

ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Н.А. Бунакова «Особенности микроструктуры и физико-механических свойств композиционного материала на основе алюминия с углеродными нанотрубками, полученного с использованием искро-плазменного спекания»

Алюминиевые сплавы, обладая малой плотностью и высокой удельной прочностью, являются одними из наиболее используемых конструкционных материалов и находят свое применение во многих отраслях промышленности. Все более актуальным становится повышение их механических свойств и технологичности при низкой себестоимости, в том числе за счет введения в алюминиевую матрицу керамических частиц и наночастиц. В связи с этим не вызывает сомнения актуальность диссертационной работы Н.А. Бунакова, посвященной задаче разработки и расширения фундаментальных основ технологии получения методом искро-плазменного спекания (ИПС) алюмоматричных композитов, армированных многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ).

При решении этой задачи диссертант получил ряд новых важных результатов.

1. Функционализация нанотрубок (обработка кислотами), заключающаяся в присоединении к их поверхности полярных групп, позволяющая достичь наилучшего распределения нанотрубок в алюминиевой матрице и последующее ИПС обеспечивает достижение плотности композита (98,6 %).
2. С ростом концентрации МУНТ от 0 до 1 масс.% наблюдается увеличение среднего размера фрагментов оксидного слоя (при постоянных температуре и времени) на границах зерен алюминиевой матрицы. С увеличением времени спекания при постоянной температуре наблюдается выраженное разрушение оксидной пленки и перемещение ее фрагментов в тело зерна.
3. МУНТ преимущественно располагаются по границам зерен алюминиевой матрицы с образованием межфазных локальных пор и пустот, средний размер которых уменьшается по мере уменьшения концентрации МУНТ. При ИПС ФМУНТ, испытывавшие взаимодействие с Al в жидкой фазе, сохраняют свою структуру и имеют плотный межфазный контакт с матрицей. При таких же условиях большая часть исходных МУНТ претерпевает деструкцию с образованием карбида алюминия Al_4C_3 .
4. Физическая модель процесса ИПС, учитывающая свойства компонентов композита и основные уравнения тепло- и электропроводности, позволяет рассчитать значения основных технологических параметров ИПС и установить особенности протекания процессов спекания в локальных микрообъемах, содержащих частицы алюминия, фрагменты оксидного слоя и МУНТ.
5. При введении в алюминиевую матрицу ФМУНТ в количестве 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1 масс.% наибольшее упрочнение композита достигается при содержании 0,1 масс.%.
6. На прочностные свойства композитов при введении МУНТ влияют два основных фактора: 1) степень агломерирования МУНТ, 2) средний размер фрагментов оксида алюминия на границах зерен. Полученные результаты хорошо описываются существующими моделями Холла-Петча и Халпин-Цая.

По содержанию автореферата возникли следующие замечания.

1. Средний размер фрагментов оксида алюминия на границах зерен играет значительную роль и на рис. 4 авторефераты представлены результаты расчета характерного размера фрагментов Al_2O_3 в зависимости от концентрации МУНТ, но не представлены такие результаты для

функционализированных МУНТ, то есть ФМУНТ, которые более важны для результатов работы.

2. При моделировании ИПС в микромасштабе (раздел 2 главы 5) получено, что нагрев частиц алюминия вблизи МУНТ (в том числе и процесс разрушения оксидного слоя) за счёт электрического тока будет проходить менее эффективно, что приводит к худшему спеканию частиц металла. Отсюда следует, что введение МУНТ в алюминий играет отрицательную роль? Почему не промоделировано введение ФМУНТ? Как бы это изменило результаты моделирования?

3. В четвертой главе представлены результаты моделирования упрочнения алюмокомпозита фрагментами частиц Al_2O_3 по механизму Холла-Петча с учетом зинеровских сил в зависимости от размера фрагментов частиц Al_2O_3 . Однако при этом не учтено упрочнение по механизму Орована в зависимости от расстояния между частицами фрагментов Al_2O_3 и по механизмам несоответствия коэффициентов термического расширения и модулей упругости Al_2O_3 и алюминиевой матрицы. Известно, что указанные механизмы Орована и несоответствия играют определяющую роль в упрочнении металлических матриц наночастицами.

4. При моделировании упрочнения алюмокомпозита в четвертой главе не учитывалось образование частиц карбида алюминия при введении МУНТ. Сложилось впечатление, что у автора диссертации отрицательное отношение к образованию частиц карбида алюминия. Но ведь частицы карбида алюминия могут играть и положительную роль в упрочнении алюминия, достаточно вспомнить известные промышленно выпускаемые дисперсно-упрочненные сплавы $Al-Al_4C_3$ с содержанием частиц Al_4C_3 до 22 %.

Однако эти замечания не имеют существенного значения. В целом работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современных экспериментальных и теоретических методов. Ее результаты являются новыми, достоверными и имеют важное практическое значение. Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 к кандидатским диссертациям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. Автор диссертации, Бунаков Никита Андреевич, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – Физика конденсированного состояния.

Зав. кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», доктор физико-математических наук (01.04.17 – Химическая физика, в том числе физика горения и взрыва), профессор

Тел. (846) 242-28-89. E-mail: egundor@yandex.ru.
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус.

Амосов
Александр Петрович
A.P. Amosov

Подпись А.П. Амосова удостоверяю
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «СамГТУ»,
доктор технических наук



Ю.А. Малиновская