

УДК 669

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Романов А.Д., Чернышов Е.А., Мыльников В.В., Романова Е.А.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru*

В статье представлена история развития и современное состояние различных технологий получения композиционного материала с металлической матрицей на основе алюминия. Приведены свойства, технологии формирования структуры, преимущественная область применения композиционных материалов с металлической матрицей. Кратко изложены особенности разрабатываемой технологии получения дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе алюминия и результаты экспериментов. Представлены результаты микроструктурного и рентгенофазного анализа полученного материала.

Ключевые слова: дисперсно-упрочненный материал, композитный материал, алюминий, корунд, упрочняющая фаза, технология, свойства, структура

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF RECEIVING COMPOSITE MATERIAL ON THE BASIS OF ALUMINUM

Romanov A.D., Chernyshov E.A., Mylnikov V.V., Romanova E.A.

*The Nizhny Novgorod state technical university of R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru*

The history of development and a current state of various technologies of receiving composite material with a metal matrix on the basis of aluminum is presented in article. Properties, technologies of formation of structure, a primary scope of composite materials with a metal matrix are given. Features of the developed technology of receiving the disperse strengthened composite material on the basis of aluminum and results of experiments are briefly stated. Results of the microstructural and rengenofazny analysis of the received material are presented.

Keywords: the disperse strengthened material, composite material, aluminum, corundum, the strengthening phase, technology, properties, structure

В настоящее время традиционные материалы уже не в полной мере могут удовлетворять новые запросы конструкторов. Требования современной техники к повышению прочности и жесткости конструкционных материалов при одновременном снижении их плотности привели к созданию и применению нового класса материалов – композиционных с металлической матрицей. В частности у композиционных материалов с металлической матрицей достигается повышение предела прочности на 50–100 %, в 2–3 раза увеличивается модуль упругости и коэффициент жесткости, в несколько раз снижается склонность к трещинообразованию и повышается надежность деталей и узлов конструкций. Кроме того повышается жаропрочность, что объясняется тормозящим действием дисперсных частиц на процесс рекристаллизации. Применение данных композиционных материалов обеспечивает новый качественный скачок в увеличении мощности двигателей, энергетических и транспортных установок, уменьшении массы машин и приборов [1].

Дисперсно-упрочненными композиционными материалами (ДУКМ) принято называть материалы, упрочнителями в которых являются равномерно распределенные на заданном расстоянии одна от другой частицы, не взаимодействующие активно с металли-

ческой матрицей, искусственно вводимые в сплавы на одной из стадий их получения. В качестве упрочняющей фазы используют дисперсные частицы оксидов, карбидов, нитридов и других тугоплавких соединений. В отличие от волокнистых композиционных материалов в дисперсно-упрочненных композиционных материалах металлическая матрица является основным элементом несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение в ней дислокаций.

Армирующие частицы присутствуют в матрице в виде отдельных самостоятельных комплексов и играют роль легирующих добавок, обеспечивающих существенное повышение механических или эксплуатационных свойств по сравнению с традиционными сплавами. В затвердевшем композите керамические частицы работают как барьеры при движении дислокаций по матрице, затрудняя их движение. Частицы дисперсной фазы действуют как препятствия движению дислокаций в кристаллической решетке и блокируют процессы скольжения в матрице. При этом расстояние движения дислокаций сокращается при увеличении числа этих частиц. Обычно модуль сдвига частиц более чем в 2 раза больше модуля сдвига матрицы. Дислокации не перерезают и не деформируют частицы, а огибают выделения с увеличением уровня напряжения.

На первом месте по объему применения находятся алюмоматричные композиционные материалы. Существуют различные технологии насыщения упрочняющими фазами композиционных материалов, например, упрочнение алюминиевой матрицы собственными оксидами (Al_2O_3) или карбидами (Al_4C_3), смешением оксидов и другой упрочняющей фазы (например, $TiC-Al_2O_3-Al$) или алюминидами (например, $Fe_3Al-TiC$). Смеси порошков получают механическим или химическим смешиванием, например, введение в перегретый выше температуры плавления основной металл,

поверхностным или внутренним окислением, разложением смеси солей, водородным восстановлением или химическим осаждением из растворов.

ДУКМ получают различными способами: выделением частиц из пересыщенного твердого раствора (дисперсионно-твердеющие сплавы), методом порошковой металлургии, в том числе механическим легированием, методами внутреннего окисления и азотирования и др.

Механические свойства ДУКМ на основе алюминиевых сплавов, основы и армирующих материалов, приведены в таблице.

Свойства армирующих и матричных материалов и сплавов [2]

Материал	Плотность, г/см ³	Прочность при растяжении, кгс/мм ²	Модуль Юнга, Ех10 ⁻³ , кгс/мм ²
Сталь	7,74	420	203
Al термообработанный	2,7	32	7,0
Al отожженный	2,7	13	7,0
Al_2O_3 (поликристалл)	3,14	210	175
Al_2O_3 (усы)	3,96	2100	434

В частности метод синтеза тугоплавких соединений, основанный на экзотермическом взаимодействии двух или нескольких химических элементов (соединений), протекающем в режиме направленного горения. Технология порошкообразных СВС-продуктов позволяет получать неорганические соединения различных классов (карбиды, бориды, нитриды, гидриды, силициды, оксиды, интерметаллиды, халькогениды, фосфиды), как в виде индивидуальных соединений, так и более сложных по составу.

Также развивается направление спекания алюминиевых порошков. При этом алюминиевый порошок получают распылением расплавленного металла с последующим измельчением в шаровых мельницах до размера около 1 мкм в присутствии кислорода. Технология производства изделий и полуфабрикатов включает холодное прессование, предварительное спекание, горячее прессование, прокатку или выдавливание спеченной алюминиевой заготовки в форме готовых изделий, которые можно подвергать дополнительной термической обработке.

Одной из технологий развивающейся в настоящее время является «метод внутреннего окисления», который обладая такими преимуществами, как получение равномерно распределенной устойчивой дисперсной фазы на готовых изделиях. Однако поскольку скорость внутреннего

окисления уменьшается с увеличением глубины проникновения кислорода и, следовательно, в том же направлении происходит укрупнение образующихся окислов, поэтому метод внутреннего окисления эффективен для изделий или заготовок с небольшой толщиной.

В настоящее время особое внимание уделяется получению литых алюмоматричных композиционных сплавов вводом мелкодисперсных тугоплавких добавок непосредственно при литье (при заливке), что существенно увеличивает их количество в единице объема матричного расплава, тем самым увеличивая число центров кристаллизации при охлаждении расплава. При этом изучение микроструктуры полученных материалов показало что размер критического зародыша больше размера наночастиц (агломератов) и они не являются центрами кристаллизации, а захватываются зародышем в процессе кристаллизации [3].

Актуальность разработок технологий получения изделий из алюминиевых ДУКМ в автомобилестроении подтверждаются, например, их использованием для изготовления поршней дизельных двигателей (Toyota), цилиндрических вкладышей (Honda Prelude), ведущего вала (General Motors), дисков заднего тормоза (Plymouth Prowler, Lotus Elise, and Volkswagen Lupo). Однако высокая стоимость исходных материалов (например, стоимость частиц SiC

составляет 4,0–4,4 \$/кг; коротких волокон Al_2O_3 – 15–22 \$/кг) также является существенным сдерживающим фактором для широкого внедрения литых изделий из КМ. Для дальнейшего увеличения доли ДУКМ и снижения себестоимости их производства за рубежом создана специальная программа сотрудничества по разработке материалов и технологий их получения, позволяющим снизить массу автомобиля – Automotive Lightweighting Materials Program [4].

Для снижения стоимости изготовления ДУКМ в НГТУ им. Р.Е. Алексеева разрабатывается принципиально отличная технология получения дисперсно-упроченных композиционных материалов на основе алюминия, которая основана на процессе выгорания расплава алюминия при взаимодействии с кислородом или кислород – азотной смесью. В целом данный процесс основан на следующих технологиях: кислородно-конвертерный процесс, разливка алюминиевых сплавов в атмосфере кислорода и создание воздухонезависимой энергетической установки на основе высокотемпературного топлива [5].

Отличием предложенной технологии является меньшая стоимость исходных компонентов, а также упрощенная конструкция установки получения керамической фазы. Снижение стоимости исходных материалов происходит за счет отказа от порошкообразных компонентов и применение расплава, что практически на порядок дешевле. Кроме того аппаратная часть, блок продувки также значительно дешевле установок спекания, самораспространяющегося синтеза или механического легирования.

Экспериментальная часть

Для проведения экспериментов по созданию дисперсно-упроченного материала был спроектирован и изготовлен стенд для получения и разлива сплава с заданным содержанием упрочняющих элементов. В ходе экспериментальных работ в качестве матричного материала использовался алюминий марки А6 (99,6 Al; примеси, в основном Fe 0,25% и Si 0,18%) для исключения влияния легирующих добавок и изучения упрочнения композита только за счет частиц упрочняющей фазы.

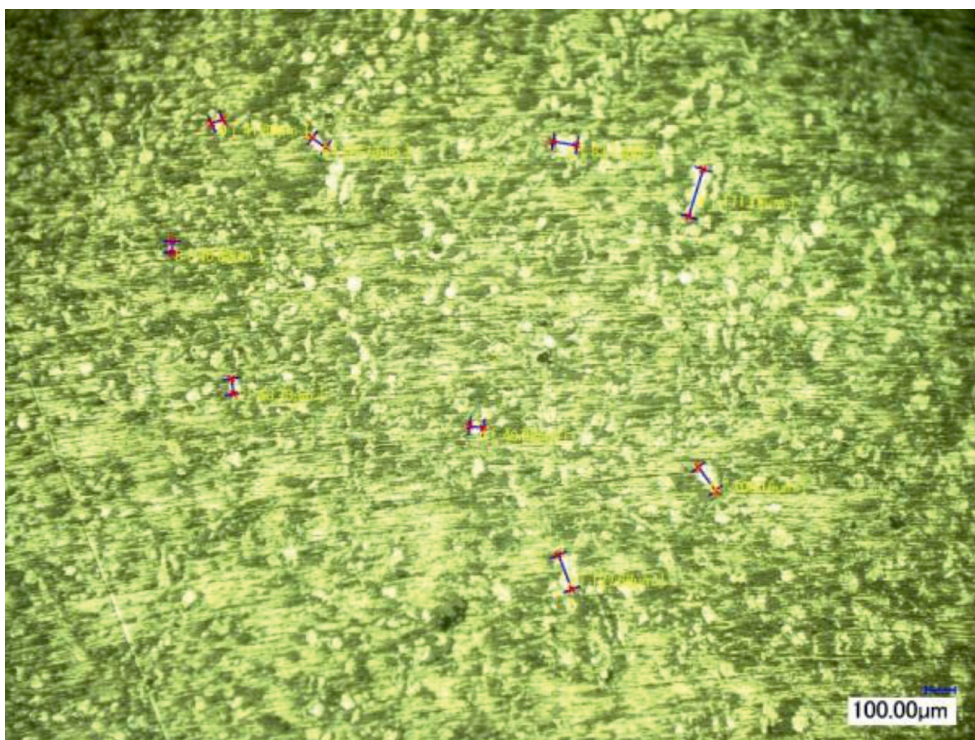


Рис. 1. Образец 1. Средний размер частиц 44 мкм. Увеличение 100х

Изучение структурно-фазового состояния полученного материала проводили с использованием методов оптической металлографии (KEYENCE VHX-1000) и рентгеноструктурного анализа.

В результате металлографических и рентгеноструктурных исследований установлено, что матрицей полученного металлокерамического материала является алюминий, основные фазы внедрения – ок-

сид алюминия, нитрид алюминия. Полнота протекания реакции окисления или нитрования регулируется по времени процесса и вариации конструкции блока продувки, размер частиц за счет изменения конструкции блока продувки, а также условий кристаллизации [6]. Это позволяет в значительной степени изменять механические свойства получаемого изделия от «мягко-

го», матрицы с отдельными включениями керамики, до монолитного керамического материала.

При этом твердость полученного материала в отожженном состоянии при испытании по Бринеллю составляет порядка 25–28 HB, но при этом микротвердость керамических элементов включений превышает 70 HRC.

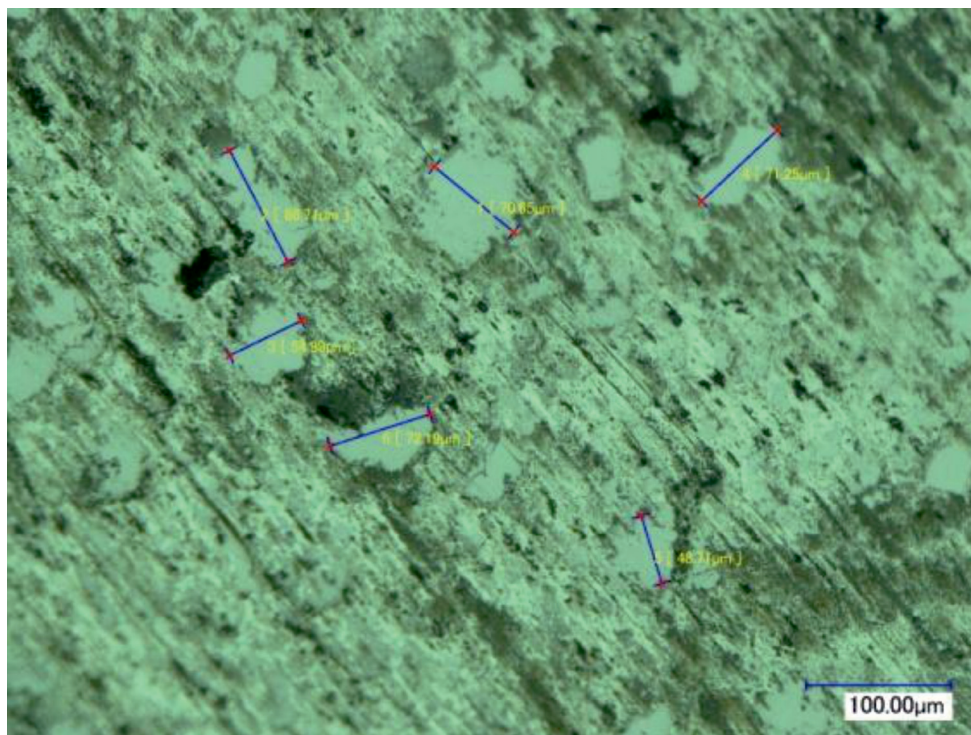


Рис. 2. Образец 2. Средний размер частиц 63 μm Увеличение 500х

Анализ микроструктур, приведенный на рис. 1 и 2, показывает практически равномерное распределение упрочняющей керамической фазы в металле. Причем преобладающая форма упрочняющего элемента глобулярная.

Выводы

Анализ существующих способов получения литых алюминиевых композиционных сплавов показывает, что традиционные технологии, помимо таких недостатков, как энергоемкость, сложность и длительность, зачастую экологическая вредность, ограничены в управлении процессом формирования структуры алюминиевых сплавов.

В дальнейшем планируется проведение исследований по созданию литых элементов баллистической защиты сложной формы с содержанием керамического материала более 96%. Предполагаемая область

применения – локальное усиление, защита, бронирование рамных машин и вертолетов, а также изготовление других изделий требующих высокой прочности и стойкости к истиранию при малом весе.

Список литературы

1. Алюминиевые композиционные сплавы – сплавы будущего. / Сост. А.Р. Луц, И.А. Галочкина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 82 с.:ил.
2. Кербер М.Л. Композиционные материалы. Соросовский образовательный журнал. – 1989. – № 5. – С. 33–39.
3. Анисимов О.В. Технология получения композиционных материалов на основе алюминия, упрочненных дисперсными наночастицами ZrO_2 и SiC в поле центробежных сил центрифуги. автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 2012.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lamp.ncms.org>.
5. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Высокометаллизированное топливо на основе алюминия и его применение // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 24. – С. 69–73.
6. Чернышов Е.А. Формирование стальных отливок в условиях внешнего и комплексного воздействия монография / Е.А. Чернышов. – Нижний Новгород, 2007.