



*The analysis of different types of composite materials has been performed. On this base the more suitable composite materials for conditions of BMZ have been chosen.*

А. С. КАЛИНИЧЕНКО, В. Я. КЕЗИК, БНТУ,  
И. И. КРЫМЧАНСКИЙ, А. Н. САВЕНКО, РУП «БМЗ»,  
Н. Л. МАНДЕЛЬ, БНТУ

УДК 620.22

## ПРИМЕНЕНИЕ МАКРОГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ

Разнообразие условий эксплуатации узлов и машин требует создания материалов с широким спектром служебных свойств, многие из которых находятся в противоречии (прочность и пластичность, нагрузка и износостойкость и т. д.). Часть проблем в машиностроении может быть решена при использовании композиционных материалов. Особенно перспективно их применение в тяжелых условиях эксплуатации: высокие удельные нагрузки и повышенная температура, агрессивные или абразивные среды, где существующие металлы и сплавы не обеспечивают надежную работу [1].

В метизном производстве РУП «БМЗ» имеется значительное количество пар трения, для которых необходимо решать задачу повышения надежности и долговечности. Например, на агрегатах бронзирования, ТТА, ТГА находится большое количество роликов, работающих при линейных скоростях свыше 18 м/с в условиях трения без смазки. Удовлетворительным сроком службы характеризуются керамические ролики из стран Западной Европы. Однако их приобретение требует валютных ресурсов. Кроме того, для их производства (методом вакуумного синтеза) используются порошки оксидов микронных фракций, что удорожает стоимость роликов. Поэтому актуальным является разработка композиционных материалов, которые должны при сроке службы порядка 3 мес. иметь более низкую стоимость по сравнению с зарубежными.

Рассмотрим некоторые вопросы, связанные с разработкой композиционных материалов. Несмотря на успехи в области создания композиционных материалов, остается много вопросов, на которые нет четкого ответа. Например, нет общепринятого мнения о том, что в первую очередь определяет свойства композиционного материала: матрица, упрочняющая фаза, межфазная граница. Анализ существующих данных показывает, что в зависимости от вида композита доминирующим может быть любой из этих составляющих или их комбинация [2].

С практической точки зрения важно определить тип композиционного материала, который может обеспечить весь комплекс служебных свойств применительно к конкретному узлу. Выбранный тип композита, в свою очередь, определит и технологический процесс его получения.

Композиционный материал — это структурированная система, объединяющая отдельные структурные элементы в единое физическое тело, внутри которого они отделены друг от друга точными пространственными границами. Соединение структурных элементов в определенном порядке придает новые свойства композиту, которых нет у отдельных его составляющих. В такой системе происходит материальный (массовый или тепловой) обмен, что позволяет рассматривать ее как физико-химическую, применяя для определения и описания системы термины и приемы физико-химического анализа. Как следствие особенностей синтеза, композиционный материал является гетерогенной системой, разнородность которой проявляется на макро- и микроуровнях. Однофазной такая система может быть в пределах физического тела только при определении некоторых свойств. Однородность компонентов композита наблюдается в пределах отдельных фаз, образующих структурные элементы. Фазовый состав композиционного материала может иметь постоянную или переменную степень однородности (например, при наличии градиента концентрации). За элементарный объем композита гетерогенной системы целесообразно принимать минимальный объем, в котором воспроизводятся состав, структура и свойства всего материала.

Известно определение, в соответствии с которым композиты — это искусственно созданные материалы, состоящие из двух или более различных по составу и структуре компонентов, разделенных границей фаз. Такое сочетание компонентов придает материалу новые свойства. Композиты не являются однофазными в микромасштабе, но

однородны в макромасштабе. Необходимо отметить, что состав и форма материала, а также распределение компонентов заданы заранее и оптимизация свойств композита достигается за счет управления морфологией составляющих его элементов [3–5].

Для ряда композиционных материалов понятие матрица и армирующий элемент теряет смысл, так как невозможно выделить один сплошной структурный элемент. Это относится к композитам эвтектического и слоистого строения, псевдосплавам и комбинированным материалам. Поэтому такого типа композиты подразделяют на матричные, каркасные и слоистые.

Рассмотрим основные типы композиционных материалов. Композиционные материалы можно разделить условно на следующие группы.

1. Материалы с покрытиями. Основное назначение покрытий – защита изделий от вредного влияния различных воздействий и придание изделию дополнительных потребительских свойств. Распространенный вид покрытий – лакокрасочные, которые могут быть отнесены к композиционным материалам, поскольку представляют собой матричные микрогетерогенные системы, образованные пленкообразующим веществом с распределенными в последнем порошкообразными частицами пигментов и наполнителей [6]. Эти составляющие после смешения и нанесения покрытия образуют материал со свойствами, которых нет ни у одной составляющей. Подобно лакокрасочным рассматриваются осаждаемые (напыляемые) покрытия. Однако различные армирующие элементы (гранулы, порошки и волокна), которые в результате нанесения покрытий приобретают новые свойства и структуру и подпадающие под определение, не рассматриваются как композиционные материалы.

2. Материалы с измененным поверхностным слоем, в которых вследствие применения тех или иных технологических приемов формируется материал, отличный от внутренних объемов по составу, структуре и свойствам. Например, сплав с диффузионно измененным поверхностным слоем в объеме детали обладает повышенной твердостью и прочностью, а в сочетании с более вязкой сердцевиной при сохранении монолитности образует новый слоистый материал.

3. Агломерационные материалы, т. е. материалы, соединенные из разнородных частиц в единое целое. К ним могут быть отнесены некоторые матричные композиты, псевдосплавы, порошковые материалы, а также бетоны, керамики и т. д.

4. Армированные материалы. В подавляющем количестве матричные композиты, содержащие отдельные частицы, волокна, нити, проволоку, пруты, пластины. Обязательным условием армирования является превышение модулей упругости арматуры над модулями упругости матрицы.

Кроме того, композиционные материалы могут быть классифицированы на основе геометрических характеристик элементов упрочняющей фазы.

1. Нульмерные элементы структуры. К ним относятся композиты, в состав которых входят частицы, имеющие длину, ширину и высоту одного порядка. Например, композиционные материалы с гранулами различной дисперсности, в том числе порошки, короткие волокна, короткие нити и т. д.

2. Одномерные элементы структуры. Примерами являются композиты, в состав которых входят элементы, один из линейных размеров которых значительно превышает два других. Это композиты, содержащие волокна, нити, проволоку, стержни, тавры, двутавры, т. д.

3. Двумерные элементы структуры. К этой группе относятся композиты, в состав которых входят элементы, два линейных размера которых превышают третий. Это композиты, содержащие листы, сетки, тканую арматуру, фольги.

По взаиморасположению структурных материалов и изменению свойств, связанных с таким расположением, композиционные материалы разделяют на изотропные и анизотропные [7]. К изотропным относят материалы, свойства которых одинаковы (одного порядка) во всех направлениях. К анизотропным относятся композиты, в которых структурные элементы имеют пространственную ориентировку. Анизотропию композиционных материалов связывают с определенной симметрией строения или распределения свойств [8]. Такое представление условно, так как при анализе реальная структура композита заменяется идеализированной однородной средой.

Появление анизотропии может быть следствием целенаправленного усиления (ослабления) какого-либо свойства при создании композита (конструкционная анизотропия) либо вследствие особенностей формирования (технологическая анизотропия).

К изотропным композитам можно отнести хаотично армированные материалы, псевдосплавы, упрочненные нульмерными частицами, дисперсно-упрочненные системы.

В соответствии с особенностями синтеза композиты подразделяют на две основные группы: получаемые по твердофазному и жидкофазному методам. Но, как правило, в полном технологическом цикле производства композиционных материалов применяются в большей или меньшей степени оба метода. А подобное подразделение пригодно только для финишной стадии формирования композиционного материала.

Кроме того, правомерно выделение группы композиционных материалов, предназначенных для ремонта. Тем более, что подразделение композитов по области применения уже употребляется [9].

Использование композиционных материалов в технологических процессах ремонта и восстановления изношенных деталей, частей машин и механизмов преследует двоякую цель: провести модернизацию и улучшить эксплуатационные свойства, а также получить надежное инженерное решение при уменьшении материальных затрат на плановые и аварийные ремонты и, если быть полностью точным, — на исключение аварийных ремонтов. Можно выделить три перспективных направления применения композитов в указанных процессах:

- замена отдельных деталей из монометаллов (мономатериалов) на детали из композиционных материалов;
- восстановление изношенных деталей с применением композитов;
- введение в детали, узлы и агрегаты конструктивных элементов из композиционных материалов, ранее не предусмотренных конструкций.

Существующие композиционные материалы [10, 11] обладают широким спектром свойств, которые в принципе позволяют решать простые и сложные задачи ремонта. Однако стоимость многих из них такова, что делает неприемлемым использование композитов в целом ряде отраслей техники. Исключение составляют образцы военной, аэрокосмической и транспортной техники, в которых стоимость композитов и сложность технологического изготовления деталей из них учитываются, но не являются решающими. В массовом же ремонте цена изделия и сложность процесса восстановления играют одну из важных ролей. Поэтому сложилась ситуация, когда разрабатываются все новые и новые материалы, а в ремонте и восстановлении, за редким исключением, используются мономатериалы.

Сложность выбора или разработки композиционного материала для ремонта и восстановления, его изготовление и применение определяют тем, что необходим тщательный учет большого числа факторов. В первую очередь, свойств самого композита и его совместимости с материалами сопрягаемых элементов в исходном состоянии и в процессе эксплуатации. Ремонтная деталь должна вписываться в существующую конструкцию, улучшая условия ее работы. При восстановлении изношенных деталей композитами ситуация осложняется необходимостью выбора способа (метода) формирования участка (участков) детали с композиционной структурой. Очень часто детали из мономатериалов не могут подвергаться тепловой обработке или обработке давлением, а меха-

ническое крепление слоев композита недопустимо из-за ослабления тела восстанавливаемой детали.

Следовательно, для успешного применения композиционных материалов в ремонте необходимо определение их физико-механических и химических свойств, обеспечивающих восстановление режима работы машины (механизма). При этом композит должен сопрягаться с другими элементами конструкции. Он должен иметь стоимость, близкую к стоимости базовой ремонтной детали, либо при более высокой стоимости давать ощутимый выигрыш в улучшении потребительских свойств восстановленного механизма. Кроме того, должна обеспечиваться высокая технологичность процесса и воспроизводимость результатов [1, 12].

Анализ показывает, что наиболее подходящими материалами роликов для условий РУП «БМЗ» являются композиты слоистого типа (с измененным поверхностным слоем), которые могут быть получены сочетанием макрогетерогенных композитов, упрочненных нульмерными частицами, и стальной сердцевины.

#### Литература

1. Жорник В. И., Калинин А. С., Кезик В. Я. и др. Рекомендации по ремонту и реконструкции тяжело нагруженных узлов скольжения с использованием композиционных материалов. Мн.: ИТК НАН Беларуси, 2000.
2. Kubel E. J., Jr. Composites "Wish List" // *Advanced Materials & Progress*. 1987. Vol. 132 (4) P. 47-54.
3. Физическое металловедение: В 3 т. / Под ред. Р. У. Кана, П. Т. Хаазена. Т. 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1987.
4. Композиционные материалы: Справ. / Под ред. В. В. Васильева и Ю. М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990.
5. Купченко Г. В., Нестерович Л. Н. Структура и свойства эвтектических композиционных материалов. Мн.: Наука и техника, 1986.
6. Батышев А. И. Литые композиционные материалы с металлической матрицей: Обзор. информ. // *Новые материалы, технологии их производства и обработки*. М., 1991.
7. Классификация композиционных материалов / К. И. Портной, А. А. Заболоцкий, С. Е. Салибеков, В. И. Чубарев // *Порошковая металлургия*. 1977. № 12. С. 70-75.
8. Композиционные материалы в технике / Д. М. Карпинос, Л. И. Тучинский, А. Б. Сапожников и др. Киев: Тэхника, 1985.
9. Композиционные материалы: Справ. / Под ред. Д. М. Карпиноса. Киев: Наукова думка, 1985.
10. Сомов А. И., Тихановский М. А. Эвтектические композиции. М.: Металлургия, 1975.
11. Композиционные материалы в машиностроении / Ю. Л. Пилиновский, Т. В. Грузина, А. Б. Сапожникова и др. Киев: Тэхника, 1990.
12. Затуловский С. С., Кезик В. Я., Иванова Р. К. Литые композиционные материалы. Киев: Тэхника, 1990.