеклянными, борными, углеродистыми, керамическими и другими волокнами; по размерам волокон – на материалы с непрерывными или короткими волокнами; по ориентировке волокон – на материалы с однонаправленными или ориентированными в двух и более направлениях волокнами.

Дисперсные композиционные материалы – это металлы и сплавы, которые содержат равномерно распределенные части окислов, карбидов, нитридов. При нагружении таких материалов матрица несет основную нагрузку, а дисперсные частицы действуют как препятствия, задерживающие движение дислокаций. В настоящее время в промышленных масштабах производят дисперсноупрочненные материалы на основе алюминия, никеля и вольфрама.

Степень дисперсного упрочнения зависит от размера, формы частиц, расстояния между ними и характера связи между частицами и матрицей. Такие материалы получают в основном методами порошковой металлургии, включающими изготовление тонких порошков или порошковых смесей и их последующее прессование, спекание.

Дисперсно-упрочненный алюминий, содержащий 6–23% Al_2O_3 (спеченная алюминиевая пудра САП), значительно превосходит деформируемые и литейные алюминиевые сплавы по прочности при температурах выше $300^\circ C$. САП – перспективный материал для авиации, судостроения, химического машиностроения. Его используют вместо нержавеющей сталей и титановых сплавов в конструкциях, работающих при $300–500^\circ C$, что позволяет значительно уменьшить массу конструкции.

Наибольшей жаропрочностью в интервале $1000–1300^\circ C$ обладает никель, упрочненный 2–3% двуокиси тория или частицами двуокиси гафния.

Вольфрам, содержащий 1–2% окиси тория, используют для изготовления вакуумных приборов. При температурах выше $2200^\circ C$ он является единственным материалом, превосходящим по прочности нелегированный вольфрам. Слоистые композиционные материалы состоят из двух и более слоев различных компонентов. К ним можно отнести и биметаллы.

В отдельную группу можно выделить *полимерные композиционные материалы (ПКМ)*. Особенностью ПКМ является то, что матрицу их образуют различные полимеры, служащие связующими для арматуры, которая может быть в виде волокон, ткани, пленок. Формирование ПКМ осуществляется прессованием, литьем, под давлением, напылением. В промышленности используются и смешанные ПКМ, куда входят как металлические, так и полимерные составляющие, которые дополняют друг друга по свойствам. Созданы ПКМ на основе полиэтилена, полипропилена, полистирола с наполнителями в виде асбеста и других волокон.

Классические композиционные материалы получают под большим давлением, сваркой, взрывом, диффузионной сваркой.

Свойства зависят от свойств матрицы, количества упрочнителя, направления его укладки и других факторов. Если за матрицу принять алюминий, а в качестве волокон – борные волокна, то свойства такого композита будут следующие:

- а) 100% алюминия, $\sigma_b = 7-14 \text{ кг/мм}^2$;
- б) 70% алюминия и 30% борных волокон, $\sigma_b = 70-90 \text{ кг/мм}^2$;
- в) 30% алюминия и 70% борных волокон, $\sigma_b = 160-180 \text{ кг/мм}^2$.

При рабочей температуре 1200°C практическое применение находят дисперсно-упрочненные никелевые композиты, упрочненные частицами окиси гафния или окиси тория.

Например, прочность волокон диаметром 10 мкм из стали 12Х18Н9Т составляет 2200 МПа, а прочность термообработанной отливки не превышает 1200 МПа. Такие особенности материалов используют при армировании. Свойства компонентов в композитах здесь складываются аддитивно. Общий случай прочностных характеристик иллюстрирует формула:

$$\sigma_b \text{ КМ} = \sigma_b \text{ волокон} \cdot V_f \text{ доля волокон} + \sigma_b \text{ матрицы} \cdot (1 - V_f) .$$

Аналогично складываются свойства плотность, твердость.

Основная область применения композитов – это автомобильная, авиационная, химическая, космическая промышленность. В металлургии композиты используют в качестве огнеупорных материалов.

3. ВИДЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕСКИСЛОРОДНЫХ МАТРИЦ

Свойства нитрида и карбида кремния во многом зависят от методов их получения. Количество, состав и кристалличность фаз, располагающихся по границам зерен, оказывают большое влияние на свойства материала и определяют их. Материалы на основе безоксидной кремнийсодержащей керамики получают традиционными методами керамической технологии: шликерным литьем термопластичных масс, прессованием с последующим спеканием, горячим или изостатическим прессованием, а также комбинацией этих методов. С целью повышения прочностных характеристик указанных материалов вводят в исходную шихту металлорганические соединения или мелкозернистые химически активные порошки, получаемые при их разложении, используют пропитку пористого керамического каркаса из газовой

или жидкой фазы путем разложения соответствующих ионогенных органических или неорганических соединений.

При получении керамики необходимо учитывать склонность нитрида и карбида кремния к окислению при высоких температурах с образованием стеклообразных пленок по границам отдельных кристаллов. Это обеспечивает, с одной стороны, достаточно высокую устойчивость против высокотемпературной ползучести, с другой — придает материалам повышенную хрупкость, особенно, если речь идет о материалах на основе карбида кремния.

Свойства материалов на основе нитрида и карбида кремния очень зависят от предыстории и чистоты исходного сырья, его зернистости, технологии получения и наличия в материале сопутствующих примесей. Поскольку у высокочистых исходных порошков при отжиге не происходит эффективного спекания частиц, то в шихту обязательно вводят активирующие добавки, образующие с основным материалом относительно стабильные аморфные фазы, понижающие поверхностную энергию на границе между контактирующими частицами за счет появления промежуточных прослоек и очагов схватывания. В качестве таких добавок, как правило, используются для карбида кремния 1—2 % углерода и 0,5 % бора, оксиды бериллия, алюминия, а для нитрида кремния — оксиды бериллия, магния, алюминия, кремния, иттрия. Введение указанных добавок приводит к появлению жидкой фазы в процессе формирования материалов, а после его охлаждения — аморфной или кристаллической, располагающихся по границам зерен, которые при температурах выше 1273 К, как правило, размягчаются и значительно ухудшают прочностные характеристики материалов.

Для увеличения жаропрочности рассматриваемых материалов обычно используются следующие приемы: уменьшение толщины межзеренных прослоек и концентрации примесей в них, введение специальных добавок, применение органических соединений с последующим их разложением, обеспечивающим равномерное распределение легирующих добавок на поверхности частиц исходного порошка.

3.2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ

Нитрид кремния Si_3N_4 характеризуется высокой прочностью, жаропрочностью, износостойкостью, жаростойкостью до 1800°C , плотностью $3,2 \text{ г/см}^3$. Применяется для деталей двигателей внутреннего сгорания.

Нитрид кремния существует в двух модификациях, которые имеют гексагональную структуру с несколько отличающимися параметрами решетки. $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ имеет теоретическую плотность $3,43 \text{ г/см}^3$ и при температуре 1823 K переходит в $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ с плотностью $3,187 \text{ г/см}^3$, который при температуре 2073 K возгоняется. Модификации нитрида кремния обычно различаются по величине зерна и форме. Так, прессовки из $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ не обладают матовой поверхностью, содержат большое количество пор, материал характеризуется мелкоигольчатой структурой, располагающейся по границам равноосных зерен β -фазы.

На основании сопоставления данных по измерениям прочности и электронно-микроскопического анализа структуры можно прийти к заключению о том, что увеличение степени кристалличности межзеренных прослоек приводит к росту жаропрочности, на нее также оказывают влияние пористость материала, размер и форма зерен.

Большой разброс в свойствах рассматриваемых материалов определяется характеристиками исходных порошков, наличием микропримесей и легирующих присадок, а также технологией получения этих материалов. В общем случае свойства материалов зависят от химического и гранулометрического составов исходных порошков, микропримесей, микроструктуры, определяемой размером зерен, количеством, размером и характером распределения пор, стабильностью структурных характеристик при температуре эксплуатации в агрессивных средах.

В настоящее время для получения порошков широко используются химические методы, в том числе разложение металлоорганических соединений, введение легирующих примесей в виде порошка или покрытий, препятствующих увеличению размеров зерен при изготовлении материала и при последующей его эксплуатации. Эти приемы позволяют в значительной степени уменьшить размер зерен в изделии,

что является необходимым условием для получения мелкозернистой структуры материала, обладающего достаточно высокими физико-механическими свойствами.

Все большее применение в качестве исходного сырья находят порошки, получаемые путем термического разложения соответствующих солей, например, карбонатов, оксалатов, гидроксидов. Известны приемы измельчения зерен путем предварительной металлизации исходного порошка карбида кремния, нитрида кремния и алюминия, оксида циркония и диборида титана. Наиболее четко влияние измельчения зерен путем нанесения легирующего покрытия на исходный порошок обнаружено у карбида кремния, размеры зерен которого в готовом изделии составляют 0,05—0,1 мкм. Прочность в процессе четырехточечного изгиба при комнатной температуре и 1683 К достигает соответственно 1360—2070 и 3450—4140 МПа.

Таким образом, важным преимуществом описанных выше методов получения керамических материалов по сравнению с традиционными, является возможность использования более низких температур формования.

Электронно-микроскопические исследования показали, что горячепрессованный нитрид кремния, полученный из промышленного порошка, содержит большое количество примесей, которые приводят к появлению по границам зерен кристаллических включений. Они определяют свойства материала при высоких температурах. Химический анализ показывает наличие в нем большого количества примесей железа, кальция, алюминия, которые располагаются по границам зерен в виде оксидных включений. Также обнаружены хром, никель и карбид кремния, а между зернами нитрида кремния — кристаллы сиалона. Сопоставление микроструктуры с механическими свойствами показывает, что процесс распространения трещин определяется количеством примесей, группирующихся по границам зерен.

С целью уменьшения примесных фаз переходят на метод получения нитрида кремния горячим прессованием в среде азота, комбинирование методов горячего или изостатического прессования с реакционным спеканием или горячего прессования с последующим отжигом в среде азота.

С увеличением продолжительности спекания растет плотность и, следовательно, прочность материала. Спеченный под низким давлением азота нитрид кремния является более плотным, чем реакционно-связанные материалы. Для активирования спекания используются

оксидные добавки, однако их влияние на прочностные свойства немного ниже, чем в случае горячего прессования. Это, в частности, касается оксидов алюминия и магния, которые широко используются для активации спекания. В качестве добавки используют оксид иттрия.

Хорошие результаты достигаются при использовании комбинированных методов получения нитрида кремния. Например, известен метод получения изделий из нитрида кремния, заключающийся в размещении предварительно сформованной заготовки в стеклообразной газопроницаемой оболочке, получаемой методом окунания или напыления с последующим горячим изостатическим прессованием.

Свойства кремниевой керамики в большей степени зависят от пористости материала, чем от технологии его получения. Из сравнения данных по горячепрессованным, спеченным и реакционно-связанным материалам следует, что существует экспоненциальная зависимость прочности при изгибе от пористости материала при комнатной температуре. Таким образом, прочность нитрида кремния находится в прямой зависимости от пористости, поскольку источником разрушения обычно являются поры и их скопления, что особенно проявляется в реакционно-связанном нитриде кремния. Этой же зависимостью описывается прочность и горячепрессованного нитрида кремния, хотя она контролируется не столько пористостью, сколько наличием различных примесей на границах зерен, их размерами, степенью их взаимной ориентации.

Полностью потенциальные возможности этого класса материалов не используются из-за их тенденции к хрупкому разрушению во всем интервале температур до 2270 К. Поэтому проводятся работы по преодолению этого недостатка путем насыщения волокнистого скелета, состоящего из карбидокремниевых нитей, пряжи, препрегов, выполненных из усов на органическом связующем. Уплотнение композитов проводится пропиткой из газовой фазы жидким кремнием или его сплавами, органосиликатными полимерными материалами с последующим превращением в карбиды.

Представляет значительный интерес композиционный материал на основе Si_3N_4 , армированный 40% волокон SiC , легированный оксидами магния или иттрия. Его прочностные характеристики достаточно велики, и он может использоваться в качестве конструкционного высокотемпературного материала, например, при изготовлении де-

талей керамического двигателя. Кроме волокон карбида кремния, для армирования Si_3N_4 перспективны алюмосиликатные или углеродные волокна.

Высокие прочностные характеристики КМ на основе нитрида кремния позволяют их использовать в качестве быстрорежущего материала. Например, используют КМ, состоящий из смеси порошков Si_3N_4 и Y_2O_3 как матричную фазу и карбидов титана, частиц вольфрама, тантала, гафния и кремния в качестве упрочняющей фазы, средний размер которых составляет 2 мкм, а количество варьируется от 10 до 50 % объемной доли. Все композиции получают горячим прессованием в инертной среде при температуре 1995 К. Испытания показывают, что указанные материалы обладают высокой устойчивостью к окислению, термостойки, устойчивы к химическому и абразивному износу и могут быть использованы не только взамен быстрорежущего вольфрама содержащего инструмента, но и как конструкционный материал, обладающий высокой износоустойчивостью.

Следует отметить, что материалы, полученные по описанной выше технологии, обладают высокими прочностью при вязкостном разрушении, теплоизоляционными свойствами, что позволило их использовать в качестве конструкционного материала для передней части космического корабля по программе «Шаттл».

Наблюдается значительное повышение ударной вязкости керамики на основе нитрида кремния, армированной металлическими волокнами из вольфрама и тантала. Эти композиты обладают низкой термостойкостью, и их прочность при выдержке в аргоне и водороде при температуре до 1340°С в течение 5 ч существенно повышается из-за образования по границам раздела зерен стеклофазы.

3.3. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Хотя карбид кремния в течение многих лет рассматривается как материал, применяющийся при высокой температуре, однако его технический потенциал используется неполностью из-за тенденции к хрупкому разрушению во всем интервале температур до 2270 К. Карбид кремния образует две полиморфные модификации: кубическую

β -SiC со структурой типа алмаза, которая при температуре выше 2273 К монотонно переходит в гексагональную α -SiC со структурой слоистого типа. Карбид кремния имеет высокий модуль упругости 417 ГПа, прочность при изгибе 385—483 МПа. Его обычно получают пропиткой углеродного каркаса кремнием либо реакционным спеканием смеси карбида кремния с кремнием в углеродосодержащей среде или горячим прессованием. Высокотемпературное поведение карбида кремния контролируется количеством и характером распределения кремниевой фазы, объемная доля которой обычно составляет 5—15 %. Наличие последней ограничивает верхний температурный предел применения такого материала, который составляет не более 1573 К. Спеченный карбид кремния обнаруживает повышенную плотность и, соответственно, прочность.

При этом температура эксплуатации материала может быть повышена до 723 К, даже при достаточно длительных выдержках его прочность составляет 416 МПа, а зависимость напряжение — деформация линейна. Горячепрессованный карбид кремния обладает высокой прочностью, которая достигает 690 МПа, однако при температуре 1473—1673 К происходит ее резкое падение. Обычно для улучшения уплотнения вводят легирующие добавки оксида алюминия или карбида бора примерно 2 %.

Прочностные характеристики керамических материалов в значительной степени зависят от качества исходных порошков, поэтому в последнее время широко используют химические методы их получения, в частности, метод разложения кремнийсодержащих органических или неорганических соединений.

Форма частиц порошков карбида кремния, полученных разными методами (химическим разложением паров кремнийорганических соединений, высокотемпературным спеканием в среде азота, путем карботермического восстановления полимеров) округлая или ограниченная, удельная поверхность колеблется в пределах 10000—20000 м²/кг. Порошки обладают высокой формуемостью и спекаемостью.

Показано, что в композитах из карбида кремния, в которых матрицы формируют газофазным осаждением, реакционным связыванием или пропиткой органосиликатным предшественником с последующим отжигом, увеличивается прочность при изгибе и вязкостном разрушении.

Еще белее повысить прочность карбидокремниевых КМ удастся при помощи введения в парогазовую смесь небольшого количества боросодержащей кремниевой керамики. При этом материалы состоящие из карбида или нитрида кремния, обладают прочностью при изгибе порядка 475 МПа.

В композитах с плотной матрицей образование и распространение начальной трещины происходит, если напряжение при деформации чистой матрицы достаточно велико. Найдено, что эффект упрочнения достигается в том случае, если модуль Юнга и напряжения при деформации в волокнах (усах) выше, чем в матрице SiC в том случае, когда упрочняющие элементы не подвергаются химическому воздействию в технологическом процессе получения композита. В случае полной адгезии между волокном и матрицей, т. е. в КМ, получаемых методами газофазной пропитки пористого каркаса, наблюдается повышение прочности и на разрыв, однако хрупкое поведение этих материалов не может быть преодолено.

Присадки карбидов титана бора и кремния повышают устойчивость композитов в окислительной среде за счет образования стеклофазы, защищающей от диффузионного проникновения кислорода при 1370 °К в течение 700 ч на воздухе. Увеличение трещиностойкости рассматриваемых композитов возможно за счет введения дисперсных фаз оксидов циркония и гафния — до 85%. Керамику получают методом горячего прессования смеси порошков при температуре 2120 и 2270 К для образцов, содержащих соответственно ZrO_3 и HfO_2 .

При получении керамических КМ особое внимание нужно уделять оптимизации адгезионных свойств на границе раздела волокна и матрицы. Необходимо модифицировать поверхность упрочняющего волокна таким образом, чтобы граница раздела волокна и матрицы способна была поглощать трещины за счет релаксации напряжений на субмикронном уровне в широкой области циклических нагрузок и напряжений. В настоящее время по-прежнему уделяется большое внимание применению традиционного метода реакционного спекания и новых усовершенствованных методов, в частности, пропитке из газовой фазы при определенном градиенте температур и давлений.

3.4. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ

Оксиды обладают высокой тугоплавкостью, химической стабильностью в широком диапазоне температур и поэтому являются весьма перспективными для использования в качестве матричных и упрочняющих фаз при конструировании композиционных КМ. Процесс армирования позволяет преодолеть существенные недостатки оксидных материалов, таких как высокая хрупкость, низкая деформируемость и устойчивость к термомеханическим нагрузкам. Оксиды алюминия и циркония являются основными матричными материалами, которые вызывают наибольший интерес благодаря своей высокой тугоплавкости и чрезвычайной химической инертности. В качестве армирующей фазы в КМ на их основе обычно используются ультрадисперсные порошки, волокна и дискретные монокристаллы (усы) муллита, оксидов кремния, иттрия алюминия и циркония, карбида и нитрида кремния, графита.

3.5. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Эти КМ перспективны для применения при производстве огнеупоров, в микроэлектронике и т.д. Его высокая механическая прочность, абразивостойкость, огнеупорность, химическая инертность делают его незаменимым во многих отраслях народного хозяйства. Однако низкая термостойкость изделий из оксида алюминия затрудняет его использование при высокой температуре и циклических тепловых нагрузках. Поверхностные термические трещины в Al_2O_3 появляются уже при охлаждении от температуры 470 К, а при охлаждении от температуры 870 К наблюдается образование трещин по всему объему.

В качестве примера можно привести КМ на основе Al_2O_3 с высокой ударной прочностью, которая достигается упрочнением графитом или карбидом кремния в виде усов волокон. В КМ из оксида алюминия, армированном усами SiC, наблюдается значительное повышение ударной прочности, что позволяет использовать этот материал для изготовления режущего инструмента.

Известны попытки получения КМ на основе оксида алюминия и частичек графита, полученных превращением алмаза при термообработке. Эта добавка при объемной доле 5 % значительно улучшает работу материала на сжатие. При армировании оксида алюминия углеродными волокнами с покрытиями из карбида кремния при объемной доле 40 % достигается прочность на изгиб 500 МН/м^2 и вязкость разрушения $K_{c1} = 10 \frac{\text{МН}}{\text{м}^{3/2}}$. Вследствие более низкой температуры горячего прессования и лучшего уплотнения муллитового матричного материала по сравнению с оксидом алюминия удалось получить значение прочности при изгибе, равное $800\text{—}900 \text{ МН/м}^2$.

Испытания показали, что на величину вязкости разрушения наличие защитного покрытия не оказывает влияния, что свидетельствует об образовании промежуточного слоя между поверхностью углеволокна и матричным материалом в процессе горячего прессования. Наилучшей химической совместимостью с оксидом алюминия и муллитом обладают волокна оксида алюминия, однако они разупрочняются при температуре выше 1270 К . При таких низких температурах не достигается необходимое уплотнение ксерогелей, следовательно, не может произойти повышение прочности. Однако при армировании муллита при объемной доле углеродного волокна с покрытием SiC 40 % значение K_{1C} возрастает от 4 до $7 \text{ МН/м}^{3/2}$.

Используются композиции с керамической матрицей из оксида алюминия, армированной нитевидными кристаллами Al_2O_3 и SiC . К наиболее часто встречающимся технологическим проблемам относятся прилипание композита к форме и растрескивание при сушке, а также сегрегация армирующих волокон. Поэтому в шихту добавляют определенные флокулянты, форму смазывают специальным веществом, растрескивание исключают введением глицерина. Композиты получают двумя способами — либо заливая золь на предварительно подготовленный мат или ткань, либо многократным погружением ткани в раствор с последующим нагревом до 570 К . Метод многократной пропитки с промежуточным отжигом при 670 К позволяет значительно повысить плотность. Окончательный отжиг производят при 1470 К . Это позволяет избежать операцию горячего прессования.

Из этих материалов изготавливают фасонные изделия, которые могут быть обработаны на станке, в изделие вводятся упрочняющие ребра жесткости, усиливающие конструкцию. Волокна из оксида

алюминия находят широкое применение в качестве высокотемпературной теплозащиты в космонавтике и огнеупорной промышленности. Используется нетканый материал из оксида алюминия, армированный пучками из того же оксида алюминия.

3.6. «ВЯЗКАЯ» КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ, АРМИРОВАННЫХ ТУГОПЛАВКИМИ ВОЛОКНАМИ

Большие перспективы открываются при применении «вязкой» керамики на основе оксидов алюминия, муллита, оксидов цинка, магния и нестабилизированных волокон диоксида циркония. Прочность у таких материалов сохраняется на одном и том же уровне после отжигов в течение многих сотен часов при температуре 1270 К, тогда как прочность КМ, армированных стабилизированными волокнами ZrO_2 , очень уменьшается уже при первом увеличении температуры до 1270 К. Аналогичная ситуация наблюдается при использовании в качестве упрочнителя частицы частично стабилизированного диоксида циркония.

Исходный порошок, содержащий 17 % ZrO_2 , получают методом совместного соосаждения соответствующих сульфатов алюминия и циркония, а образцы КМ — методом изостатического прессования при 600 МПа и спекания заготовок на воздухе при температуре 1270—1570 К. Результаты исследований показали, что в КМ на основе Al_2O_3 , содержащих моноклинный диоксид циркония в качестве упрочняющей фазы, при напряжениях стимулируется фазовый переход в тетрагональную модификацию. Этот переход способствует повышению ударной вязкости и прочности керамических материалов из Al_2O_3 , армированных моноклинными частицами диоксида циркония.

Композиты изготавливают из рубленых волокон Al_2O_3 (10 %), смешивая их с порошком ZrO_2 стабилизированным 3,5 мол. % оксида иттрия, выпускаемым фирмой Zircar. Волокна диспергируют в порошковой матрице методом смешения, полученную смесь изостатически прессуют при давлении 310 МПа и спекают при 1795—1820 К в течение 2 ч. Затем некоторые из деталей подвергают горячему изостатическому прессованию при 1795 К в течение 1 ч. Полученная плотность композита составляет 92—95 % от теоретической. Детали, изготов-

ленные спеканием, имеют плотность на 30 % ниже. Небольшая твердость $HV = 1300$ получена на деталях после горячего прессования, максимальная вязкость разрушения $12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ — на изделиях, не подвергнутых горячему прессованию. Микроструктурные исследования испытанных материалов показали наличие ветвления и отклонения трещин, которые вместе с мартенситным переходом также повышают вязкость разрушения. Дальнейшее увеличение вязкости разрушения можно обеспечить, регулируя свойства границы раздела волокон — матрица и выбирая оптимальные режимы спекания — прессования.

3.7. «ВЯЗКАЯ» КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Такая керамика изготавливается из композиционных порошков, волокон в виде теплоизоляционных высокотемпературных материалов на основе оксидов кремния, алюминия, циркония и гафния. Материалы из оксидов циркония и гафния, содержащие 87—92 % ZrO_2 , обладают плотностью 0,48—1,44 г/см³, пористостью 70—91 %. Они устойчивы при температурах до 1770—2470 °К, из них изготавливают ткань толщиной 0,2—2,5 мм, которая используется в качестве эластичной изоляции. Керамика на основе диоксида циркония, легированного оксидом магния, обладает довольно высоким коэффициентом вязкостного разрушения 3—10. Для сравнения K_{c1} литого железа равно 26, а стекла $0,5 \frac{\text{МН}}{\text{М}^{3/2}}$. Такое повышение K_{c1} можно объяснить тем, что спонтанно образующаяся и быстро распространяющаяся трещина внезапно наталкивается на области высокотемпературной фазы. Энергия распространения трещины релаксируется мгновенно, переводя эту фазу в низкотемпературную, что приводит к рассеиванию напряжений в материале и остановке движущейся трещины. Именно поэтому использование 3—7 % MgO , CaO , Y_2O_3 в качестве стабилизатора высокотемпературной фазы ZrO_2 в виде волокон или порошка позволяет получать композиции с высокими «вязкостными» характеристиками.

Вызывает интерес применение «вязкой» керамики, изготовленной в виде трубы из новой группы композиционных материалов, называемой «сиконех». Они обладают трехмерной волокнистой структурой «нихтель», покрытой слоем SiC, полученным методом газофазного осаждения. Трубы диаметром 12,5—120 мм, изготовленные таким способом, выдерживают до температуры 1530—1670 К, что выше рабочих температур наилучших жаропрочных сплавов. Получаемые трубы достаточно тонки. Благодаря их волокнистой структуре они обладают высокой трещиностойкостью, имеют низкую плотность. Например, труба диаметром 15 см и длиной 1,8 м весит всего 9 кг.

3.8. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТНЫХ МАТРИЦ

Из композиционных керамических материалов наиболее широко исследованы материалы на основе силикатных матриц, армированных различными волокнами. В качестве армировки чаще всего используют различного вида углеродные волокна, однако из-за плохого смачивания и интенсивного окисления в процессе формования композиции и последующей эксплуатации при высоких температурах в последнее время отдают предпочтение волокнам из карбида кремния.

Из силикатных КМ достаточно часто применяются композиты с матрицей на основе диоксида кремния (боросиликатное, алюмосиликатное, литневосиликатное, 96 %-е кремнеземистое стекло). Используются для армирования волокна, в том числе с барьерными покрытиями, а также волокна карбида кремния. Волокна протягивают через суспензию стеклянного порошка в пропаноле, наматывают на барабан, режут на слои, которые сушат, укладывают в форму и пресуют в вакууме или аргоне при температуре 1473—1573 К и давлении 3,5—14 МПа, объемная доля волокон при этом достигает 60 %.

Известно, что стекло характеризуется исключительно низкой вязкостью разрушения при комнатной температуре. Введение углеродного волокна в качестве армировки увеличивает K_{c1} , повышает вязкость разрушения до $50 \frac{\text{МН}}{\text{М}^{3/2}}$. При этом прочность на изгибе до температуры 1270 К несколько растет в инертной среде (от 500 до

550 МПа) и падает уже при 570 К из-за выгорания углеродного волокна на воздухе.

Стойкость к окислению углекерамических материалов ограничивается стойкостью углеродных волокон, для увеличения которой последние покрываются защитными слоями, например, карбидом кремния толщиной 0,2—0,6 мкм. Однако прочность волокон с покрытиями падает при этом в 2—3 раза. В случае непокрытых угольных волокон прочность при изгибе снижается на 36—72 % после окисления в течение 45 мин, а при использовании волокон с покрытием — на 16 % после 50 ч и на 30 % после 150 ч окисления.

Значительного увеличения прочности при растяжении удастся достичь при использовании в качестве армирующей фазы волокон углеродного волокна с покрытием SiC. Наивысшее значение прочности при изгибе составляет 600—900 МПа. Эта величина соответствует правилу смесей при объемной доле армировки 50 %. С дальнейшим увеличением содержания волокон прочность понижается из-за неравномерности пропитки. Прочность при растяжении этого материала составляет 1800 МПа.

При циклических испытаниях при комнатной температуре КМ армированный углеродным волокном с покрытием из карбида кремния, выдерживает 10^5 циклов нагружения с нагрузками, равными 65% от статической прочности при изгибе. Если нагружение составляет 80 % от статической прочности, изделия из КМ разрушаются после 100 циклов.

Преимуществом КМ на основе стеклянных матриц и углеродных волокон является повышенная деформируемость и вязкость разрушения этих КМ, которые позволяют производить механическую обработку, в том числе точение и нарезание резьб, горячую обработку давлением. Недостатком указанных материалов является относительно низкая стойкость в окислительной среде при высоких температурах.

Этот недостаток устраняется, например, при использовании в качестве армирующей фазы непрерывных волокон из оксикарбида кремния диаметром 15 мкм. В описываемой композиции при объемном содержании армировки 35—40 % плотность материала близка к теоретической. В нем наблюдается хрупкое разрушение, при этом трещина проходит через матрицу и волокно. С целью уменьшения последнего ослабляют связи между волокном и матрицей, что достигается во время термообработки при температуре не выше 1070 К. До

этой температуры наблюдается выдергивание волокон из матрицы, выше — прочностные характеристики значительно снижаются в окислительной среде в результате окисления поверхностей раздела волокна и матрицы, сопровождающимся повышением прочности их сцепления, и охрупчиванием, КМ в целом.

В последнее время значительный интерес вызывают КМ, получаемые с использованием гель-технологии, наиболее полно применяются материалы на основе кварцевого стекла. Выбор армирующего элемента (волокна Al_2O_3 и $PbC-SiC$) обусловлен температурой горячего прессования конечного продукта, которая составляет 1870 К. Углеродные волокна реагируют с материалом матрицы при 1770 К, поэтому они используются только с барьерными покрытиями из карбидов кремния, титана, нитрида титана. Во всех случаях оптимальное содержание волокон составляет 50 %.

Оптимальным по жаропрочности оказались КМ на основе кварцевого стекла и волокон оксида алюминия, получаемых при температуре 1870 К. При 1970 К происходит деградация волокон за счет поверхностного взаимодействия с матрицей, что сопровождается падением прочности КМ от 250 до 25 МПа.

Наиболее существенное увеличение прочности на изгибе при удовлетворительной трещиностойкости достигается при использовании метода горячего прессования. Так, при смешении нитевидных кристаллов SiC с порошком стекла, состоящим из $MgO-25$, Al_2O_3-21 , $SiO-54$ %, после горячего прессования в атмосфере аргона полученные композиции с объемным содержанием волокон до 30 % обладают плотностью 99 % от теоретической. При этом прочность на изгибе и трещиностойкость КМ увеличиваются соответственно от 170 до 490 МПа и от 1,2 до 3,7 МПа·м^{1/2}. При увеличении содержания волокон SiC от 0 до 30 % повышение прочности, по-видимому, связано с превышением трещиностойкости обусловленным процессами торможения трещины.

Керамические композиты на основе диоксида кремния и тугоплавких волокон в настоящее время находят наиболее широкое применение в качестве теплозащитных материалов в огнеупорной промышленности и космонавтике. Синтезирован материал на основе SiO_2 , армированный волокнами из оксида алюминия и нитрида бора (≈ 3 %). Его прочность на изгибе в 2—3 раза выше, чем у существующих КМ такого же класса, хотя плотность на 10 % ниже. Испытания

показали продолжительную работоспособность новых КМ при температуре 1690 К, они выдерживают многократный нагрев до более высоких температур, причем стабильность размеров изделий из новых КМ при высокой температуре на порядок выше, чем у наиболее термостабильных из имеющихся материалов. Этот класс материалов предполагается также использовать для изготовления деталей газотурбинного двигателя, таких как его корпус, корпус камеры сгорания, лопатки, диски, плиты, уплотнения, футеровка камеры сгорания. Например, для этой цели можно использовать КМ на основе алюмосиликатного, магнийалюмосиликатного стекла с добавками металлического титана, однонаправленно армированными волокнами из карбида кремния. Эти материалы обладают прочностью на изгиб в осевом направлении 170 МПа, высокотемпературной прочностью, коррозионной устойчивостью, стойкостью к высоким температурам и хорошими изоляционными свойствами.

3.9. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БОРИДОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Бориды тугоплавких металлов TiB_2 , ZnB_2 характеризуются высокой твердостью, износостойкостью, обладают металлическими свойствами, очень высокой температурой плавления. Их используют в качестве износостойких и защитных покрытий. ZnB_2 используют для изготовления термопар, работающих в среде расплавленных металлов. Одним из основных недостатков керамики является ее **хрупкость**, так как для распространения трещины в керамическом материале расходуется энергии в тысячу раз меньше, чем в металлах. Снижения хрупкости добиваются путем введением в состав диоксида циркония, армирования керамики волокнами из *хрома, никеля, ниобия, вольфрама*. Применяется также специальная технология формирования в структуре микротрещин (рис. 3).

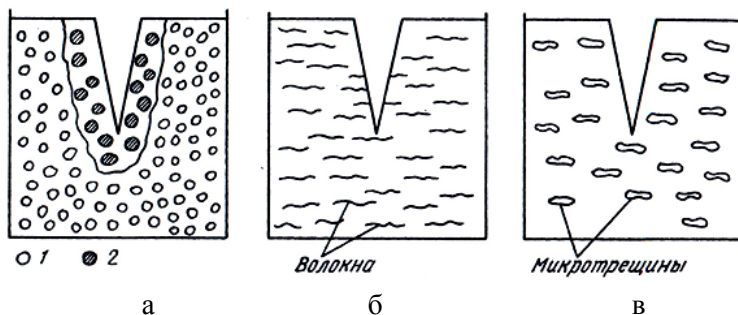


Рис. 3. Схема упрочнения конструкционной керамики включениями ZrO_2 (а), волокнами (б) и мелкими микротрещинами (в): 1 – тетрагональный ZrO_2 2 – моноклинный ZrO_2

Первый способ основан на том, что в диоксиде циркония ZrO_2 под давлением происходит полиморфное превращение тетрагональной кристаллической структуры в моноклинную, имеющую на 3-5% больший объем. Расширяясь, зерна ZrO_2 сжимают трещину, и она теряет способность к распространению. Второй способ состоит в создании композиционного материала. Введенные в керамику волокна встречают распространяющуюся трещину и останавливают ее рост. Третий способ состоит в том, что с помощью специальных технологий весь керамический материал пронизывают микротрещинами. При встрече основной трещины с микротрещиной угол в острие трещины возрастает, происходит затупление трещины, и она дальше не распространяется.

4. КЕРАМИКА В ДВИГАТЕЛЯХ

Конструкционная керамика допускает применение более высоких температур по сравнению с металлом и поэтому является перспективным материалом для двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных двигателей. Помимо более высокого КПД двигателей за счет повышения рабочей температуры преимуществом керамики является низкая плотность и теплопроводность, повышенная термо-

износостойкость. Кроме того, при ее использовании снижаются или отпадают расходы на систему охлаждения.

Вместе с тем следует отметить, что в технологии изготовления керамических двигателей остается ряд нерешенных проблем. К ним, прежде всего, относятся проблемы обеспечения надежности, стойкости к термическим ударам, разработки методов соединения керамических деталей с металлическими и пластмассовыми.

Наиболее эффективно применение керамики для изготовления дизельных адиабатных поршневых двигателей, имеющих керамическую изоляцию, и высокотемпературных газотурбинных двигателей. Компания «Cammin Engine» (США) освоила производство двигателя грузовика с плазменными покрытиями из ZrO_2 , нанесенными на днище поршня, внутреннюю поверхность цилиндра, впускные и выпускные каналы. Экономия топлива на 100 км пути составила более 30 %. Фирма «Isuzu» (Япония) сообщила об успешной разработке керамического двигателя, работающего на бензине и дизельном топливе (рис. 4).



Рис. 4. Детали двигателя на основе оксидной керамики

Двигатель развивает скорость до 150 км/ч, коэффициент полноты сгорания топлива на 30-50 % выше, чем у обычных двигателей, а масса на 30 % меньше.

5. РЕЖУЩИЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ

Режущая керамика характеризуется высокой твердостью, в том числе при нагреве, износостойкостью, химической инертностью к большинству металлов в процессе резания. По комплексу этих

свойств керамика существенно превосходит традиционные режущие материалы – быстрорежущие стали и, твердые сплавы. Для изготовления режущего инструмента применяют керамику на основе оксида циркония, карбидов и нитридов титана, а также нитрида бора и нитрида кремния.

Режущие керамические пластины используются для оснащения различных фрез, токарных резцов, специальных инструментов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материаловедение служит для решения задач рационального выбора материала для конкретного изделия, работающего в определенных условиях современного производства. Нередко эти условия являются очень специфичными: низкие или высокие температуры, агрессивные химические среды, знакопеременные циклические нагрузки, особые условия трения и т.д. Часто материалы работают в условиях одновременного воздействия нескольких факторов. Поэтому при выборе материала в первую очередь требуется всесторонне рассмотреть условия его работы с учетом влияния наиболее важных факторов.

Важнейшим этапом выбора материала должен быть процесс определения комплекса необходимых свойств материала, обеспечивающих надежную и долговечную работу конструкций, машин и оборудования в заданных условиях эксплуатации. Так как конструкционные материалы характеризуются механическими, физико-химическими и технологическими свойствами, то рассматривать необходимо всю гамму свойств, особенно если в конструкции должны работать разные материалы.

Выбор материала для конкретного применения должен основываться также на стоимости рассматриваемых материалов с учетом экономической рациональности.

Использование при выборе материалов, ранее хорошо зарекомендовавших себя в подобных конструкциях и изделиях из аналогичного материала, вполне оправдано, но может привести к отказу от совершенствования конструкций и изделий. Для целого ряда изделий новой техники, особенно специального назначения, оказывается необходимым разрабатывать принципиально новые материалы с

более высоким комплексом свойств, ранее недоступным у серийных материалов.

Для установления сложной взаимосвязи между химическим составом, технологией получения материала, его структурой и свойствами в настоящее время используются научные исследования и эксперименты с применением моделирования условий эксплуатации изделия, в том числе с помощью компьютерных программ. Оптимизация многофакторных технологий проводится с учетом современных производственных возможностей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение керамических материалов.
2. Назовите основные преимущества керамики.
3. Назовите основные недостатки керамических материалов.
4. Дайте определение композиционных материалов.
5. Приведите примеры классификации композиционных материалов.
6. Дайте общую характеристику композиционных материалов на основе бескислородных матриц.
7. Дайте общую характеристику композиционных материалов на основе нитрида кремния.
8. Дайте общую характеристику композиционных материалов на основе карбида кремния.
9. Дайте общую характеристику композиционных материалов на основе тугоплавких оксидов.
10. Дайте общую характеристику композиционных материалов на основе оксида алюминия.
11. Дайте общую характеристику «вязкой» керамики на основе тугоплавких оксидов, армированных тугоплавкими волокнами.
12. Дайте общую характеристику «вязкой» керамики на основе диоксида циркония.
13. Дайте общую характеристику композиционных материалов на основе силикатных матриц.
14. Дайте общую характеристику композиционных материалов на основе боридов тугоплавких металлов.
15. Перечислите области применения керамики.
16. назовите особенности керамического режущего инструмента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенко Г.А. Технология конструкционных материалов. Обработка резанием [Текст]: учебное пособие/ Г.А. Борисенко, Г.Н. Иванов, Р.Р. Сейфулин.- М.: ИНФРА-М, 2012.-142

2. Солнцев, Ю. П. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Б. С. Ермаков, В. Ю. Пирайнен ; под ред. Ю. П. Солнцев. —СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. — 504 с. —Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67356.html>

3. Гарифуллин, Ф.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Ф.А. Гарифуллин, Р.Ш. Аюпов, В.В. Жилияков ; - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. - 248 с. : ил., табл. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258639>