

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ФОРМОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

Ильющенко А.Ф.¹, Судник Л.В.², Лученок А.Р.², Рудницкий К.Ф.²

¹Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа,
ул. Платонова, 41, 220005 г. Минск, Беларусь

²ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством», ул. Платонова 126, Минск, Беларусь

Развитие современной науки и техники предъявляет повышенные требования к материалам конструкционного и функционального назначения, в том числе к условиям эксплуатации, главными из которых являются обеспечение максимальной прочности и жесткости конструкций при минимальных весовых характеристиках, высоких износостойкости и несущей способности, максимальной ударной вязкости в широком диапазоне температур, трибологических свойств, высокой усталостной прочности.

Значительные успехи в этой области были достигнуты с развитием композиционных материалов с металлической матрицей, упрочненной наноструктурированными добавками. По сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами, композиционные материалы на их основе отличаются более высокими значениями физико-механических свойств, что обеспечивает им конкурентные преимущества в ряде отраслей науки и техники.

Широкое применение алюминиевых сплавов в качестве матричных сплавов обусловлено тем, что для них характерны высокие показатели теплопроводности, теплоемкости и коррозионной стойкости, высокие технологические свойства, в том числе возможность широкого варьирования механических свойств за счет выбора систем легирования и режимов термических и термомеханических обработок, литейные свойства, обрабатываемость резанием и совместимость с дискретными наполнителями. Кроме того, алюминиевые сплавы характеризуются разнообразием интерметаллидных фаз, образующихся при взаимодействии с другими металлами.

Свойства разрабатываемых композиционных материалов могут варьироваться в широких пределах в зависимости от объемного содержания и морфологии компонентов. Перспективным направлением в плане совершенствования композиционных материалов является разработка составов и технологий получения их с наноразмерными частицами. Это связано с тем, что нанокomпозиты могут в потенциале совместить все преимущества наноматериалов и композитов и продемонстрировать более высокий уровень эксплуатационных характеристик.

Целью проведенных исследований являлось определение влияния импульсного прессования на структуру и свойства алюмоматричных материалов для получения аргументов в пользу перспектив выбранных технологий получения нанокomпозитов высокой плотности.

Материалы и методика исследований. Уплотнению подвергались наноструктурированные ультрадисперсные керамические порошки и их смеси с алюминиевыми порошками. В основе технологии синтеза алюмооксидных порошков лежит процесс сверхкритического водного окисления в условиях повышенных температур и давлений.

Экспериментальные данные и обсуждение результатов. В зависимости от условий протекания окисления металлического алюминия водой могут реализовываться три реакции, по которым образуются различные твердые продукты и выделяется различное количество тепла, на единицу массы реагирующего металла.

Разрабатываемый способ получения гидроксида или оксида алюминия заключается в том, что из мелкодисперсного алюминия готовят суспензию порошкообразного алюминия в воде. Суспензию непрерывно подают в реактор высокого давления, где суспензию порошкообразного алюминия распыляют в водупри повышенных температуре и давления. В реакторе при до- или сверхкритических параметрах воды в поверхностных слоях частиц алюминия происходит образование новой фазы (гидроксида алюминия) с увеличением объема в

два раза. При возрастании механических напряжений на границе фаз выше критических происходит отрыв новообразований от частицы алюминия. В результате частицы алюминия (размером до 20 мкм) превращаются в наноструктурированный бемит (размер до 50 нм). Следует иметь в виду, что вследствие большой удельной поверхности наночастицы склонны к агрегации.

Гидроксид алюминия $Al(OH)_3$ (бемит) полученный методом гидротермального синтеза содеожит основное вещество до 99,995 %, имеет размер кристаллов не более 50 нм, истинная плотность не более $3,06 \text{ г/см}^3$.

Содержание основного вещества в оксиде алюминия, полученного термообработкой бемита, достигается 99,995 %, размер кристаллов не более 50 нм, истинная плотность не менее $3,95 \text{ г/см}^3$ [1].

Процессы традиционной порошковой металлургии, включающие операции прессования и последующего спекания, как правило, приводят к частичному плавлению и рекристаллизации матричных зерен в процессе спекания.

Перспективным методом получения изделий из порошков является метод импульсного компактирования с использованием энергии бризантных взрывчатых веществ. Практическое применение импульсного воздействия позволяет получать изделия из различных порошков высокой (до 99 %) плотности. Однако нанопорошки размером частиц порядка 2-20 нм обладают огромной удельной поверхностью ($250\text{-}300 \text{ м}^2/\text{г}$) и адсорбционной способностью. Поэтому при импульсном компактировании, сопровождаемом сильным разогревом материала [2] и расширением адсорбированных на поверхности наночастиц веществ, происходит разуплотнение и разрушение изделия.

Нами рассмотрены возможности двухстадийной технологии получения материалов и изделий, включающей импульсное гранулирование [3] и последующее компактирование гранулированного материала. При этом за счет высоких давлений, развиваемых в процессе импульсного воздействия и сдвиговых деформаций обеспечивается высокая прочность межчастичных связей и возможность исключения операции спекания прессовок.

В общем случае для армирования применяют частицы (или волокна) карбида кремния, оксида алюминия, бориды титана, карбида бора и т.п., в результате чего достигают увеличение прочности и повышение значения модуля Юнга. Прочность получаемых композиционных материалов зависит от объемной доли упрочняющих частиц, которые обычно вводят (методом порошковой металлургии или перемешивают с расплавленным металлом) в алюминиевый сплав в количестве 10÷50 % и получают композиционные материалы с пределом прочности $500\div 620 \text{ МПа}$, плотностью $2840\div 2940 \text{ кг/м}^3$.

В реализованных композитах размеры структурных элементов - керамических частиц и металлических зерен - находятся в пределах от 0.1 до 50 мкм. В сущности, эти композиты представляют собой механическую смесь, а их поведение хорошо описывается дислокационной теорией прочности. При деформации композиционного материала зародившиеся в его зернах дислокации не в состоянии перерезать более прочные частицы и поэтому вынуждены обходить их неконсервативным путем, затрачивая определенную энергию. Ключевым фактором в этом процессе является не прочность самих частиц, а состояние поверхности между частицей и металлической матрицей. Если параметры кристаллических решеток керамической частицы и металлической матрицы сильно различаются (в этом случае говорят, что решетки несопряженные), то разрушение происходит по границам раздела между частицами и матрицей [3].

В наноструктурных композиционных материалах уменьшение размеров зерен металлической матрицы и керамических частиц до нанометровых приводит к изменению физических механизмов деформации и разрушения наноматериалов. Поскольку зарождение и движение дислокации в наноструктурных элементах материала (зернах, частицах) не реализуются, то его деформация происходит путем проскальзывания зерен металлической матрицы относительно друг друга. Роль упрочняющих частиц в этом случае сводится к тому, что они:

а) при изготовлении наноструктурного композита при термической обработке замедляют рекристаллизацию металлической матрицы;

б) при воздействии на нанокompозит механической нагрузки препятствуют проскальзыванию металлических зерен относительно друг друга, являясь своеобразными механическими «стопорами».

Полученный наноструктурный композиционный материал состоит из сплава алюминия с размерами зерен от 5 до 150 нм, преимущественно 44±60 нм, и 10 % вес. упрочняющих наночастиц Al_2O_3 .

Установлено что, твердость наноструктурного композиционного материала, состоящего из зерен алюминиевого сплава марки и 10% частиц Al_2O_3 , измеренная по Виккерсу при нагрузке 2,942 Н, составила 288,7±233,3 HV (2830±2290 МПа), а плотность - 2640±2650 кг/м³. Прочность полученного композиционного материала находится в пределах 763±1048 Мпа, что позволяет считать предложенные методы получения ультрадисперстного порошка и наноструктурированного материала эффективным.

Эффективность разработанной технологии подтверждена и для материалов и изделий из композиций Сг+5% нанокерамических частиц, TiAl +3-5% нанокерамических частиц и др. диаметром 80-100 мм с относительной плотностью порядка свыше 90%.

Литература

1. Функциональные материалы на основе наноструктурированных порошков гидроксида алюминия / П.А. Витязь [и др.] – Минск: Беларуская навука, 2010. – 183 с.
2. Роман О.В., О возможности определения температуры нагрева пористых тел при взрывном нагружении [текст]: И.М. Пикус, О.В. Роман, ФГВ 1974 №5, с 782-785.
3. Патент РБ №13614 РБ «Способ получения поликомпонентных гранул из разнородных порошков».