

ФИЗИЧЕСКАЯ
ХИМИЯ

УДК УДК [669.2+544+539.4]

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ
АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДОБАВКАМИ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МАГНИЯ

В. В. Миронов¹, Л. Е. Агуреев^{1,*}, Ж. В. Еремеева²,
член-корреспондент РАН В. И. Костиков²

Представлено академиком РАН В.В. Козловым 24.01.2019 г.

Поступило 24.12.2018 г.

Получены новые данные о влиянии малых добавок наночастиц оксида магния на механические свойства алюминия. Для приготовления образцов композитов использовали холодное прессование и спекание в форвакууме порошкового алюминия, в том числе с добавками меди. В результате был обнаружен существенный прирост прочностных свойств материалов, модифицированных наночастицами оксида магния: предела прочности на растяжение, сжатие, изгиб и предела текучести.

Ключевые слова: алюмокомпозит, наночастицы, оксид магния, порошковая металлургия.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524865558-561>

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию влияния малых количеств наночастиц оксида магния на прочностные характеристики порошковых алюминиевых материалов, легированных медью. Наночастицы благодаря высокой поверхностной энергии способствуют упрочнению металлических композитов различного состава и назначения, что было продемонстрировано во многих исследованиях [1, 2]. Это связано с тем, что при вводе в пластичную матрицу твёрдых наночастиц тугоплавких соединений образуются межфазные зоны [3], обладающие более высокими прочностными свойствами, чем матрица. Применение наночастиц более правильных форм и в низких количествах способствует формированию указанных зон по геометрии, близкой к сферической, и распределению их более равномерно по всей матрице [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе были созданы порошковые алюминиевые композиты с использованием в качестве матрицы порошка АСД-4 (ОАО «СУАЛ»), в качестве легирующих добавок порошка меди ПМУ и наночастиц оксида магния (средний диаметр 40 нм), имеющих сферическую форму, как показано на рис. 1, синтезированных на плазмохимической установке в Центре Келдыша. Образцы материалов получали методом «мокрого» смешения наночастиц и металлических порошков в этаноле при воздействии ультразвука, с последующим сухим смешением.

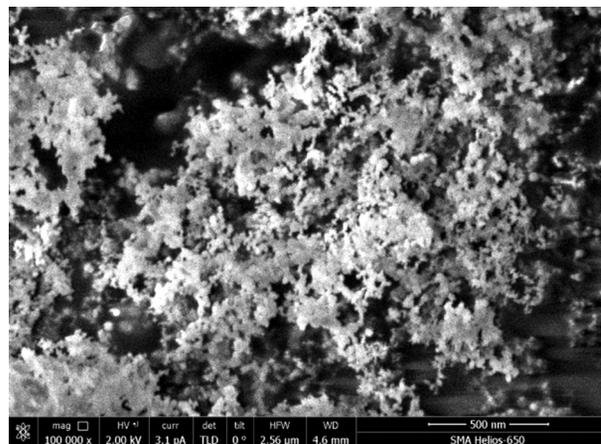


Рис. 1. Наночастицы оксида магния.

¹Государственный научный центр Российской Федерации
“Исследовательский центр имени М.В. Келдыша”,
Москва

²Национальный исследовательский
технологический университет “МИСиС”,
Москва

*E-mail: trynano@gmail.com

нием, холодным прессованием и спеканием в форвакууме при 640 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Были приготовлены образцы алюмокомпозитов в виде штабиков размером 75×10×5 мм. Микроструктура образцов, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа, приведена на рис. 2. Наночастицы оксида магния расположены в группах по границам зёрен матрицы алюминия.

На универсальной машине для механических испытаний в “Центре Келдыша” было проведено исследование зависимости прочностных свойств алюмокомпозитов от концентрации наночастиц оксида магния (рис. 3).

Анализ данных, представленных на рис. 3, показал, что в диапазоне исследуемых концентраций наночастиц максимальные значения механических свойств композитов с матрицей из алюминия были следующими: условный предел текучести 88 МПа (0,15 об.% MgO), предел прочности на растяжение 145 МПа (0,1 об.% MgO), предел прочности на из-

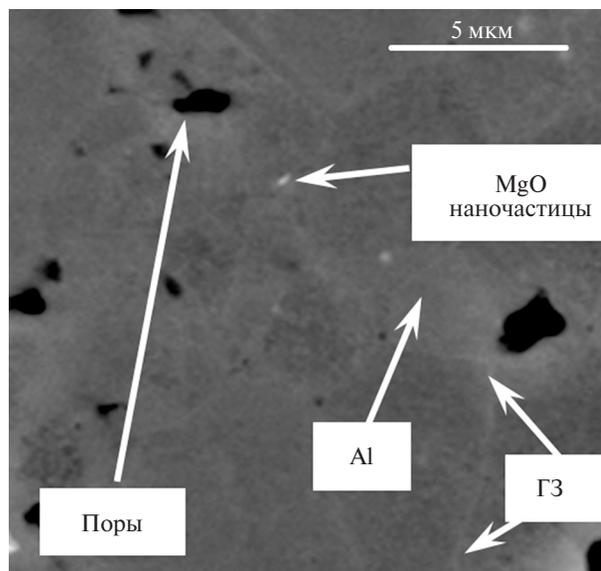


Рис. 2. Микроструктура алюминия с добавками наночастиц оксида магния (ГЗ – границы зёрен).

гиб 245 МПа (0,1 об.% MgO). Для композитов с добавками 1,5 об.% меди предел прочности на сжатие 250 МПа (0,15 об.% MgO), условный предел

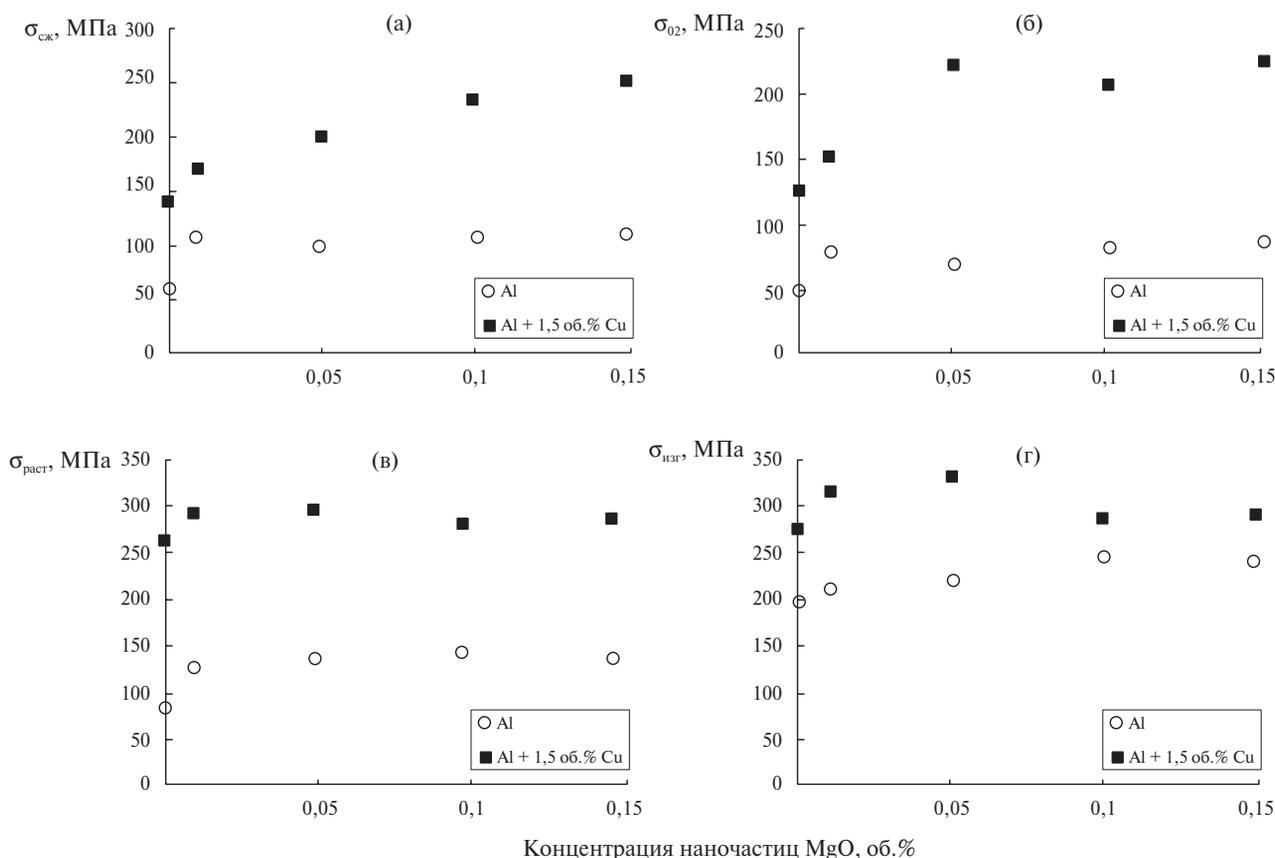


Рис. 3. Прочностные характеристики алюмокомпозитов с добавками наночастиц оксида магния: а — предел прочности на сжатие, б — условный предел текучести, в — предел прочности на растяжение, г — предел прочности на изгиб.

текучности 225 МПа (0,15 об.% MgO), предел прочности на растяжение 300 МПа (0,05 об.% MgO), предел прочности на изгиб 330 МПа (0,05 об.% MgO).

ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ алюминия без меди и с наночастицами оксида магния по сравнению со спечённым порошком алюминия без добавок повышается на 79%. Значительно увеличиваются предел текучести σ_{02} и предел прочности на растяжение $\sigma_{раст}$ как алюмокомпозитов с наночастицами оксида магния, в среднем на 50–80%. Повышение предела прочности на растяжение и изгиб для материала с добавками меди и наночастицами оксида магния составляет 10%.

Полученные экспериментальные результаты подтверждают влияние малых добавок тугоплавких соединений (менее 1 об.%) на механические свойства металлов. Аналогичные результаты получены при введении в металлическую матрицу наночастиц оксида алюминия [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные эффекты исследований удостоверяют гипотезу о наличии межфазных зон упрочнения в спечённом алюминии, в том числе с добавками меди, возникающих около нерастворимых наночастиц оксида магния, концентрация которых не превосходит 0,15 об.%. Упрочнение металлов небольшим числом наночастиц тугоплавких веществ, как представлено в данной работе, может быть многообещающим методом улучшения их качеств. Полученные в работе композиты станут применимы для изготовления разных конструкций турбонасосных агрегатов ракетных двигателей, функционирующих при небольших механических и температурных нагрузках, к примеру, крыльчаток, втулок, подшипников скольжения и др.

Благодарности. Авторы выражают благодарность коллективам отдела нанотехнологий “Центра Келдыша” и кафедры ПМиФП НИТУ “МИСиС” за помощь в проведении исследований.

Источники финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16–38–00774 “Исследование закономерностей влияния микродобавок оксидных наночастиц на структуру, фазообразование, механические свойства и жаростойкость порошковых алюмокомпозитов, в том числе с добавками порошков меди или магния” и при финансовой поддержке гранта Президента РФ молодым учёным МК-5901.2018.3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костиков В.И., Агуреев Л.Е., Еремеева Ж.В., Сутников Н.Н., Казаков В.А. Алюмоматричные композиты с малыми добавками наночастиц оксидных материалов // Перспективные материалы. 2014. № 7. С. 13–20.
2. Агуреев Л.Е., Костиков В.И., Еремеева Ж.В., Савушкина С.В. Влияние оксидных микродобавок на характеристики дисперсноупрочнённых порошковых материалов на основе алюминия // Технология лёгких сплавов. 2014. № 3. С. 59–66.
3. Lurie S., Belov P., Volkov-Bogorodsky D., Tuchkova N. Interphase layer theory and application in the mechanics of composite materials // J. Mat. Sci. 2006. V. 41. № 20. P. 6693–6707.
4. Lurie S., Volkov-Bogorodsky D., Solyaev Y., Rizahonov R., Agureev L. Multiscale modelling of aluminium-based metal-matrix composites with oxide nanoinclusions // Comput. Materials Sci. 2016. P. 62–73.
5. Костиков В.И., Еремеева Ж.В., Миронов В.В., Агуреев Л.Е. Влияние малых добавок наночастиц оксида алюминия на прочностные характеристики алюминиевого материала // ДАН. 2018. Т. 481. № 5. С. 510–512.

IMPROVING THE STRENGTH PROPERTIES OF ALUMINUM POWDER MATERIALS BY THE ADDITION OF MAGNESIUM OXIDE NANOPARTICLES

V. V. Mironov¹, L. E. Agureev^{1,*}, Z. V. Ereemeeva²,
Corresponding Member of the RAS V. I. Kostikov²

¹*State Research Center of the Russian Federation — Federal State Unitary Enterprise “Keldysh Research Center”,
Moscow, Russian Federation*

²*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “National Research Technological University” MISiS “,
Moscow, Russian Federation*

Received December 24, 2018

New data were obtained on the effect of small additions of magnesium oxide nanoparticles on the mechanical properties of aluminum. For the preparation of samples of composites, cold pressing and sintering of powdered aluminum, including those with copper, were used in the forvacuum. As a result, a significant increase in the strength properties of materials modified with magnesium oxide nanoparticles was found: tensile strength, compression, bending strength, and yield strength.

Keywords: aluminum composites, nanoparticles, magnesium oxide, powder metallurgy.