

МЧС РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«УРАЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ

СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ

ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

 И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»

Кафедра сервис безопасности

 Реферат

 по дисциплине: «Материаловедение»

 на тему: «Композиционные материалы на металлической основе»

Выполнил: студент учебной группы

СЭв-122 ФУиКБ Хаматнуров Рустам Фаритович

Руководитель: кандидат физико-математических наук Калентьев В.А.

 Екатеринбург

 2022

Оглавление

Введение 2

Глава 1. Характеристика металлических композиционных материалов 3

1.1. Особенности МКМ 4

1.2. Типы матричного материала 5

1.3. Типы упрочняющих наполнителей 8

1.4. Методы получения МКМ 11

Глава 2. Виды композиционных материалов 13

2.1. Полимерные композиционные материалы 13

2.2. Керамические композиционные материалов 15

2.3. Дисперсионно-упрочненные сплавы 20

Глава 3. Применение металлических композиционных материалов 26

Заключение 30

Список литературы 31

Введение

Композиционные материалы на металлической основе (КМ) –относительно новый класс гетерофазных конструкционных материалов, который активно развивается во всем мире и находит все более широкое применение в существующих и перспективных изделиях в различных областях промышленного производства. Уникальное сочетание свойств (высокие удельные жёсткость и прочность, вязкость разрушения, электро- и теплопроводность, износостойкость и пр.) характерно для металломатричных композиционных материалов(МКМ), в состав которых входят пластичные металлические матрицы и высокомодульные, высокопрочные волокнистые и/или дисперсные наполнители. Применение перспективных материалов в производстве даёт возможность существенно повысить эксплуатационные характеристики изделий, главным образом ограничивающих их общую надёжность и промышленные показатели ресурсосбережения.

Цель работы: исследование композиционных компонентов на металлической основе.

Задачи:

* Понять что такое композиционные материалы;
* Изучить типы композиционных материалов;
* Найти применение металлическим композиционным материалам.

Глава 1. Характеристика металлических композиционных материалов

1.1 Особенности МКМ

Металлические композиционные материалы представляют собой такие материалы, в которых матрицей выступают металлы и их сплавы, а арматурой - металлические и неметаллические волокна.В МКМ конструкционного назначения армирующие элементы (нитевидные кристаллы, поликристаллические и аморфные неметаллические волокна, металлические проволоки) воспринимают нагрузку, а металлическая матрица передает нагрузку волокнам и распределяет её между ними. Поэтому механические свойства МКМ зависят, прежде всего, от свойств волокон.

Композиционные материалы на металлической основе (металло-матричные КМ (МКМ)) имеют более высокие значения физико-механических, теплофизических и других характеристик, зависящих от свойств матрицы. В МКМ сочетаются достоинства конструкционных металлических материалов и наполнителя различной природы. Это, прежде всего, временное сопротивление и модуль упругости при растяжении в направлении, перпендикулярном оси армирующих волокон, прочность при сжатии и изгибе, пластичность, вязкость разрушения, теплопроводность и др. Кроме того, КМ с металлической матрицей сохраняют свои прочностные характеристики до более высоких. температур, чем многие материалы с неметаллической основой. Они более влагостойки, негорючи, обладают электрической проводимостью, малой чувствительностью к поверхностным дефектам. Положительным моментом является возможность использования традиционного оборудования для изготовления МКМ. С другой стороны, значительные сложности при производстве МКМ вызывают высокая температура их получения и взаимодействие армирующего наполнителя и матрицы, приводящие к деградации их свойств. Кроме того, различное термическое расширение наполнителя и матрицы приводит к разрушению композита при термо-циклировании. Наконец, композит может иметь меньшую коррозионную стойкость, чем матрица, вследствие изменения микроструктуры композита и разницы электрохимического потенциала наполнитель-матрица.

1.2. Типы матричного материала

Выбор матричного материала определяется требованиями совместимости его с материалом арматуры, а также технологическими и эксплуатационными характеристиками. Совместимостью называют способность арматуры сохранять форму и структуру, а, следовательно, и высокую прочность, как в процессе изготовления МКМ, так и в условиях его эксплуатации. Наиболее остро проблема совместимости возникает в МКМ, где арматурой служат металлические волокна, т.к. они подвержены химическому взаимодействию с матрицей и взаимной диффузии. Эти явления могут привести к растворению и рекристаллизации волокон, возникновению хрупких фаз на границе раздела волокно - матрица и, как следствие, к разупрочнению арматуры и материала в целом.

К технологическим требованиям относят способность компонентов материала, и в первую очередь матрицы, подвергаться тому или иному виду пластической деформации, литья, порошковой металлургии и пр. Эксплуатационные свойства МКМ характеризуются способностью противостоять воздействию внешней среды (температуры, давления, вибрации, коррозии и т.д.). Поскольку матрица оформляет конфигурацию изделия из МКМ и в большей степени, чем волокна, граничит с внешней средой, при выборе матричного материала необходимо учитывать и его сопротивление рабочим температурам, коррозии, эрозионному износу и т.п.

В качестве матричных материалов при изготовлении МКМ используют промышленные металлы и сплавы, которые уже применяются в различных областях техники, а также новые сплавы, разработанные специально для армирования их тем или иным видом волокон. В зависимости от условий эксплуатации, и в первую очередь от рабочих температур, в МКМ используют следующие матричные материалы:

* лёгкие металлы и их сплавы (на основе алюминия и магния);
* титан и сплавы на его основе;
* медь и её сплавы;
* жаростойкие и жаропрочные сплавы на основе железа, никеля и кобальта;
* тугоплавкие металлы и сплавы.

Все перечисленные металлические матрицы по технологическому принципу можно разделить на три больших класса: деформируемые, литейные и порошковые.

1. К деформируемым алюминиевым сплавам относят не упрочняемые термической обработкой сплавы марок АМц, АМг, АМг3 и др., Основными легирующими элементами являются марганец и магний. Эти сплавы обладают, хорошей пластичностью, коррозионной стойкостью, свариваемостью, но сравнительно небольшой прочностью. Большую группу деформируемых алюминиевых сплавов составляют упрочняемые термической обработкой дюралюмины (Д1, Д16 и др.) и сплавы групп АВ, АК, В95. После термической обработки (закалки и искусственного старения) эти сплавы имеют повышенную механическую прочность.Из литейных алюминиевых сплавов наиболее распространены силумины, которые обладают хорошими литейными свойствами и в качестве основного легирующего элемента содержат 4 - 13% Si. Однако они малопластичны, имеют низкую ударную вязкость и коррозионную стойкость. Теплостойкость силуминов также невелика.Весьма перспективны для жаропрочных МКМ на алюминиевой основе матричные материалы типа САП (спечённый алюминиевый порошок), которые представляют собой алюминий, упрочнённый дисперсными частицами AL2O3. Главное преимущество САП в их высокой жаропрочности. Кроме того, эти материалы хорошо обрабатываются давлением и резанием, обладают высокой коррозионной стойкостью.
2. Магний и его сплавы выгодно отличаются от других конструкционных материалов низкой плотностью, относительно высокими механическими свойствами, хорошей способностью сопротивляться ударным нагрузкам и вибрациям. Такие деформируемые магниевые сплавы как МА5, МА8-1, технологически пластичны и хорошо обрабатываются давлением. Сплав МА2-1 легко поддаётся прокатке и всем операциям листовой штамповки: гибке, отбортовке, вытяжке (при нагреве до 250 - 300С). Кроме того, он хорошо сваривается аргоно-дуговой сваркой.При 20С этот сплав обладает прочностью 280 - 290 МПа, а его относительное удлинение составляет 16 -18 %. Литейные магниевые сплавы, такие как МЛ5, МЛ12, МЛ15, обладают хорошей жидкотекучестью и малой линейной усадкой 1,3 - 1,6%. После термической обработки (старения) они значительно упрочняются. Их обрабатывают методами литья в песчаные формы, в кокиль и под давлением.Из листовых МКМ наиболее распространены тонкие листы или фольга, получаемые прокаткой.
3. Титан и его сплавы обладают ценными физико-механическими свойствами. При малой плотности (4,5 г/см3) титановые сплавы могут иметь предел прочности от 500 (для нелегированного титана) до 1500МПа (для сплавов). Технический титан ВТ1 и большинство сплавов титана, например ВТ5, ВТ3, ВТЛ-1, имеют хорошие литейные свойства и применяются для производства фасонных и тонкостенных отливок. Мелкие фасонные отливки (до 15 кг) изготовляют литьем в оболочковые формы из графита. Титан и его сплавы можно обрабатывать давлением, особенно в горячем состоянии в интервале температур 600 - 1200С, всеми известными способами.
4. Медь, имеющая высокую электро- и теплопроводность в сочетании с высокой коррозионной стойкостью, широко применяется в электротехническом аппаратостроении. В технологическом отношении медь очень удобный металл, так как она хорошо куётся, прокатывается в пруток, ленту, фольгу, протягивается в проволоку. Многие медные сплавы обладают хорошими литейными свойствами и их часто используют для получения фасонных отливок методом точного литья.
5. Из металлических матриц на основе железа, никеля и кобальта при создании МКМ чаще всего применяют окалиностойкие и жаропрочные стали и сплавы. Окалиностойкими (жаростойкими ) обычно называют стали и сплавы, обладающие стойкостью против разрушения поверхности в газовых средах при нагревании выше 500С и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии (нихромы, сильхромы и т.д.). Армирование таких сплавов тугоплавкими волокнами позволяет резко повысить их жаропрочность и использовать их при температурах на 150 - 200С выше, чем рабочие температуры неармированных матриц. Жаропрочные сплавы также обладают значительной окалиностойкостью, но главное их качество - это способность работать в нагруженном состоянии при высоких температурах. Повышенная длительная прочность, высокое сопротивление ползучести и усталости в никелевых сплавах достигается за счет введения Ti и AL, образующих дисперсные упрочняющие фазы, а также при легировании тугоплавкими элементами (W, Mo, Nb), упрочняющими твёрдый никелевый раствор, и малыми добавками бора, церия и других элементов. Примеры таких сплавов - деформируемые сплавы ЭИ437А, ЭИ437Б, ЭИ617 и др. Методами порошковой металлургии стало возможно получить МКМ с матрицей из особо тугоплавких металлов - ниобия, вольфрама, молибдена и сплавов на их основе. Чаще всего такие матрицы подвергают дисперсионному упрочнению частицами тугоплавких соединений примерно равноосной формы с размерами в пределах 0,01 - 0,1 мкм. Волокнистыми наполнителями (усами, волокнами тугоплавких соединений) эти матрицы армируют для того, чтобы придать им особые эксплуатационные характеристики - ударопрочность, термостойкость, специальные физические свойства. Создавая такие МКМ, используют матричный материал в виде тонких порошков с размерами 0,1 - 5 мкм, тонкой металлической фольги толщиной 10 – 100 мкм, а также применяют различные методы осаждения матрицы на волокна с последующим уплотнением покрытых волокон горячим прессованием, прокаткой и т.д.

1.3. Типы упрочняющих наполнителей

По типу упрочняющих наполнителей МКМ подразделяют на дисперсно-упрочненные, волокнистые и слоистые:

* Дисперсно-упрочненный МКМ ‒ материал, в металлической мат-рице которого равномерно распределены мелкодисперсные частицы второго вещества. В таких материалах при нагружении всю нагрузку воспринимает матрица, в которой с помощью множества практически не растворяющихся в ней частиц второй фазы создаётся структура, эффективно сопротивляющаяся пластической деформации. В дисперсно-упрочненные МКМ искусственно вводят мелкие равномерно распределенные тугоплавкие частицы карбидов, оксидов, нитридов и других, не взаимодействующие с матрицей и не растворяющиеся в ней вплоть до температуры плавления фаз. Чем мельче частицы наполнителя и меньше расстояние между ними, тем прочнее МКМ.
* У волокнистых МКМ матрица (чаще всего пластичная) армирована высокопрочными или высокомодульными волокнами, проволокой, нитевидными кристаллами. Задача волокнисто-армированных структур состоит не в том, чтобы исключить пластическое деформирование матричного материала, а в том, чтобы при его деформации обеспечивалось нагружение волокон и использовалась бы их высокая прочность. Армирование волокнистых МКМ может осуществляться по одноосной, двухосной и трехосной схеме. Прочность и жёсткость таких материалов определяется свойствами армирующих волокон, воспринимающих основную нагрузку. Армирование даёт больший прирост прочности, но дисперсное упрочнение технологически легче осуществимо.
* Слоистые МКМ набираются из чередующихся слоёв наполнителя и матричного материала (типа «сэндвич»). Слои наполнителя могут иметь различную ориентацию. Возможно поочерёдное использование слоёв наполнителя из разных материалов с разными механическими свойствами.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал матрицы | Системы матричных сплавов | Армирующие компоненты |
| Аллюминиевые сплавы | Al, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu-Mg-Ni | Волокнистые: C, SiC, Al2O3, B, стальная и титановая проволока.Дисперсные: SiC, Al2O 3, C, TiC, TiB2, B4C, AlN, Si3N4, SiO2, WC, VC, NbC, ZrC, ZrO2, ZrB2, TaC, HfC, Fe, Al3Ti, Al3Ni, Al3Zr |
| Магниевые сплавы | Mg, Mg-Al, Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr, Mg-Li | Волокнистые: C, SiC, Al2O3, B, стальная и титановая проволока. Дисперсные: SiC, Al2O3, MgO, Mg2Si, TiC, TiB2, AlN, Cu, Ni, Ti |
| Титановые сплавы | Ti, Ti-Al, Ti-Al-V, Ti Mo, Ti-Si, Ti-Al-Si, Ti Al-Zr-Si | Волокнистые: C, SiC, Al2O3, Ве, В, Mo, W, стальная и титановая проволока. Дисперсные: SiC, TiC, WC, TiB2, NbC, ZrC, VC, TaC |
| Медные сплавы | Cu, Cu-Al, Cu-Al-Fe, Cu-Sn-Zn, Cu-Zn, Cu Nb, Cu-Ti | Волокнистые: C, SiC, Al2O3, стальная и титановая проволока.Дисперсные: C, SiC, Al2O3,ZrO2, TiC, TiB2, WC, Nb 3Sn,NbC |
| Цинковые сплавы | Zn, Zn-Al, Zn-Al-Cu | Волокнистые: C, SiC, Al2O3, стальная и титановая проволока.Дисперсные: SiC, Al2O3, C, TiC, TiB2, ZrC, Al3Ti, Ti, Ni |

Табл.1 Матричные материалы и армирующие компоненты МКМ

Существуют различные технологии изготовления МКМ, упрочненных наполнителями. Выбор технологии зависит как от назначения, так и от условий эксплуатации будущего изделия. При изготовлении МКМ необходимо обеспечить ряд определённых требований: совместимость составляющих, распределение (равномерное или функциональное) армирующего наполнителя, заданный уровень прочности связи по границе раздела матрица ‒ наполнитель, простоту и экономичность процесса.

1.4. Методы получения МКМ

Методы получения и обработки композиционных материалов с металлической матрицей:

* химические (химического осаждения) и электрохимические (гальванические);
* газо- и парофазные (вакуумное осаждение паров, газотермическое нанесение покрытий: плазменные, газопламенные, электродуговые, высокочастотные);
* жидкофазные (направленная кристаллизация, протягивание жгутов и волокон через расплав, введение порошковых добавок в расплавы металлов, пропитка жгутов и каркасов волокон: вакуумная, компрессионная, при нормальном давлении, вакуумно-компрессионная);
* твердофазные (импульсные: сварка взрывом, магнитно-им-пульсное компактирование, гидроимпульсное компактирование, электроимпульсное компактирование; статические: диффузионная сварка, гидростатическое компактирование, спекание под давлением, изоста-тическое компактирование, термокомпрессионное компактирование, прессование, статическая формовка; динамические: прокатка, волочение, динамическое горячее прессование, роликовая формовка, вальцовочная формовка, плазменное напыление и др).
* комбинированные методы.



Рис. 1 Классификация процессов получения и обработки МКМ

Для твердофазных методов характерно использование матрицы в твёрдом состоянии, преимущественно в виде порошка, фольги или компактного металла.

Жидкофазные методы предусматривают получение металлических композитов путём совмещения армирующих наполнителей с расплавленной матрицей. К ним относят методы пропитки наполнителей жидкими матричными сплавами, введение порошковых добавок в расплавы металлов и метод направленной кристаллизации.

При получении металлических композитов методами осаждения-напыления матричный металл наносят на волокна из растворов солей или других химических соединений, из парогазовой фазы, газотермическими методами и т.д. Газофазные методы используют для изготовления КМ, в которых не допускается взаимодействие армирующего наполнителя с жидким матричным материалом.

Комбинированные методы представляют собой последовательное или параллельное применение выше отмеченных методов.

Глава 2. Виды композиционных материалов

2.1. Полимерные композиционные материалы

Полимерными композиционными материалами (ПКМ), или пластиками, называют системы, состоящие из полимерной матрицы (связующего) и упрочняющего наполнителя в виде волокон или порошкообразных веществ.

В настоящее время создана целая индустрия ПКМ. Из них изготавливают баллоны для сжатых газов, корпусы ракетных двигателей, цистерны для нефтепродуктов, лопасти винтов вертолётов, трубы для химических веществ, авиационные шасси, волноводы, понтоны, корпусы лодок, ракетки для тенниса, оружейные стволы, удочки, печатные электросхемы, рессоры автомобилей и многие другие изделия.

Одним из факторов, сдерживающих широкое применение ПКМ, в частности стеклопластиков, была их сравнительно низкая жёсткость. За последние годы в связи с разработкой новых сортов стеклянных волокон с повышенным модулем упругости, а также таких высокомодульных волокон, как углеродные, борные, карбидокремниевые, удалось резко повысить жесткость пластиков. Угле - и боропластики имеют модуль Юнга, близкий к стали, а по удельной жёсткости в несколько раз превосходят промышленные металлы. Это дало возможность применять ПКМ в ответственных, сильно нагруженных конструкциях, которые раньше изготавливались исключительно из металлов.

Во многих случаях, когда от изделий требуется высокая несущая способность при минимальном весе, высокопрочные и высокомодульные пластики оказываются эффективнее металлов. Кроме высоких механических характеристик и низкого удельного веса к числу ценных качеств ПКМ следует отнести их стойкость к воздействию кислот, щелочей, органических растворителей, масел и морской воды. Армированные пластики технологичны, обладают высокой демпфирующей способностью и вибростойкостью, радиопрозрачностью, тепло- и электроизоляционными свойствами, нечувствительностью к магнитному полю. Технологические процессы их производства можно полностью автоматизировать и механизировать, изделия из них имеют красивый внешний вид и не требуют специальной защитной окраски.

Основные преимуществами новых ПКМ по сравнению с МКМ: простота изготовления, технологичность, дешевизна, низкая плотность. Основной их недостаток - ограниченный температурный интервал эксплуатации, сравнительно низкие значения межслойной сдвиговой прочности и отрыва. Современные полимерные связующие могут обеспечить работоспособность изделий из них до температур, не превышающих 300 - 400С.

Следует напомнить, что молекулы полимеров представляют собой соединения, состоящие из большого числа элементарных звеньев - мономеров. Строение молекул полимеров и химическая природа мономеров определяют свойства полимерных материалов.Как было отмечено ранее, по поведению при нагреве и охлаждении полимерные материалы принято разделять на термопластичные и термореактивные.

В качестве связующих для конструкционных ПКМ, работающих под нагрузками, в подавляющем большинстве случаев используют термореактивные смолы. Выбор связующего определяет особенности технологии изготовления ПКМ и его эксплуатационные свойства. Наиболее широко в производстве конструкционных ПКМ применяют эпоксидные, полиэфирные, фенольные, кремнийорганические и полиамидные смолы.

2.2. Керамические композиционные материалов

Керамические композиционные материалы (ККМ) представляют собой материалы, в которых матрица состоит из керамики, а арматура - из металлических или неметаллических, волокнистых наполнителей. Армированные волокнами материалы на основе порошковых комбинированных матриц, в которые входят тугоплавкие неметаллические частицы и металл - связка, условно будем относить также к ККМ.

Керамические материалы характеризуются высокими точками плавления, высокой прочностью на сжатие, сохраняющейся при достаточно высоких температурах, и высокой стойкостью к окислению. Эти свойства керамики в течении многих веков использовались при изготовлении футеровки печей, огнеупорных изделий и т.д. В настоящее время требования к керамике, как к конструкционному изделию значительно возросли. Наряду с перечисленными свойствами от неё требуется высокая прочность на растяжение и ударная вязкость, стойкость к вибрациям и термоудару. Такими свойствами обладают, например, некоторые металлы. Сопоставление свойств керамики и металлов привело к попыткам создать КМ, в которых керамическая матрица сочетается с металлическими включениями в виде порошка. Так появились керметы. Дальнейшими исследованиями было установлено, что еще больший эффект дает введение в керамическую матрицу волокон металла. Так, чтобы достичь одинаковой с керметом термостойкости, в керамику нужно ввести примерно в 3 раза меньше металла в форме волокон, чем виде порошка. Аналогичные исследования были, затем проведены в области введения в керамическую матрицу керамических волокон.

В ККМ нагрузка переносится с малопрочной матрицы на более прочную арматуру. Однако эффект увеличения предела прочности при растяжении наблюдается у ККМ не всегда. В некоторых случаях композиция получается менее прочной, чем неармированная матрица. Объяснить это можно сочетанием в ККМ малой пластичности с высоким модулем упругости при растяжении. Из-за этого удлинение матрицы при напряжении ее разрушения оказывается недостаточным для того, чтобы передать значительную часть нагрузки армирующим элементам. Увеличение ударной вязкости армированной керамики объясняется лучшим распределением механических усилий, а также ограничением распространения трещин в матрице за счёт армирующих волокон. Аналогично объясняется и повышение стойкости армированной керамики к термоудару.

Для изготовления ККМ применяют три основных метода: горячее прессование, прессование с последующим спеканием и шликерное литье.

Выбирая металлические волокна для армирования, нужно учитывать их способность к рекристаллизации в области высоких температур. Большое значение имеет и геометрия волокон, т.к. на прочность сцепления волокон с матрицей кроме диффузионных и химических процессов влияет и чисто механическое сцепление. Улучшить последнее можно, создавая шероховатость на поверхности волокон ворсовкой их или травлением.

Химическое взаимодействие между волокном и матрицей протекает преимущественно по поверхностям контакта компонентов. Важен и вопрос ориентации волокон. Они могут располагаться в матрице, как направлено, так и хаотично. Знать ориентацию волокон в материале необходимо для выбора схемы его работы. Примером ККМ, в котором модуль упругости матрицы ниже модуля упругости армирующих волокон, может быть армированная вольфрамовой проволокой керамика, состоящая из 50% каолина, 30% кремнезёма и 20% полевого шпата. Этот матричный состав применяют обычно для электрических изоляторов. У таких композиций волокно в состоянии воспринять на себя значительную часть общей нагрузки даже при малых относительных удлинениях, которые допускает керамика до своего разрушения. При содержании арматуры свыше 40% сопротивление растяжению композиции ухудшается. Это связано с тем, что при больших объёмных содержаниях проволок не удаётся получить беспористый материал.

Керамические композиции с керамическими волокнами имеют некоторые преимущества перед ККМ с металлической арматурой. Это малое различие в значениях модуля Юнга и коэффициентах термического расширения; химическое сродство, жаростойкость оксидов в процессе изготовления и работы КМ и т.д.

Характерными керамическими композициями, для которых армирование волокнами открывает новые области использования, являются, например ККМ на основе оксида хрома. Для изготовления огнеупорных изделий чистый оксид хрома практически не применяют, т.к. он плохо спекается. Его пористость при обычных методах производства керамики составляет 40% и выше, а механические свойства низкие. Существенно повысить прочность и термостойкость оксида хрома удалось использованием в качестве армирующей добавки усов муллита.

Наиболее обширной группой керамических композиционных материалов являются ККМ на основе бескислородной керамики (нитридов и карбидов кремния). Например, армирование нитрида кремния кристаллами муллита 3Al2O3/2SiO2. Основное преимущество этого материала заключается в высокой стойкости к температурам, превышающей стойкость обычного нитрида в 6 - 7 раз, тогда как механическая прочность материала после 200 теплосмен снижается лишь на 10 - 20%.

Высокие прочностные характеристики КМ на основе нитрида кремния позволяют их использовать в качестве быстрорежущего материала. Например используют КМ, состоящий из смеси порошков Si3N4 и Y2O3 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%. Указанные материалы обладают высокой устойчивостью к окислению, термостойки, устойчивы к химическому и абразивному износу и могут быть использованы не только взамен быстрорежущего вольфрамсодержащего инструмента, но и как конструкционный материал, обладающий высокой износоустойчивостью.

В последние годы предпринимаются попытки получить армированные волокнами КМ на основе порошковых композиций из тугоплавких частиц, например, карбидов, и металла-связки (керметы). Это такие материалы, как твёрдые сплавы типа ВК и ТК, армированные тонкими проволоками из вольфрама. Введение вольфрамовой проволоки в твёрдые сплавы ВК3, ВК6, ВК20, Т5К10, Т15К6 увеличивает сопротивление ударным нагрузкам и вибрациям, повышает их износостойкость и способность работать в условиях резких теплосмен. Однако ещё предстоит решить проблему взаимодействия вольфрамовых проволок с металлом-связкой в процессе получения композиций горячим прессованием. Структурно стабильные композиции на основе керметов можно создать легированием металла-связки или нанесением барьерного покрытия на арматуру. Более перспективными армирующими наполнителями для керметов могут стать волокна тугоплавких соединений.

Керметы близки по своему типу к так называемым ДУКМ (дисперсионноупрочненным композиционным материалам). Объёмная доля керамической фазы может составлять 45 - 60 %. Примером керметов являются карбидостали или ферротитаны, в которых стальная матрица упрочнена частицами карбида титана TiC со средним размером 2 - 5 мкм. Это очень износостойкие материалы, используемые в деталях, подверженных износу трением. По режущим свойствам они превышают быстрорежущие стали и только немного уступают твёрдым сплавам, будучи значительно дешевле последних. Так карбидосталь с мартенситной матрицей (0,65%С; 3% Cr; 3% Mo; 1,5% Cu) и 33% TiC при плотности 6,5 г/см3 имеет предел прочности при испытаниях на сжатие 3800 МПа, предел прочности при испытаниях на изгиб 1500 МПа, твёрдость 69 HRC. В обычных инструментальных сталях доля карбидной фазы не может превышать 25%, т.к. иначе сталь становится недеформируемой. Это ограничивает твёрдость и износостойкость этих сталей. Карбидостали лишены этого недостатка. Кроме того, при использовании окалиностойких матриц (12Х18Н10Т) карбидостали имеют очень высокую жаростойкость и стойкость в агрессивных средах.

В отдельную группу ККМ можно выделить сверхпроводящую оксидную керамику (СП) на основе систем Y - Ba - Cu - O (YBa2Cu3O7-х или 123, где цифры - число атомов металлов в соединении), Bi - Sr - Ca - Cu - O (2212) и Bi - Pb - Sr - Ca - Cu - O (2223). Эти СП работают при температурах выше 90 - 105К, т.е. могут охлаждаться жидким азотом. Такие СП выпускают в виде проводов (проволоки, ленты) в серебряной оболочке длиной до 600 м, а также в виде штабиков. цилиндров и т.д.

Интересными и перспективными направлениями использования СП - керамики являются: магнитные подшипники, допускающие скорость вращения до 100 тыс.об/мин; гистерезисные электродвигатели с удельной мощностью в 5 - 7 раз выше, чем у обычных двигателей; транспорт на магнитной подушке.

2.3. Дисперсионно-упрочненные сплавы

В отличии от волокнистых композиционных материалов в дисперсионно-упрочненных композиционных материалах матрица является основным элементом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение в них дислокаций. Высокая прочность достигается при размере частиц 10 - 500 нм при среднем расстоянии между ними 100 - 500 нм и равномерном распределении их в матрице. Прочность и жаропрочность в зависимости от объёмного содержания упрочняющих фаз не подчиняется закону аддитивности. Оптимальное содержание второй фазы для различных металлов неодинаково, но обычно не превышает 5 -10%.

Использование в качестве упрочняющих фаз стабильных тугоплавких соединений (оксиды тория, гафния, иттрия, сложные соединения оксидов и редкоземельных металлов), нерастворяющиеся в матричном металле, позволяет сохранить высокую прочность материала до 0,9 - 0,95Тпл. В связи с этим такие материалы применяют чаще как жаропрочные материалы. Дисперсионно-упрочняемые композиционные материалы могут быть получены на основе большинства применяемых в технике металлов и сплавов.

Т.о., дисперсионноупрочненными сплавами называют КМ, в которые на одной из технологических операций искусственно вводят высокодисперсные равномерно распределенные на заданном расстоянии частицы, не взаимодействующие активно с матрицей и не растворяющиеся в ней заметно, вплоть до температур плавления фаз.

Технология получения ДС заключается в выборе упрочняющей фазы и метода ее введения, определении объемного содержания, а также разработке рациональных режимов деформации и термической обработки. Выбирая упрочняющую фазу, следует исходить из ее термодинамических свойств, диффузионной подвижности в матрице и других параметров, учитывающий условия эксплуатации данной композиции. Объемное содержание упрочняющей фазы определяется технологическими возможностями равномерно распределить входящие в состав сплава компоненты.

В ДС обычно существует два типа структур - агрегатная и дисперсная. В агрегатной структуре частицы упрочняющей фазы окружены несколькими зёрнами матрицы, имеющими различную кристаллографическую ориентацию, в дисперсной же структуре частицы упрочняющей фазы полностью окружены одинаково ориентированной матрицей. Преобладание той или иной структуры определяется способом получения порошковых смесей. При формовании, спекании и термической обработке в полученной композиции по возможности должны сохраняться дисперсность и характер распределения упрочняющей фазы. В некоторых случаях за счёт измельчения частиц при прессовании удаётся существенно улучшить структурные параметры по сравнению с параметрами исходных порошкообразных смесей. Процесс получения ДС должен быть таким, чтобы обеспечить создание стабильной дислокационной структуры, способствующей многократному повышению прочности и сохранению пластичности.

Дисперсионно-упрочненные сплавы называют также дисперсионно-упрочненными композиционными материалами (ДУКМ). ДУКМ имеют металлическую матрицу, а вторая фаза представлена в виде мелких (< 1 мкм) частиц нитридов, оксидов или карбидов. Очень важны - физическая, химическая совместимость материалов в матрице и армирующей фазе. Есть различные примеры таких материалов со специальными свойствами (например, система “медь-графит” для скользящих электроконтактов), но важнейшим видом этих композитов являются - САП, ДС на основе никеля и вольфрама, интерметаллидов.

САП (спечённый алюминиевый порошок) представляет собой композицию, упрочнённую её оксидами (Al2O3). Этот дисперсно-упрочненный материал уже более 20 лет производят в промышленном масштабе. Несмотря на многообразие вариантов технологии производства изделий и полуфабрикатов из САП, все они имеют общие особенности и включают следующие операции: получение порошковых смесей, холодное прессование, предварительное спекание, горячее прессование и выдавливание спечённой алюминиевой заготовки в форме изделия, которые можно подвергать дополнительной термической обработке. Свойства изделий зависят от степени деформации материала. Все марки отечественных и зарубежных сплавов типа САП удовлетворительно деформируются в горячем состоянии, а сплавы с 6 - 9% AL2O3 хорошо деформируются и на холоде. Так, из сплава САП-1 экструзией и холодным волочением можно получить трубы с толщиной стенки 0,4 мм, а прокаткой на специальных станках трубы переменного сечения (с уменьшением сечения 75%) или с поперечными винтовыми рёбрами. Прокаткой листов удаётся получить фольгу толщиной до 0,03 мм. С увеличением содержания упрочняющей фазы характеристики прочности постоянно растут. Отечественные и зарубежные марки сплавов типа САП содержат 4 - 14% AL2O3. При увеличении количества упрочняющей фазы повышаются твёрдость прочность и жаропрочность сплава САП, а пластичность уменьшается. Наиболее распространены сплавы со средним содержанием оксидной фазы 7% (САП-1, SAP - 930), 10 -11%(САП-2, SAP-895) и 13-14% (САП-3, SAP-865).

ДС на основе никеля. В качестве матрицы используют никель и его сплавы с хромом ( 20%) со структурой твердых растворов. Сплавы с такой матрицей обладают высокой жаростойкостью. Упрочнение осуществляется тугоплавкими оксидами AL, Mg, Be, Zr, Co, Ti, Cr и Th, а также дисперсными частицами бескислородных тугоплавких соединений. Временное сопротивление в зависимости от содержания упрочняющей фазы изменяется по кривой с максимумом. Наибольшее упрочнение достигается при содержании 3,5 - 4% упрочняющей фазы на основе гафния. Легирование никелевой матрицы W, Ti, Al, обладающими переменной растворимостью в никеле, дополнительно упрочняет материалы в результате дисперсионного твердения матрицы, происходящего в процессе охлаждения от температур спекания. Методы получения этих материалов достаточно сложны. Они заключаются в смешивании порошков металлического хрома и легирующих элементов с заранее приготовленным (методом химического осаждения) порошком никеля, содержащим дисперсный оксид гафния или другого элемента. После холодного прессования смеси порошков проводят горячую экструзию брикетов. В промышленных масштабах освоены два типа ДС: ТД-никель и ТД-нихром, которые изготавливают в виде труб, прутков, проволоки, листов, фольги и применяют в авиационном двигателестроении.

ДС на основе вольфрама. Для упрочнения вольфрама можно использовать тугоплавкие оксиды, карбиды и нитриды. Чтобы затормозить рост зерен при сварке и повысить эмиссионные свойства, в вольфрам вводят присадки ThO2. В странах СНГ выпускаются сплавы типа ВТ-7, ВТ-10, ВТ-15, ВТ-30, ВТ-50, которые содержат до 5% ThO2. Позднее в качестве упрочнителей вольфрамовой проволоки стали вводить добавки оксидов лантана и иттрия (ВЛ и ВИ). Данные сплавы широко применяют в электротехнической, электровакуумной и металлургической промышленности. К группе дисперсионноупрочненных композиционных материалов следует отнести также спеченные твердые сплавы, применяемые как материал для изготовления инструменты высокой твердости. К ним относятся материалы, состоящие из высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой. Твердые сплавы изготавливают методами порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта, выполняющего роль связки, прессуют и спекают при 1400 - 1550ºС. При спекании кобальт растворяет часть карбидов и плавится. В результате получается плотный материал (пористость не более 2%), структура которого на 80 – 95% состоит из карбидных частиц, соединенных связкой. Твердые сплавы производят в виде пластин, которыми оснащают резцы. сверла фрезы и другие режущие инструменты. Такие инструменты сочетают высокую твердость (74 – 76 HRC) и износостойкость с высокой теплостойкостью (800 - 1000ºС). По своим эксплуатационным свойствам они превосходят инструмент из быстрорежущих сталей и применяются для резания с высокими скоростями.

В зависимости от состава карбидной основы, спечённые твердые сплавы выпускают трёх групп.

* Первую (вольфрамовую) группу составляют сплавы системы WC–Co. Они маркируются буквами ВК и цифрой, показывающей содержание кобальта в процентах. Карбидная фаза состоит из зеренWC. Сплавы этой группы применяют для режущих инструментов при обработке материалов, дающих прерывистую стружку (чугуна, цветных металлов, фарфора, керамики и т.п.). Сплавы с высоким содержанием кобальта (ВК20 и ВК25) применяют для изготовления штамповых инструментов. Их применяют также как конструкционный материал для деталей машин и приборов, от которых требуется высокой сопротивление пластической деформации или изнашиванию.
* Вторую группу (титановольфрамовую) образуют сплавы системы TiC–WC–Co. Они маркируются буквами Т, К и цифрами, показывающими содержание в процентах карбидов титана и кобальта. Сплавы этой группы характеризуются более высокой, чем у сплавов первой группы теплостойкостью (900 - 1000ºС), которая повышается по мере увеличения количества карбида титана. Их наиболее часто применяют для высокоскоростного резания сталей.
* Третью группу (титанотанталвольфрамовую) образуют сплавы системы TiС –TaC–WC–Co. Цифра в марке после букв ТТ обозначает суммарное содержание (в процентах) карбидовTiС +TaC, а после буквы К количество кобальта в процентах. От сплавов предыдущей группы они отличаются большей прочностью и лучшей сопротивляемостью вибрациям и выкрашиванию. Они применяются при более тяжелых условий резания (черновая обработка стальных слитков, отливок, поковок).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Группа | Сплав | Состав шихты, % | HRA,неменее |
| WC | TiC | TaC | Co |
| Вольфрамовая | ВК3 | 97 | \_ | \_ | 3 | 89,5 |
| ВК4 | 96 | \_ | \_ | 4 | 89,5 |
| ВК6 | 94 | \_ | \_ | 6 | 88,5 |
| ВК8 | 92 | \_ | \_ | 8 | 87,5 |
| ВК10 | 90 | \_ | \_ | 10 | 87 |
| ВК15 | 85 | \_ | \_ | 15 | 86 |
| ВК20 | 80 | \_ | \_ | 20 | 84 |
| ВК25 | 75 | \_ | \_ | 25 | 82 |
| Титано-вольфрамовая | Т30К4 | 66 | 30 | \_ | 4 | 92 |
| Т15К6 | 79 | 15 | \_ | 6 | 90 |
| Т5К10 | 85 | 5 | \_ | 10 | 88,5 |
| Титанотантало-вольфрамовая | ТТ7К12 | 81 | 4 | 3 | 12 | 87 |
| ТТ8К6 | 84 | 6 | 2 | 6 | 90,5 |

Табл. 2. Химический состав и свойства некоторых сплавов

Глава 3. Применение металлических композиционных материалов

Перспективность использования металлических композиционных материалов в различных отраслях техники определяется их широким спектром самых различных свойств. Высокие прочность и удельная жёсткость, малая чувствительность к концентраторам напряжений и высокое сопротивление усталостному разрушению и т.д. определяют области применения МКМ. Весьма перспективным является применение металлических композиционных материалов в ракето- и авиастроении, в частности при создании тяжёлых транспортных и сверхзвуковых пассажирских самолётов. Применение таких материалов в количестве до 30% позволяет снизить массу самолета на 15 - 20%. Наиболее рационально в этом случае применение титановых и алюминиевых сплавов, армированных волокнами бора и борсика или титановых сплавов армированных волокнами из боралюминия, соединяемых пайкой. Боралюминиевые композиционные материалы могут применяться на космических летательных аппаратах, в узлах конструкций, подвергающихся нагреву от реактивной струи двигателя, в герметических кабинах экипажа.Композиционные материалы на основе алюминия и титана, армированные бериллиевой проволокой применяются при создании газотурбинных двигателей для изготовления лопаток вентилятора и компрессора.

Материалы матриц для изготовления МКМ: лёгкие металлы и сплавы на основе алюминия и магния; сплавы на основе титана, меди; жаропрочные и жаростойкие сплавы на основе железа, никеля и кобальта; тугоплавкие сплавы на основе вольфрама, молибдена и нио-бия и др.

Материалы матриц для изготовления МКМ: лёгкие металлы и сплавы на основе алюминия и магния; сплавы на основе титана, меди; жаропрочные и жаростойкие сплавы на основе железа, никеля и кобальта; тугоплавкие сплавы на основе вольфрама, молибдена и ниобия и др.

Волокна углерода и бора служат обычно для армирования лёгких сплавов на основе алюминия и магния. Изделия из таких композиционных материалов характеризуются высокой прочностью и жёсткостью и могут длительно эксплуатироваться при температурах до 300…450 °С.

Волокна карбида кремния и вольфрама предназначены для армирования жаропрочных композиционных материалов на основе никеля и хрома с рабочими температурами до 1100…1300 °С.

Термостойкие и жаропрочные волокна из оксидов алюминия и циркония эффективны для армирования композиционных материалов, работающих при температурах 1400…1600 °С.

Проволоку из стальных, вольфрамовых и молибденовых сплавов используют для армирования высокопрочных композиционных материалов.

Нитевидные кристаллы таких тугоплавких соединений, как карбиды кремния, бора, оксид алюминия и др., служат армирующим материалом для получения жаропрочных и высокопрочных композиционных материалов.

Применяются металлические композиционные материалы также в машиностроении, судостроении, автомобилестроении. Целесообразность их применения связана со значительным уменьшением массы конструкций при сохранении или даже повышении прочностных характеристик (например, для облегчения кузовов, коробок передач, поршней цилиндров, передаточных механизмов, рессор и т.д.).

Композиционные материалы со свинцовой матрицей, армированные углеродными волокнами, применяют в химической промышленности при производстве батарей и аккумуляторов, в строительстве, в изделиях, работающих на трение, и др.

В сельскохозяйственном машиностроении из МКМ изготавливают режущие части плугов, дисковых косилок, детали тракторов и т.д., что позволяет увеличить срок службы сельскохозяйственной техники.

Применение МКМ в мостостроении позволяет увеличить длину пролётов в связи с более высокой жёсткостью указанной композиции, что приводит к уменьшению металлоёмкости мостовых конструкций и улучшению их транспортабельности.

Применяют МКМ и в ядерной технике. Так, алюминиевый сплав, армированный стекловолокном, содержащим окись урана, обладает повышенной прочностью при температурах 550С и может быть использован в качестве топливных пластин реакторов.

Для изготовления подшипников, работающих без смазки, успешно опробовали антифрикционный композиционный материал на основе свинца, армированный 20% проволоки из нержавеющей стали или оловянистой бронзы. В космических условиях, где применение обычной смазки в узлах трения невозможно, можно также применять МКМ с нитевидными кристаллами Al2O3.

Как износостойкий материал в коробках передач, дисковых муфтах, направляющих пусковых устройствах и других тяжелонагруженных механизмах можно использовать МКМ, армированные усами и волокнами.

В сварочной технике смогут применяться армированные присадочные материалы. Например, алюминий или его сплав с 4% Cu, армированный небольшими долями волокон Al2O3 или SiC, успешно использовали для сварки плавлением алюминия и его сплавов. Армирующая фаза при сварке переходит в сварочный шов, способствуя его упрочнению.

Достаточно эффективно МКМ используются и в других областях техники и народного хозяйства. Однако эффективным применение МКМ оказывается только при выполнении следующих условий:

* специальное конструирование деталей и узлов конструкций с учётом особенностей свойств этих материалов;
* создание специальной технологии изготовления деталей, поскольку способы изготовления деталей из традиционных сплавов неприемлемы для композиционных материалов;
* осуществление контроля технологического процесса и качества исходных материалов и изделий на основных этапах их изготовления для обеспечения надёжности материалов при длительной эксплуатации.

Необходимо иметь в виду, что МКМ, так же как и традиционные сплавы не являются универсальными. Использование их по назначению в той или иной конструкции рационально только в том случае, когда это является технически обоснованным и экономически целесообразным.

Заключение

Несмотря на преимущества композиционных материалов с металлическими матрицами перед традиционными материалами, их производство и применение ещё весьма ограничено. Это обусловливается во многом отсутствием системной информации и знаний у конструкторов и технологов в области проектирования изделий из композиционных материалов с различными типами матриц и схемами армирования, а также широким спектром технологических методов формования изделий из КМ, с существенно отличающимися типами матричного материала.

Список литературы

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учебник. М.: Логос, 2006. 384с.
2. Курганова Ю.А., Колмаков А.Г. Конструкционные металломатричные композиционные материалы: учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 144с.
3. Кулик В.И., Нилов А.С. Композиционные материалы с металлической матрицей: учебное пособие. М.: Балт. гос. техн. ун-т. − СПб., 2020. 68с.