

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С АЛЮМИНИЕВОЙ МАТРИЦЕЙ И НАПОЛНИТЕЛЕМ КАРБИДОМ КРЕМНИЯ

Пугачева Н.Б., Вичужанин Д.И., Мичуров Н.С., Быкова Т.М., Сенаева Е.И.

ИМАШ УрО РАН, г. Екатеринбург

Композиционные материалы с алюминиевой матрицей нашли широкое применение для изготовления деталей автомобильного и транспортного машиностроения, силовой электротехники, а также авиационной и ракетно-космической техники. Особый интерес вызывают композиционные материалы с алюминиевой матрицей и карбидом кремния в качестве наполнителя из-за их высоких прочностных свойств, хорошей технологической обрабатываемости при относительно низкой стоимости. В качестве металлической матрицы используют технический алюминий или такие алюминиевые сплавы, как АМгб, В95, Д16 и др. Все больший интерес вызывают работы, посвященные разработке технологических процессов изготовления конкретных деталей из заготовок, а также работы по моделированию поведения композиционных материалов при различных способах внешнего воздействия как технологического так и эксплуатационного. Достоверность результатов моделирования во многом определяется формой задания представительных объемов материала и экспериментально определенными физико-механическими свойствами как всего композита в целом, так и его отдельных структурных составляющих. В этой связи актуальным является установление формы частиц наполнителя, свойств композита в целом и его составляющих на микроуровне, а также определение влияния количества наполнителя на комплекс теплофизических свойств, определяющих способы и режимы горячей технологической обработки.

Цель работы - исследование структуры, фазовых превращений и свойств алюмоматричных композитов с содержанием наполнителя SiC 10, 20 и 30 об. %.

Исследовали алюмоматричный композиционный материал, матрица которого - гранулированный сплав Д16, наполнитель – частицы порошка SiC в количестве 10, 20 и 30 об. %.

По строению исследованные композиты представляли собой гранулы алюминиевого сплава, по границам которых сосредоточены частицы наполнителя (рис. 1). С повышением объемной доли наполнителя в композите толщина зон скопления частиц наполнителя увеличивается. Сплав Д16 состоит из твердого раствора легирующих элементов в алюминии и частиц интерметаллидов: *T*- ($Mg_3Zn_3Al_2$), *η*- ($MgZn_2$) и *S*-фазы (Al_2CuMg). *T*- и *η*-фазы присутствуют в виде нанодисперсных частиц в небольшом количестве и полностью переходят в твердый раствор при нагреве до температуры 480°C. *S*-фаза присутствует в матрице в виде игольчатых частиц размерами до 2 мкм, расположенных по границам зерен (рис. 2).

Исследования методом дифференциальной сканирующей калориметрии показали, что в матрице происходит 3 фазовых превращения (рис. 3):

1) эвтектическое превращение $L \rightarrow \alpha + S(Al_2CuMg)$ при T_1 ; 2) начало плавления при T_L (температура ликвидус) и 3) конец плавления при T_C (температура солидус).

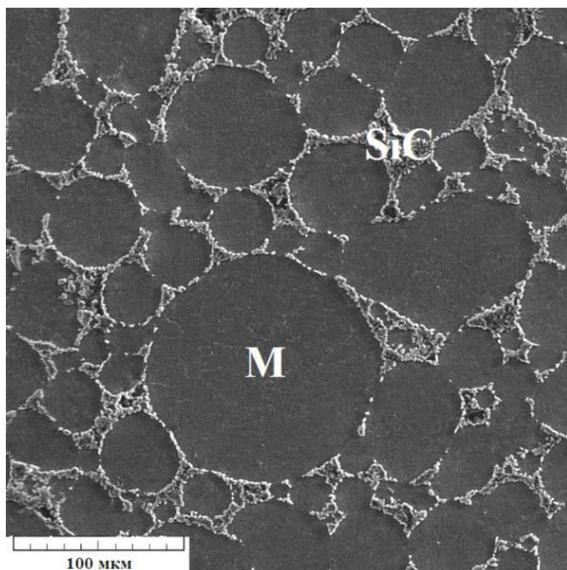


Рис. 1 Макроструктура АМК с 10 об.% SiC

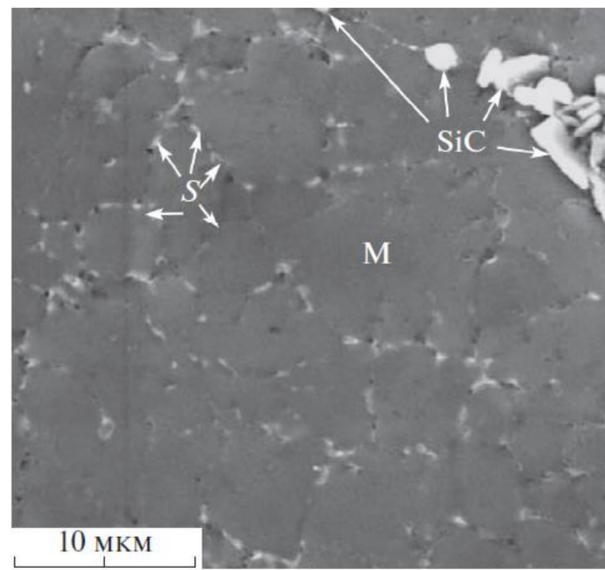


Рис. 2 Микроструктура АМК с 10 об.% SiC

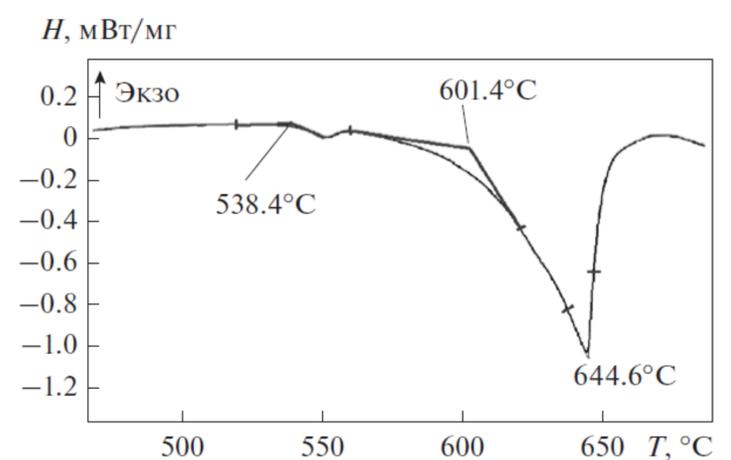


Рис. 3 Кривая по результатам метода дифференциальной сканирующей калориметрии для АМК с 20 об.%

Наблюдаемые при T_1 эндотермические пики связаны с локальным оплавлением по границам зерен по реакции $L \rightarrow \alpha + S(Al_2CuMg)$, что было обнаружено при исследовании структуры композитов после закалки при 540 °С. Увеличение содержания наполнителя приводит к незначительному увеличению значения всех критических температур за счет все большего вклада тугоплавкого карбида кремния. Характер полученных температурных зависимостей теплофизических свойств показал, что содержание наполнителя определяет значения этих характеристик для исследованных композитов. С увеличением доли наполнителя повышается степень зависимости значений теплоемкости от температуры нагрева: при нагреве от 25 до 500 °С композита с 10 об.% SiC теплоемкость увеличилась всего на 16 %, для АМК с 20 об.% SiC - на 19 %, а при 30 об.% SiC – на 36 %. Экспериментальное определение коэффициента температуропроводности показало, что с увеличением содержания наполнителя в АМК снижаются его теплоинерционные свойства в интервале температур 25 – 500 °С. Расчет теплопроводности по формуле $\lambda = c_p \cdot \alpha \cdot d$ показал, что увеличение количества наполнителя от 10 до 20 % приводит к существенному снижению значений теплопроводности, а дальнейшее увеличение практически не влияет на эту характеристику, что связано в возрастающим влиянием наполнителя с низкой теплопроводностью в композите.

Прочность композитов в увеличением содержания наполнителя уменьшается, что очевидно связано с ростом количества связей «SiC-SiC», которые не являются прочными. В композите с 30 об. % SiC наблюдали выкрашивание наполнителя при приготовлении шлифов для исследований в местах их скопления на стыке 3-х или 4-х гранул матрицы. Применение микроиндетирования позволяет определять при нагрузке менее 0,05 Н свойства отдельных структурных составляющих композита на микроуровне, тогда как при большей – свойства композиционного материала в целом на мезоуровне.

Исследование коррозионной стойкости показало, что кислород проникает в композит по межфазным границам между матрицей и наполнителем. Результатом является поэтапное разрушение АМК: после накопления критического количества внутренних повреждений по межфазным границам наружные слои вместе с продуктами коррозии переходят в виде осыпи в рабочий раствор. Присутствие длительных этапов стабилизации массы образцов в ходе коррозионных испытаний свидетельствует о слабом окислении матрицы и общей высокой коррозионной стойкости композита. На заключительных этапах коррозионных испытаний образцы с 30 % наполнителя оказались повреждены порами, заполненными оксидом Al_2O_3 на глубину до 1 мм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-19-01358

ВЫВОДЫ

1. Значения теплофизических свойств существенно зависят от содержания наполнителя в композите. Причем с увеличением доли наполнителя повышается степень зависимости значений теплоемкости от температуры нагрева: при нагреве от 25 до 500 °С композита с 10 % SiC теплоемкость увеличилась всего на 16 %, для АМК с 20 % SiC - на 19 %, а при 30% SiC – на 36 %.
2. Чем больше содержание наполнителя в исследованных композитах, тем ниже становятся его теплоинерционные свойства в интервале температур 25 – 500 °С. Увеличение количества наполнителя от 10 до 20 % приводит к существенному снижению значений теплопроводности, а дальнейшее его увеличение практически не влияет на эту характеристику.
3. Исследования микромеханических свойств композиционных материалов показали, что наиболее достоверные результаты при определении свойств каждой структурной составляющей в отдельности позволяют получать индетирования с нагрузкой не более 0,049 Н. При больших нагрузках расположенные рядом структурные составляющие оказывают влияние друг на друга, получаемые значения свойств характеризуют композит в целом.
4. Основной тип повреждений композитов в ходе испытаний – подповерхностная коррозия. Коррозия композита происходит путем окисления металлической матрицы с образованием тонкой поверхностной пленки Al_2O_3 . Окисление алюминиевой матрицы происходит по всем поверхностям раздела, в том числе на границах с наполнителем. Максимальные коррозионные повреждения зафиксированы для композита с 30 % SiC.
5. Проведенные исследования показали, что максимальной прочностью и коррозионной стойкостью обладают композит с содержанием наполнителя 10 %. При этом теплофизические характеристики мало отличаются от характеристик алюминиевой матрицы, что весьма благоприятно с точки зрения технологической обрабатываемости заготовок.