



УДК 669.018.95

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-2-2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МАГНИЯ, АРМИРОВАННОГО ЧАСТИЦАМИ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АРМИРУЮЩЕЙ ФАЗЫ

С.Б. Ломов

Р.С. Купцов

Май 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

С.Б. Ломов¹, Р.С. Купцов¹

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МАГНИЯ, АРМИРОВАННОГО ЧАСТИЦАМИ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АРМИРУЮЩЕЙ ФАЗЫ

Представлены результаты исследования формирования композиционных гранул по времени. Показаны результаты исследования технологических параметров формирования брикетов из полученных композиционных гранул. Проанализированы технологические параметры получения металлического композиционного материала на основе магния, армированного частицами тугоплавких соединений, с содержанием армирующей фазы от 10 до 30% (объемн.) методом экструзии. Проведены исследования механических свойств, по результатам которых скорректированы технологические параметры формирования композиционного материала.

Ключевые слова: *металлический композиционный материал, карбид кремния, магний, механическое легирование.*

S.B. Lomov, R.S. Kuptsov

FORMATION OF STRUCTURAL COMPOSITE MATERIAL BASED ON MAGNESIUM REINFORCED WITH REFRACTORY PARTICLES WITH DIFFERENT CONTENT OF THE REINFORCING PHASE

Results of the research dedicated to the time-dependent formation of composite granules are described in the paper. Results of research of technological parameters of briquettes formed from the produced composite granules are shown. Process parameters for production of metal composite material based on magnesium reinforced by refractory particles (10-30 % vol.) by extrusion are analyzed. Mechanical properties of the material were tested and test results were used for correction of the process parameters of composite material formation.

Keywords: *metal matrix composite, silicon carbide, magnesium, mechanical alloying.*

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

В настоящее время уровень технического совершенства, связанный с созданием перспективных конструкций и силовых систем нового поколения, во многом определяется материалами, используемыми для изготовления деталей, узлов и агрегатов таких изделий. При этом используются как уже известные, так и новые материалы. К таким материалам относятся композиционные материалы (КМ) [1–5]. Многие композиционные материалы превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждой

из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств [3–9].

Композиционные материалы с металлическими матрицами (МКМ) являются перспективными материалами для высокотехнологичных областей промышленности. Одним из эффективных методов получения таких материалов является механическое легирование [1, 10–14]. Разработаны различные способы получения механически легированных композиционных материалов с однородной структурой [15].

Однако в разработанных способах получения механически легированных композиционных гранул остается достаточно много неизученных моментов и возможностей для оптимизации.

Механическое легирование является сложным и хаотичным процессом, зависящим от большого числа независимых и взаимозависимых параметров. При этом режим обработки может значительно варьироваться путем изменения типа механоактиватора, загрузки мелющих тел, рабочей атмосферы, скорости вращения или вибрации рабочей емкости, продолжительности обработки материала и свойств самого обрабатываемого материала и т. д. [16].

При синтезе механически легированных материалов, как правило, выбирается такая продолжительность обработки, при которой достигается равновесие между процессами разрушения и сварки гранул. Необходимая для этого продолжительность механического легирования зависит от режима обработки. Увеличение продолжительности повышает расход электроэнергии, может усилить загрязнение обрабатываемого материала и привести к образованию нежелательных фаз, поэтому нахождение эффективного временного режима позволяет оптимизировать затраты и повысить качество КМ [15, 16].

В данной работе проведены исследования формирования МКМ на основе магния, армированного частицами тугоплавких соединений (SiC) с содержанием армирующей фазы 10, 20 и 30% (объемн.).

Материалы и методы

Объемное содержание порошков из магниевого сплава и SiC в МКМ на основе магния, армированного частицами тугоплавких соединений, определяли с использованием весового метода по ГОСТ 18898–89 с предварительным растворением матрицы КМ в соляной кислоте. При приготовлении смеси в качестве матричного материала ис-

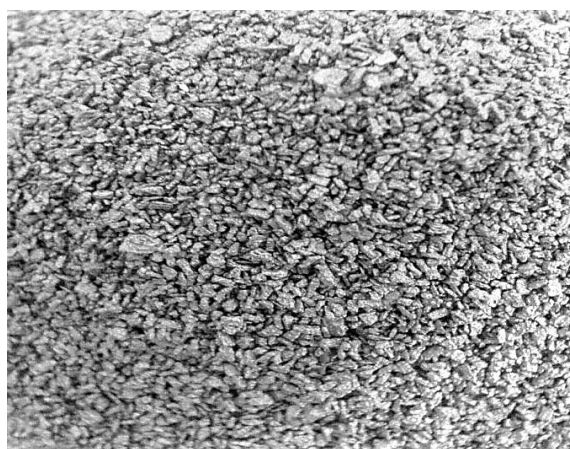
пользовали специально изготовленный порошок сплава МА2 согласно ОСТ1-92123, а в качестве армирующей фазы – порошок карбида кремния дисперсностью 1–10 мкм.

Исследования механических свойств проводили с помощью разрывной машины «Instron 1195» по ГОСТ 4765–73, ОСТ6-10-411–77, ГОСТ 11262–80.

Результаты

Гранулы МКМ на основе магния получали методом механического легирования. Перед проведением механического легирования исходные порошки (Mg и SiC) перемешивали в турбулентном смесителе до получения гомогенной смеси.

Исследование формирования композиционных гранул проводили по времени механического легирования – от 10 до 80 ч. Образование композиционных гранул оценивали по наличию композиционного слоя на рабочих телах и стенках камеры вибросмесителя. По истечении 50 ч на рабочих телах и стенках вибросмесителя образуется слой КМ. После 60 ч происходило незначительное увеличение толщины слоя КМ на рабочих телах и стенках камеры смесителя. Дальнейшее увеличение времени обработки не приводило к увеличению рабочего слоя. Макроструктура полученных композиционных гранул представлена на рисунке.



Композиционные гранулы материала системы Mg–SiC

Из полученных гранул КМ изготавливали брикеты, предварительно подвергая гранулы нагреву в печи до температуры деформации магниевых сплавов. Изготовление брикетов осуществляли на гидравлическом прессе при давлении от 350 до 700 МПа. Давление подбиралось таким образом, чтобы материал после извлечения из матрицы не рассыпался и не разрушался послойно.

Следующим этапом получения КМ являлась экструзия прямым способом в конической матрице при давлении не более 500 МПа. Из полученных по данной техноло-

гии прутков КМ на основе магния изготавливали образцы для проведения исследования механических свойств.

В табл. 1 представлены результаты проведенных испытаний МКМ системы Mg–SiC с различным объемным содержанием армирующей фазы.

Таблица 1

Результаты испытаний МКМ системы Mg–SiC

Материал	Условный номер образца	σ_b , МПа
Mg	1	225
	2	235
	3	250
Mg–10% SiC	4	265
	5	306
	6	352
Mg–20% SiC	7	131
	8	168
	9	144
Mg–30% SiC	10	150
	11	125
	12	113

Проведенные испытания показывают увеличение прочности материала при армировании 10% SiC по сравнению с исходной магниевой матрицей, но при дальнейшем увеличении объемной доли частиц тугоплавких соединений прочностные характеристики снижаются.

С целью увеличения механических свойств МКМ на основе магния проводили исследования по изменению температур брикетирования и экструзии. Установлено, что снижение температуры брикетирования и экструзии не влияет на деформационные свойства материала.

В табл. 2 представлены результаты проведенных испытаний МКМ на основе магния с объемным содержанием армирующей фазы 10% SiC, полученных по скорректированной технологии.

Таблица 2

Механические свойства МКМ на основе магния с объемным содержанием армирующей фазы 10%SiC

Материал	Условный номер образца	E , ГПа	σ_b , МПа
Mg+10% SiC	1'	53	350
	2'	51	355
	3'	51,5	345
	4'	52	345
	5'	52	326
	6'	52,5	415
	7'	53	352
	8'	52,5	360

Обсуждение и заключения

На основании проведенного исследования формирования композиционных гранул по времени механического легирования (от 10 до 80 ч) сделано заключение о том, что по истечении 50 ч на рабочих телах и стенках вибросмесителя образуется слой композиционного материала. По предварительно разработанной технологии изготовлены образцы МКМ на основе магния и проведены исследования механических свойств. Проведенные испытания показали увеличение прочности материала при объемном содержании армирующей фазы до 10% SiC, при дальнейшем увеличении армирующей фазы прочностные характеристики материала снижаются. С целью увеличения прочностных свойств МКМ скорректированы технологические параметры получения брикетов и последующей экструзии. Исследования механических свойств образцов МКМ, изготовленных по скорректированной технологии показали увеличение прочности материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди /Под. общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ. 2012. 520 с.
3. Шмотин Ю.Н., Старков Р.Ю., Данилов Д.В., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Новые материалы для перспективного двигателя ОАО «НПО „Сатурн”» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 6–8.
4. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С., Севастьянов В.Г. Высокотемпературные конструкционные композиционные материалы на основе стекла и керамики для перспективных изделий авиационной техники //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 7–11.
5. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Шавнёв А.А. и др. Свойства и применение высоконаполненного металломатричного композиционного материала Al–SiC //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. №3–1. С. 56–59.
6. Тарасов Ю.М., Антипов В.В. Новые материалы ВИАМ – для перспективной авиационной техники производства ОАО «ОАК» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 5–6.
7. Беляев М.С., Хвацкий К.К., Горбовец М.А. Сравнительный анализ российского и зарубежных стандартов испытаний на усталость металлов //Труды ВИАМ. 2014. №9. Ст. 11 (viam-works.ru).

8. Ерасов В.С., Гриневич А.В., Сеник В.Я., Коновалов В.В., Трунин Ю.П., Нестеренко Г.И. Расчетные значения характеристик прочности авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 14–16.
9. Лурье С.А., Соляев Ю.О. Модифицированный метод Эшелби в задаче определения эффективных свойств со сферическими микро- и нановключениями //Вестник ПГТУ. Механика. 2010. №1. С. 80–90.
10. Singh Sarabjot, Junior B. Tech, Ryssel Heiner. Lifetime of power modules /In: 7 Indo-German winter academy. Proceedings. Germany. 2008.
11. Gilleo K. MEMS/MOEMS Packaging Concepts, Designs, Materials and Processes /In: Nanoscience and Technology Series. USA. NY-Chicago: McGraw-Hill. 2005. 239 p.
12. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
13. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
14. Hari Babu N., Zhongyun Fan, Eskin D.G. Application of external fields to technology of metal matrix composite materials //TMS-2013 Annual Meeting Supplemental Proceedings. 2013. P. 1037–1044.
15. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Гращенко Д.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н. Металломатричные композиционные материалы на основе Al–SiC //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 373–380.
16. Каблов Е.Н., Чибиркин В.В., Вдовин С.М. Изготовление, свойства и применение теплоотводящих оснований из ММК Al–SiC в силовой электронике и преобразовательной технике //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 20–22.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Istorija aviacionnogo materialovedenija. VIAM – 80 let: gody i ljudi [History of aviation materials science. VIAM – 80 years: years and people] /Pod. obshh. red. E.N. Kablova. M.: VIAM. 2012. 520 s.
3. Shmotin Ju.N., Starkov R.Ju., Danilov D.V., Ospennikova O.G., Lomberg B.S. Novye materialy dlja perspektivnogo dvigatelja OAO «NPO „Saturn”» [New materials for the perspective engine of JSC NPO Saturn] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 6–8.

4. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S., Sevast'janov V.G. Vysokotemperaturnye konstrukcionnye kompozicionnye materialy na osnove stekla i keramiki dlja perspektivnyh izdelij aviacionnoj tehniki [High-temperature constructional composite materials on the basis of glass and ceramics for perspective products of aviation engineering] //Steklo i keramika. 2012. №4. S. 7–11.
5. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Shavnjov A.A. i dr. Svojstva i primenenie vysokonapolnennogo metallomatrichnogo kompozicionnogo materiala Al–SiC [Properties and application of the high-filled metalmatrix Al-SiC composite material] //Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2011. №3–1. S. 56–59.
6. Tarasov Ju.M., Antipov V.V. Novye materialy VIAM – dlja perspektivnoj aviacionnoj tehniki proizvodstva OAO «OAK» [The VIAM new materials – for perspective aviation engineering of production of JSC OAK] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 5–6.
7. Beljaev M.S., Hvackij K.K., Gorbovec M.A. Sravnitel'nyj analiz rossijskogo i zarubezhnyh standartov ispytanij na ustalost' metallov [Comparative analysis Russian and foreign standards of fatigue tests of metals] //Trudy VIAM. 2014. №9. St. 11 (viam-works.ru).
8. Erasov V.S., Grinevich A.V., Senik V.Ja., Konovalov V.V., Trunin Ju.P., Nesterenko G.I. Raschetnye znachenija harakteristik prochnosti aviacionnyh materialov [Calculated values of characteristics of durability of aviation materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 14–16.
9. Lur'e S.A., Soljaev Ju.O. Modificirovannyj metod Jeshelbi v zadache opredelenija jeffektivnyh svojstv so sfericheskimi mikro- i nanovkljuchenijami [The modified method of Eshelbi in problem of determination of effective properties with spherical micro and nanoinclusions] //Vestnik PGTU. Mehanika. 2010. №1. S. 80–90.
10. Singh Sarabjot, Junior B. Tech, Ryssel Heiner. Lifetime of power modules /In: 7 Indo-German winter academy. Proceedings. Germany. 2008.
11. Gilleo K. MEMS/MOEMS Packaging Concepts, Designs, Materials and Processes /In: Nanoscience and Technology Series. USA. NY-Chicago: McGraw-Hill. 2005. 239 p.
12. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials – basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
13. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
14. Hari Babu N., Zhongyun Fan, Eskin D.G. Application of external fields to technology of metal matrix composite materials //TMS-2013 Annual Meeting Supplemental Proceedings. 2013. P. 1037–1044.
15. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Grashhenkov D.V., Shavnev A.A., Njafkin A.N. Metallomatrichnye kompozicionnye materialy na osnove Al–SiC [Metalmatrix composite materials on the basis of Al–SiC] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 373–380.

16. Kablov E.N., Chibirkin V.V., Vdovin S.M. Izgotovlenie, svojstva i primenenie teplootvodjashhij osnovanij iz MMK Al–SiC v silovoj jelektronike i preobrazovatel'noj tehnike [Manufacturing, properties and application of the heat-removing bases from Al–SiC MMK in power electronics and converting equipment] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 20–22.