

УДК: 669.15-194

А. С. Затуловский, А. А. Щерецкий, В. А. Щерецкий

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

УПРОЧНЕНИЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ЦИРКОНИЯ, МОЛИБДЕНА, ВОЛЬФРАМА

Усовершенствована технология получения нанопорошков оксидов и карбидов переходных и тугоплавких металлов (молибден, цирконий, вольфрам) электроискровым методом, разработаны оптимальные технологические режимы их получения. Разработана технология формирования нано-микрочастиц и нанесения нанодисперсных порошков непосредственно на порошок алюминиевого матричного сплава термомеханическим методом. Разработан метод пропитки нано-микрочастиц расплавами на основе алюминия, который позволяет получать КМ с наноразмерными упрочнителями в количестве от 0,5 до 3 %мас. Получены нанокompозиты на основе литейных алюминиевых сплавов с повышенными триботехническими характеристиками.

Ключевые слова: алюмоматричные композиты, нанопорошки, упрочнение, триботехнические свойства.

Удосконалено технологію одержання нанопорошків оксидів і карбідів перехідних та тугоплавких металів (молібден, цирконій, вольфрам) електроіскровим методом, розроблено оптимальні технологічні режими їх одержання. Розроблено технологію формування нано-мікрочастиць та нанесення нанодисперсних порошків безпосередньо на порошок алюмінієвого матричного сплаву термомеханічним методом. Розроблено метод просочування нано-мікрочастиць розплавами на основі алюмінію, що дозволяє одержувати КМ з нанорозмірними зміцнювачами в кількості від 0,5 до 3 %мас. Одержано нанокompозити на основі ливарних алюмінієвих сплавів з підвищеними триботехнічними характеристиками.

Ключові слова: алюмоматричні композити, нанопорошки, зміцнення, триботехнічні властивості.

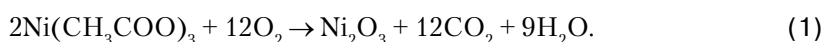
Electric-spark production method for nanopowder oxides and carbides producing of transition refractory metals (molybdenum, zirconium, wolfram) was improved and optimal technological modes had developed. There developed the method of thermo mechanical fixation of nanopowders directly onto the aluminium powders with formation of nano-micropellets. A consolidation technology of nano-micropellets by impregnation of aluminium melts was developed which allows to obtain nanosized CM with reinforcement an amount of from 0.5 up to 3 %wt. of nanopowders. Obtained nanocomposites based on cast aluminum alloys with improved tribological characteristics.

Keywords: aluminium based composites, nanopowders, reinforcement, tribological characteristics.

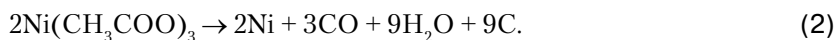
Повышение уровня триботехнической стойкости алюминиевых сплавов сильно ограничено в связи со склонностью алюминиевой матрицы к схватыванию в парах трения со стальным контртелом. Повысить износостойкость таких материалов и обеспечить их устойчивую работу возможно комплексным упрочнением (то есть созданием композиционного материала, КМ) частицами различного функционального назначения. Высокая износостойкость КМ должна сочетаться с технологичностью и экономичностью производства трибоизделий [1]. Для Украины разработка и внедрение новых износостойких материалов из отечественных недорогих компонентов особенно актуальна из-за отсутствия собственного сырья ряда цветных металлов и высокой стоимости импортных трибоматериалов. В научной литературе существует большое количество работ, посвящённых разработке новых функциональных материалов, упрочнённых высокопрочными дисперсными наполнителями [2-7], в которых доказана эффективность замены мономатериалов (сплавов) на КМ в изделиях, работающих в режиме трения. Такая замена позволяет повысить надёжность и уменьшить вес изделий. Тем не менее, в мире до сих пор не создано эффективных литейных технологий ввода ультрадисперсных и наноразмерных экзогенных частиц в металлическую матрицу.

Одной из перспективных литейных технологий получения КМ является «in-situ» процесс – формирование упрочняющей фазы непосредственно в металлической матрице. Реализация этого метода достигается путём контролируемого распада пересыщенного твёрдого раствора или термохимического синтеза (ТХС) в результате взаимодействия реагентов и матричного сплава.

Реализация «in-situ» процесса методом ТХС с формированием наноразмерных продуктов реакций возможна в рамках твёрдофазных реакций, так как в этом случае рост фаз ограничен низким уровнем диффузии. В качестве реагентов для синтеза дисперсной фазы при контакте с литейными алюминиевыми сплавами АК7 и АК12 использовали солевые системы $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_3$, K_2ZrF_6 , ZrOCl_2 . Исследование распада солевых систем и их взаимодействия с алюминиевыми расплавами проводили с помощью синхронного термического анализа. Образцы нагревали в потоке аргона или воздуха до температуры 900 °С. NiAc относительно легко теряет сорбированную и связанную воду; полное удаление воды происходит уже при 200 °С. Разложение ацетата никеля на воздухе проходит по реакции (1):



В среде инертного газа (высокоочищенного аргона) это разложение проходит по другой схеме, о чём свидетельствует поглощение системой тепла при температуре 310 °С. В этом случае рентгенофазные исследования выявили фазы свободного углерода и никеля в продуктах разложения, следовательно, в инертной атмосфере пиролиз ацетата протекает следующим образом (2):



В результате такого разложения образуются ультрадисперсные частицы углерода и никеля. Введение в сплавы на основе алюминия до 1 %мас. ультрадисперсных частиц никеля приводит к образованию значительного количества упрочняющих наноразмерных интерметаллидов. Как показали наши исследования, процесс разложения K_2ZrF_6 происходит в интервале 238- 576 °С, а при достижении температуры 796 °С начинается активное испарение продуктов распада. Таким образом, солевые системы разрушаются, высвобождая активные компоненты, взаимодействие которых с базовым сплавом реализует эндогенное упрочнение, за счёт формирования интерметаллидных соединений в алюминиевой матрице размером до 200 нм.

Значительно большее влияние на триботехнические свойства оказывает введение экзогенных высокомолекулярных частиц. Для ввода экзогенных частиц использовали оригинальную технологию, основанную на методе вакуумно-компрессионной пропитки порошковой смеси в литейной форме, которая объединяет преимущества литейных и порошковых подходов. Идея разработанной технологии заключается в пропитке металлическим расплавом формы, содержащей порошковую смесь, в состав которой входит порошок базового сплава алюминия и упрочняющие частицы. Наноразмерные порошки получали электрофизическими методами: электрического взрыва проводников (ЭВП) и электроискрового диспергирования (ЭИД) [8, 9].

Наноразмерные частицы осаждали на алюминиевый порошок из рабочей суспензии в ультразвуковом поле с последующей сушкой и механической консолидацией в течение 4 часов. Пропитку порошковой смеси расплавом производят без предварительного прессования или спекания.

При помощи термического анализа на приборе STA 449F1 исследовали взаимодействие частиц с алюминиевыми сплавами. Высокодисперсные частицы с помощью ультразвукового диспергатора УЗДН-2М наносили на порошки алюминиевых сплавов (А7, АД31, АК7, АК12 АК12М2МгН) с последующими сушкой и механической фиксацией, что препятствует их агломерации. Матричные сплавы подбирали таким образом, чтобы минимизировать возможность взаимодействия с частицами в процессе получения КМ. Фазовый состав полученных порошков представлен в табл. 1, 2.

Изучение влияния наноразмерных частиц на твёрдость КМ проводили методом автоматического наноиндентирования на приборе TI 950 TribolIndenter фирмы Hysitron с приставкой нано-ДМА, что позволило не только установить твёрдость структурных

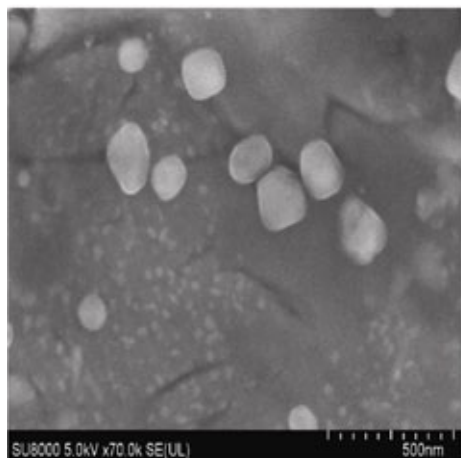
Таблица 1. Фазовый состав синтезированных порошков оксидов (рабочая среда – вода)

Частицы	Фазовый состав	Содержание фаз, %	Размер, нм
W (ЭИД)	W	80	29
	W(OH) ₃	15	48
	WO ₃	5	54
Mo (ЭИД)	Mo	50	27
	Mo(OH) ₃	40	43
	MoO ₂	10	36
Zr (ЭИД)	Zr	4	–
	ZrO ₂	49	60
	Zr _{3-x} OH _x 1	37	90
	Zr _{3-x} OH _x 2	10	130
W (ЭВП)	W	71,5	50
	WO ₃	28,5	20
Zr (ЭВП)	ZrO ₂	100	30
Mo (ЭВП)	Mo	60	35
	MoO ₂	40	15

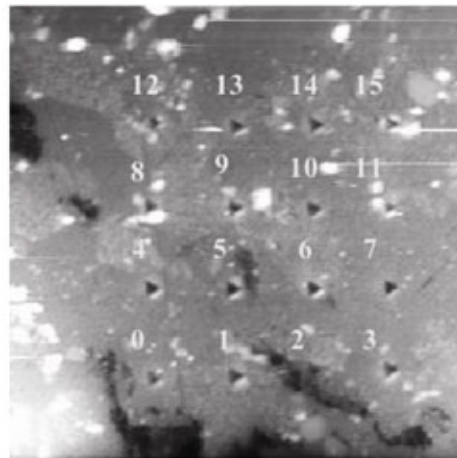
Таблица 2. Состав синтезированных порошков карбидов (рабочая среда – гексан)

Частицы	Фазовый состав	Содержание фаз, %	Размер, нм
W (ЭИД)	WC _{1-x} WC _{0,85}	75	40
		25	20
Zr (ЭИД)	ZrC Zr ₃ C ₂	90	70
		10	30
Mo (ЭИД)	MoC _{1-x} α-Mo ₂ C	90	78
		10	154

составляющих размером 100 нм, но и получить карты распределения высококомодульных частиц в матрице на участках 15 на 15 мкм с разрешением 100 нм (рис. 1). Применение матричного индентирования матрицей из 16 инденторов позволило оценить интегральное воздействие наноразмерных частиц на твёрдость материала в целом. Как ожидалось, средняя твёрдость возрастает пропорционально количеству вводимых высококомодульных частиц упрочнителей (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Микроструктура КМ – Al₃Zr в алюминиевой матрице, РЭМ SU8000 UHR FE-SEM (а); карта распределения модуля потерь на поверхности КМ после матричного наноиндентирования – TI 950 TriboIndenter (б)

Триботехнические исследования проводили на машине трения МТ67 в паре трения со стальным контртелом (40Х13) в условиях сухого трения, скорость трения составляла 1 м/с, а время приработки 30 мин. Наиболее износостойкими показали себя образцы с карбидами вольфрама и молибдена. При этом ввод карбида вольфрама в количестве 1-3 %мас. снижает коэффициент трения с 0,29 до 0,21, а износостойкость повышается в 5-25 раз (рис. 3).

Результаты триботехнических испытаний алюмоматричных композиционных материалов показали возможность применения разработанных материалов в производстве подшипников скольжения или же замене деталей трения в узлах механизмов. Если говорить в целом, эффект от упрочнения наноразмерными частицами значителен в узком диапазоне нагрузок и скоростей трения и при повышении нагрузки интенсивность износа стремительно возрастает, что говорит о рациональ-

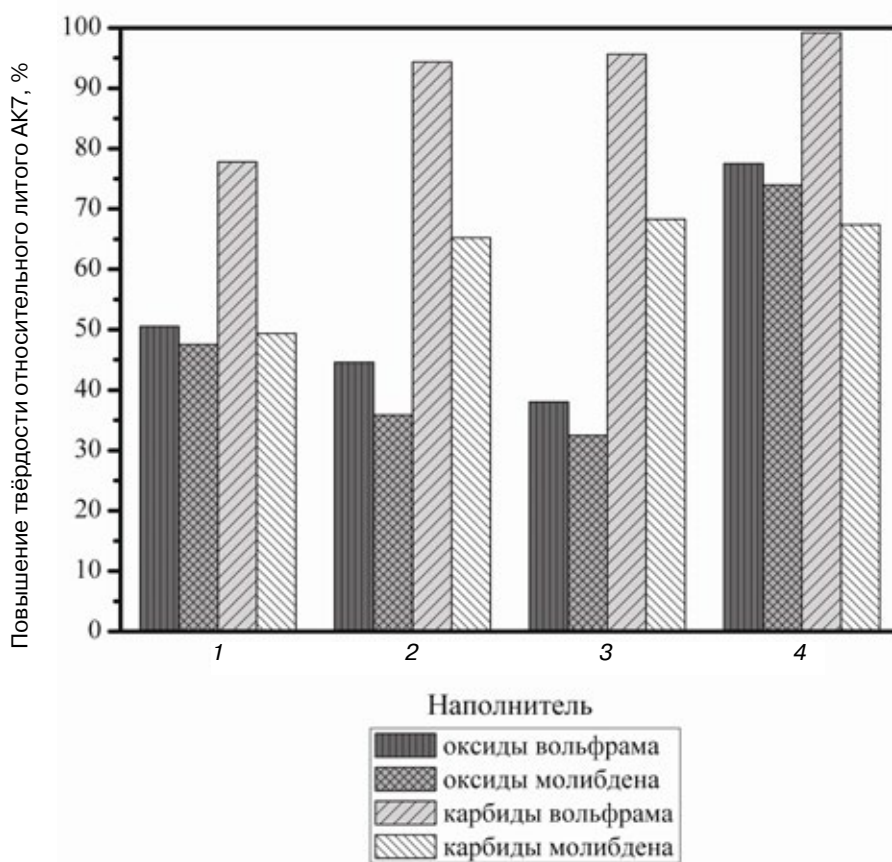


Рис. 2. Влияние наноразмерных частиц на твёрдость матрицы сплава АК7 при содержании частиц, %мас.: 1 – 0,5 ; 2 – 1; 3 – 1+1 ЛНУ (луковичные наноструктуры углерода); 4 – 3

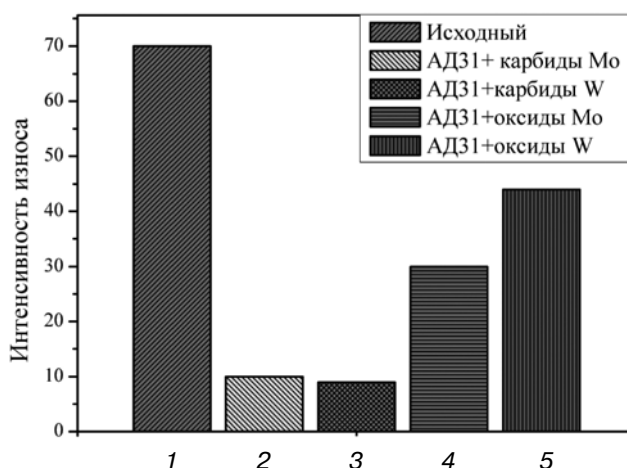


Рис. 3. Интенсивность износа композиционных материалов на основе сплава АК12 в зависимости от состава: 1 – АД31 + АК12; 2 – АД31 +3 % Мо (карбиды); 3 – АД31 +3 % W (карбиды); 4 – АД31 +3 % Мо (оксиды); 5 – АД31 +3 % W (оксиды)

ности применения комплексного упрочнения алюминиевой матрицы упрочнителями разного фракционного размера.



Список литературы

1. Затуловский С. С. Исследование триботехнических и эксплуатационных характеристик ЛКМ с матрицами из медных сплавов / С. С. Затуловский, А. С. Затуловский // Перспективные материалы. – 2005. – № 1. – С. 66-73.
2. Затуловский С. С. Концепция развития литых композиционных материалов / С. С. Затуловский // Процессы литья. – 1997. – № 4. – С. 9-10.
3. Fridlyander J. N. Metal matrix composites. – Chapman & Hall. – 1995. – С. 682.
4. Михаленков К. В. Получение дисперсноупрочненных и композиционных материалов на основе алюминия / К. В. Михаленков, В. Г. Могилатенко // Процессы литья. – 1996. – № 2. – С. 49-63.
5. Панфилов А. А. Разработка технологии и исследование свойств литых комбинированных композиционных материалов системы Al-Ti-SiC. // автореф. дис... канд. техн. наук. / А. А. Панфилов. – Владимир, 2002. – С. 24.
6. Чернышова Т. А. Композиционные материалы с матрицей из алюминиевых сплавов, упрочнённых частицами, для пар трения скольжения / Т. А. Чернышова, Ю. А. Курганова, Л. И. Кобелева // Конструкции из композиционных материалов. Межотраслевой научно-технический журнал. – 2007. – Вып. 3. – С. 38-48.
7. Гаврилин И. В. Актуальные вопросы теории дисперсных систем на основе литейных сплавов // Суспензионное и композиционное литье. – 1988. – С. 41-43.
8. Малые металлические частицы: способы получения, атомная и электронная структура, магнитные свойства и практическое использование / К. В. Чуистов, А. П. Шпак, А. П. Перекос и др. // Успехи физ. мет. – 2003. – № 4. – С. 235-269.
9. Шпак А. П. Кластерные и наноструктурные материалы / А. П. Шпак, Ю. А. Куницкий, В. Л. Карбовский. – Киев: Академперіодика. – 2001. – Т 1. – С. 587.

Поступила 19.02.2015

УДК 669.018:538.4:532.695

А. А. Паренюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕДНЫХ СПЛАВОВ МОНОТЕКТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТОКОСЪЁМНЫХ ВСТАВОК НА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ

Проведен поиск оптимального материала для токосъёмных вставок железной дороги. Произведён анализ токосъёмных пластин, применяемых в Украине. Показаны недостатки существующих материалов и невозможность их значительного улучшения традиционными методами. Рассмотрена возможность использования сплавов монотектических систем на основе меди как материала для токосъёмных вкладок на электротранспорте, при условии формирования структуры с низколегированной матрицей и мелкодисперсными включениями тугоплавкой фазы, равномерно распределенной в объёме сплава.