

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАГНИЕВОЙ МАТРИЦЕЙ

*Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Селянин П.Н., Бочкарев А.Г.
Тольяттинский государственный университет», Тольятти*

Ключевые слова: металлополимерные композиционные материалы, жидкий пластик, пористый магний, пропитка, плотность, прочность, пористость.

Аннотация. Предложено формировать металлополимерные материалы пропиткой магниевой матрицы с открытой и взаимосвязанной пористостью жидкими полимерными материалами. Представлены результаты испытаний физико-механических металлополимерных материалов с матрицей из сплава Mg90 и наполнителями на основе пластиков: F-Cast; Saros Polymer SR-PLAST; Epoxy Master Pro Plast.

PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF METAL-POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH MAGNESIUM MATRIX

*Kovtunov A.I., Khokhlov Yu.Yu., Selyanin P.N., Bochkarev A.G.
Togliatti State University, Togliatti*

Keywords: metal-polymer composite materials, liquid plastic, porous magnesium, impregnation, density, strength, porosity.

Abstract. It is proposed to form metal-polymer materials by impregnating a magnesium matrix with open and interconnected porosity with liquid polymer materials. The results of testing physicomachanical metal-polymer materials with a matrix of Mg90 alloy and fillers based on plastics are presented: F-Cast; Saros Polymer SR-PLAST; Epoxy Master Pro Plast.

Введение

Металлополимерные материалы находят все более широкое применение в промышленности благодаря оптимальному сочетанию физических, механических и эксплуатационных свойств [1, 2]. Металлополимерные композиционные материалы применяются в конструкции летательных аппаратов [2, 3], в микроэлектронике [4], для изготовления пресс-форм для литья пластмасс [5] и для ремонта технологического оборудования [6]. В композиционных полимерных материалах в качестве наполнителя применяются металлические материалы, которые обеспечивают повышение прочности, износостойкости, теплопроводности [7-10].

Для получения металлополимерных материалов предложен способ, основанный на пропитке пористой магниевой матрицы жидкими полимерными материалами с последующим отверждением. Проведенные исследования с наполнителем Smooth-Cast 65D, показали перспективность применения пористой магниевой матрицы в композиционных материалах и возможность применения композитов для изготовления подшипников скольжения [11].

В качестве альтернативы к Smooth-Cast 65D предложено использовать жидкие пластики, широко предлагаемые на Российском рынке. К ним можно отнести пластики: F-Cast; Saros Polymer SR-PLAST; Epoxy Master Pro Plast.

Таким образом, целью работы является исследование физико-механических свойств металлополимерных композиционных материалов с матрицей из пористого магния и наполнителем на основе пластиков F-Cast (FC); Saros Polymer SR-PLAST (SR); Epoxy Master ProPlast (EM).

Методика исследования

Качество металлополимерного композиционного материала определяется полнотой заполнения пористой магниевой структуры и прочностью сцепления пластика с магнием. Заполняемость зависит от жидкотекучести, времени отверждения пластика и растекаемости пластика по магнию. Для оценки растекаемости жидкий пластик весом 1 г наносили на магниевые образцы размером 60x60x10мм и определяли площадь растекания, используя программу Universal Desktop Ruler с заданием масштаба на фотографии образцов (рисунок 1, а). Заполняемость определяли по глубине пропитки пористого магниевых образцов при гравитационной заливке жидкого пластика (рис. 1, б). Прочность сцепления оценивали по усилию отрыва пластика от магниевых образцов (рис. 1, в).

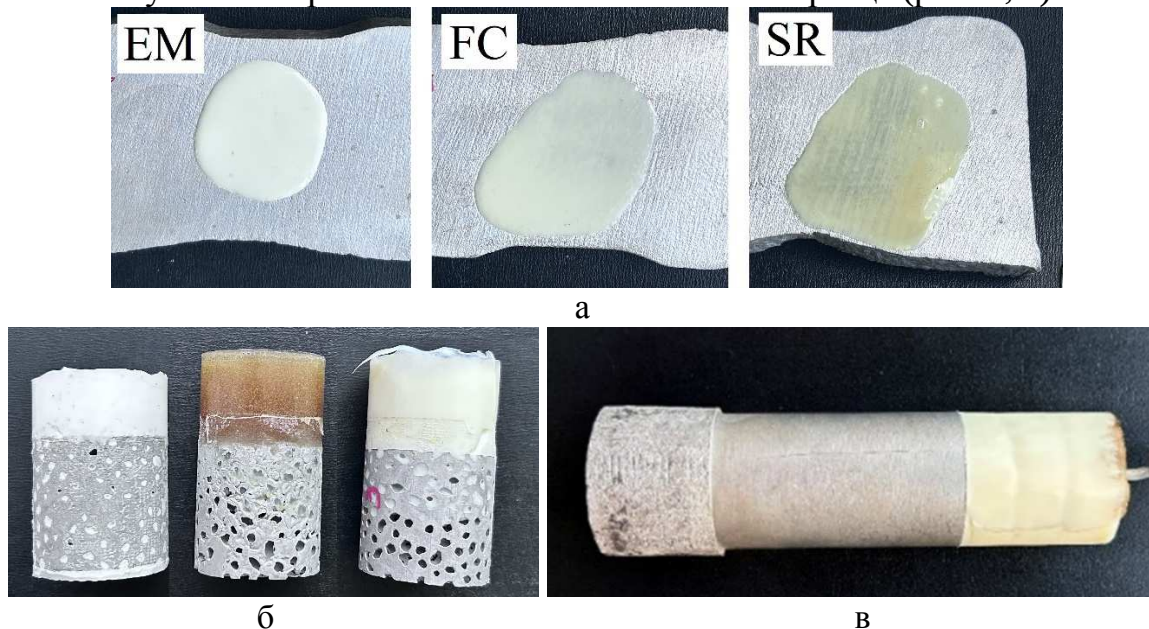


Рис. 1. Образцы для исследования растекаемости пластиков по магнию (а); заполняемости пористой магниевой структуры пластиком (б); прочности сцепления пластика с магнием (в)

Образцы из металлополимерных материалов получали с использованием пористого магния МГ90 с открытой и взаимосвязанной пористостью и жидких полимерных материалов. Магний предварительно плавил в графитовом тигле индукционной плавильной установки под слоем защитного флюса ВИ2. Перегретый до 750-800°C расплав заливали в металлическую форму с температурой подогрева 300-400°C, заполненную водорастворимыми соевыми гранулами с размером гранул 3-4; 4-5; 5-6 мм. Форму при заливке вакуумировали, что обеспечивало качественную пропитку расплавленным металлом формы с гранулами [12]. После пропитки и затвердевания из магниевой матрицы выщелачивали гранулы и, как следствие, формировали пористую структуру в отливке. Для получения композиционного материала пористые магниевые образцы заливали жидким пластиком.

После затвердевания полимера определяли плотность и испытывали прочность образцов при сжатии и растяжении. Испытания прочности проводили на разрывной машине НК35 с применением образцов композиционного материала.

Испытания предела прочности при растяжении проводили на образцах диаметром 40 мм длиной 180 мм (рис. 2, а).



Рис. 2. Образцы металлополимерного композита для испытания прочности:
а) при растяжении; б) при сжатии

Для испытания предела прочности при сжатии металлополимерных материалов, пористого магния и алюминия использовали образцы диаметром 40 мм высотой 40 мм (рис. 2, б).

Результаты обсуждения результатов исследования

Гравитационная заливка пластиком не позволила получить качественные композиционные материалы при размере пор, исходя из размера гранул при производстве пористого магния, менее 5 мм (рис. 1, б), поэтому заполнение пластиком пор проводили тоже предварительно вакуумируя форму с установленной пористой магниевой отливкой.

Проведенные исследования процессов формирования металлополимерных материалов показали, что предложенная технология с вакуумированием формы с магниевой заготовкой обеспечивает получения образцов с хорошим, равномерным заполнением жидкого пластика пористой структуры металлов. При этом используемые пластики хорошо смачивают и растекаются по поверхности магния. Максимальная площадь растекания наблюдалась при использовании пластика SR (рис. 3, в) и составляла 1905 мм^2 , а минимальная 1147 мм^2 – ЕМ (рис. 3, а). Площадь растекания пластика FC составляла 1694 мм^2 (рис. 3, б).

Прочность сцепления с магнием составлял для пластика SR составила 2,2 МПа, с пластиком FC – 2,3 МПа, а с пластиком ЕМ – 3,3 МПа. При этом разрушение образцом с пластиком ЕМ произошло частично по пластику, а с пластиками SR и FC по границе материалов.

Средняя плотность пористого магния, зависящая от размера пор, составляла $0,68\text{--}0,7 \text{ г/см}^3$, следовательно пористость образцов находилась в пределах 59–61%. С увеличением размера гранул плотность незначительно, но увеличивалась (рис. 4). Средняя плотность металлополимерного композита с пластиком ЕМ в зависимости от размера гранул составляла $1,23\text{--}1,28 \text{ г/см}^3$ и тоже увеличивалась с увеличением размера пор. Средняя плотность композиционного материала с пластиком FC составляла $1,29\text{--}1,31 \text{ г/см}^3$, а с пластиком SR – $1,26\text{--}1,31 \text{ г/см}^3$.

Прочность при сжатии пористого магния составляет 11-13 МПа, металлополимерных материалов 35-54 МПа в зависимости от размера пор и природы полимерного наполнителя (рис. 5). Прочность на уровне 50-54 МПа зафиксирована при использовании пластика ЕМ. При заполнении пор пластиками FC и CR предел прочности при сжатии не превышал 49 МПа.

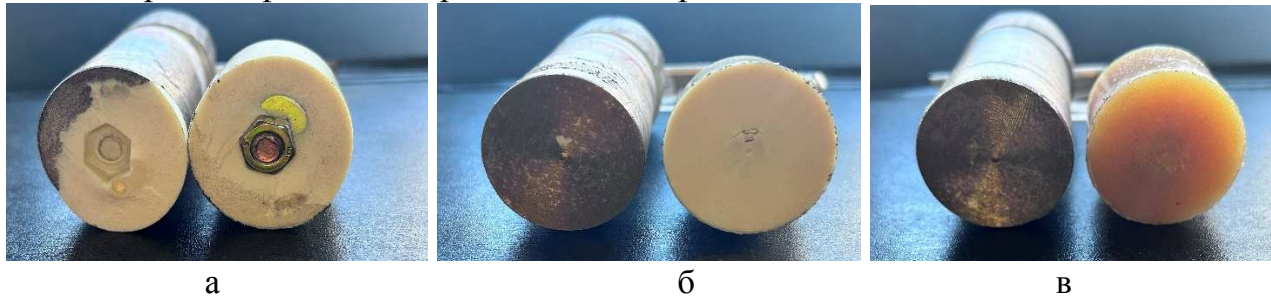


Рис. 3. Образцы после испытания прочности сцепления магния с пластиком, где: а) ЕМ; б) FC; в) SR

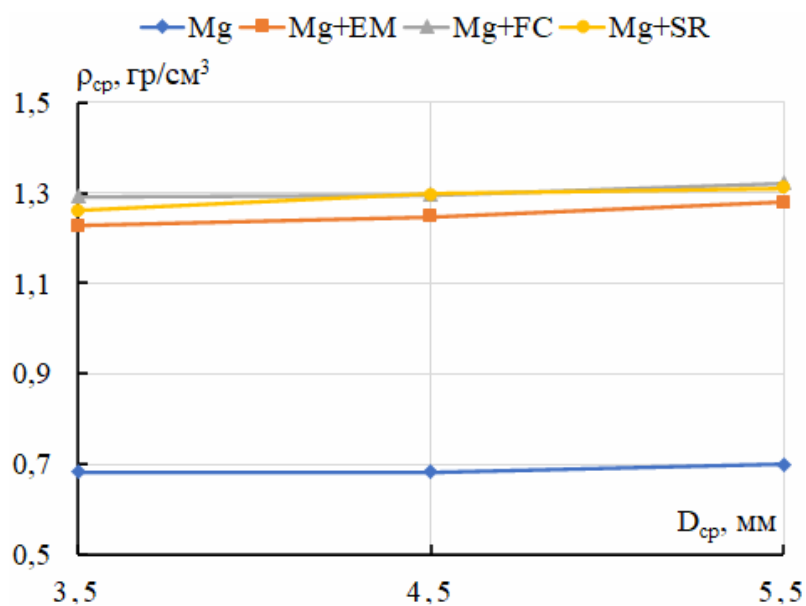


Рис. 4. Зависимость плотности металлополимерных композиционных материалов от среднего размера гранул при получении пористой магниевой матрицы

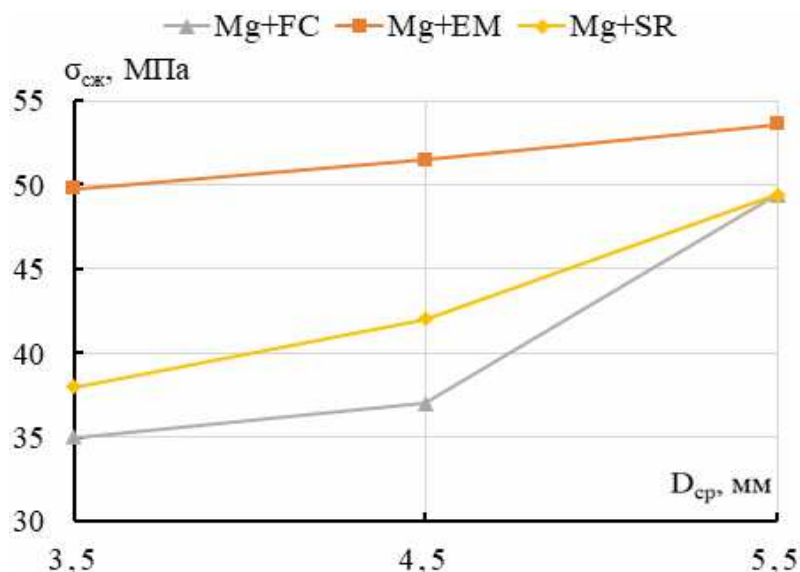


Рис. 5. Зависимость предела прочности при сжатии металлополимерных композиционных материалов от среднего размера гранул при получении пористой магниевой матрицы

Предел прочности при растяжении металлополимерных композиционных материалов находился на уровне свойств пластика. Наиболее высокие значения наблюдались при использовании пластика ЕМ (рис. 6).

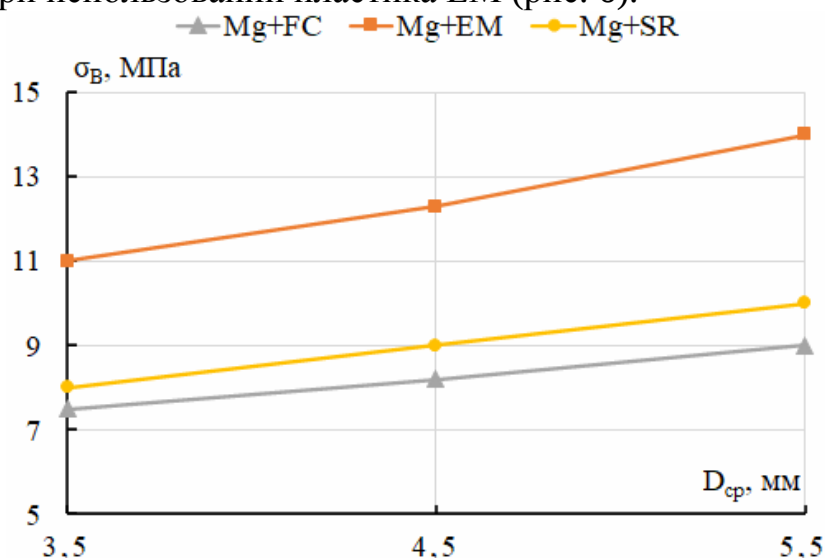


Рис. 6. Зависимость предела прочности при растяжении металлополимерных композиционных материалов от среднего размера гранул при получении пористой магниевой матрицы

Выводы

1. Технология получения металлополимерных материалов с магниевой матрицей, заключающаяся в предварительном получении пористого металла фильтрацией расплава через водорастворимые гранулы и последующим, после выщелачивания гранул, заполнением с вакуумированием пористой структуры матрицы жидким пластиком обеспечивает получение композиционных материалов с наполнением жидкими пластиками: F-Cast (FC); Saros Polymer SR-PLAST (SR); Epoxy Master ProPlast (EM).

2. Свойства металлополимерных композиционных материалов определяются свойствами компонентов и особенностью пористой структуры магниевой матрицы.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания №075-03-2023-260 (FEMR-2023-0003).

Список литературы

1. Адаменко Н.А., Агафонова Г.В., Фетисов А.В. Полимерные композиционные материалы: учебно.-метод. пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 2016. – 96 с.
2. Постнов В.И., Постнова М.В., Антипов В.В., Вешкин Е.А. Исследование динамических характеристик образцов из металлополимерных материалов и алюминиевого сплава Д16ч-ат // Труды ВИАМ. – 2025. – № 4(146). – С. 70-80.
3. Железина Г.Ф., Войнов С.И., Соловьева Н.А., Кулагина Г.С. Арамидные органотекстолиты для ударостойких элементов авиационных конструкций // Журнал прикладной химии. – 2019. Т. 92, №3. – С. 358-364.
4. Иванов А.Г., Виноградова Л.В., Черница Б.В., Шаманин В.В. Синтез и свойства новых карбазолсодержащих металлополимеров с трансаннулярным полисопряжением в цепи // Журнал общей химии. – 2017. – Т. 87, №3. – С. 495-502.

5. Першин Н.С., Чепчуро М.С. Использование металлополимеров в пресс-формах для литья пластмасс // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 4(44). – С. 86-90.
6. Юхим М.С. Исследования влияния технологических факторов на прочность металлополимерных соединений // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2016. – № 5(5). – С. 283-291.
7. Бузник В.М., Юрков Г.Ю. Применение фторполимерных материалов в трибологии: состояние и перспективы // Вопросы материаловедения. – 2012. – №4 (72). – С. 133-149.
8. Бузник В.М., Фомин В.М., Алхимов А.П. Металлополимерные нанокompозиты (получение, свойства, применение). – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2005. – 260 с.
9. Семенов А.П., Савинский Ю.Э. Металлофторопластовые подшипники. – М.: Машиностроение, 1976. – 192 с.
10. Адаменко Н.А., Трыков Ю.П., Седов Э.В., Казуров А.В., Криволицкая И.И. Металлофторопластовые композиционные материалы для направляющих скольжения с повышенной несущей способностью в узлах трения // Конструкции из композиционных материалов. – 2003. – №2. – С. 48-52.
11. Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Свойства металлополимерных композиционных материалов с алюминиевой и магниевой матрицей // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2021. – №10(796). – С. 30-34.
12. Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Селянин П.Н. Исследование процессов формирования и свойств пористого магния фильтрацией жидкого расплава через растворимые гранулы с предварительным вакуумированием // Цветные металлы. – 2023. – №12. – С. 70-74.

Сведения об авторах:

Ковтунов Александр Иванович – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»;

Хохлов Юрий Юрьевич – заведующий лабораторией, младший научный сотрудник кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»;

Селянин Павел Николаевич – старший преподаватель, инженер кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»;

Бочкарев Александр Геннадьевич – к.т.н., доцент кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы».