

Методом термообработки пентагональных частиц и кристаллов, полученных методом электроосаждения металла, возможно формирование нанопористого материала, который в дальнейшем найдет широкое применение в химических отраслях.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (з/к № П2382 и № П2620).

1. Викарчук А.А., Воленко А.П. Пентагональные кристаллы меди: многообразие форм роста и особенности внутреннего строения // ФТТ. 2005. Т. 47, вып. 2. С. 339 – 344.
2. Владимиров В.И., Романов А.Е. Дисклинации в кристаллах // Ленинград: Наука, 1986. – 224с.
3. Викарчук А.А., Грызунова Н.Н., Дорогов М.В. Специфические нанообъекты и микроизделия из них, полученные методом электроосаждения металла // Журнал Перспективные материалы, 2008, №6, С. 109 – 114.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ IN-SITU ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ТУГОПЛАВКИХ НАНОПОЛНИТЕЛЕЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

Комаров А. И., Комарова В. И., Шипко А. А.

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,
komarova@inmash.bas-net.by*

В условиях возросших требований к форсированию режимов работы узлов трения традиционные сплавы алюминия не выдерживают возросший уровень термомеханических нагрузок, и, кроме того, имеют недостаточную износостойкость рабочих поверхностей. Последнее вызывает необходимость поиска путей создания новых функциональных материалов. Перспективным направлением решения этих задач является создание композиционных материалов (КМ) на базе алюминиевых сплавов с включением в их структуру тугоплавких керамических наполнителей, в качестве которых наиболее часто используются SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC, Ti, обладающие высокими механическими свойствами. Обычно размер используемых армирующих частиц составляет 20–60 мкм, а в ряде случаев значительно превышающий этот диапазон [1]. В частности, размер частиц Ti, используемого для получения КМ, составляет 650–1000 мкм [1]. Значительные возможности в целенаправленном регулировании свойствами КМ открываются при использовании наноразмерных наполнителей [2], однако это связано с рядом проблем. Прежде всего, достаточно дорогостоящим является процесс получения нанопорошков. Также сложной технической задачей является введение наномодификаторов в расплавы и равномерное распределение частиц в них. Имеющейся к настоящему времени информации недостаточно для решения этих задач.

Следует ожидать, что эффективным технологическим приемом может явиться модификация поверхности исходных порошковых наполнителей путем легирования реакционно-активными элементами, вследствие чего их частицам могут быть приданы свойства, отсутствующие у них первоначально. При этом достигается новые фазовый и функциональный составы поверхности порошковых модификаторов, снижается количество примесей, адсорбированных и хемосорбированных соединений, унифицируется структура поверхности, что способствует повышению ее реакционной активности к алюминиевой матрице.

Цель работы – изучение структурно-фазовых превращений в микродисперсных (МДП) и ультрадисперсных (УДП) порошковых модификаторах, легированных по специальной технологии реакционно-активными элементами, приводящими к протеканию химических реакций, обеспечивающих создание *in-situ* тугоплавких керамических наноструктурированных наполнителей различного типа, их использование при разработке алюмоматричных КМ.

Матрицей при разработке КМ служил эвтектический силумин АК12М2МгН, широко используемый для изготовления деталей цилиндро-поршневой группы, а исходных наполнителей – МДП и УДП гексагонального нитрида бора (ГНБ) с размером частиц 5–20 и 0,2–1,0 мкм соответственно и УДП диоксида кремния с размером частиц 0,6–1,0 мкм. Для обеспечения смачивания частиц этих модификаторов расплавом осуществляли их легирование элементами, обладающими химическим сродством к алюминию. Исследование фазовых и структурных превращений в модификаторах и отливках КМ проводили методами рентгеноструктурного и металлографического анализов.

Полученные результаты рентгенофазовых исследований показали, что на дифрактограмме исходного МДП-наполнителя ГНБ присутствуют только отражения, характерные для этого нитрида (рис. 1 *a*).

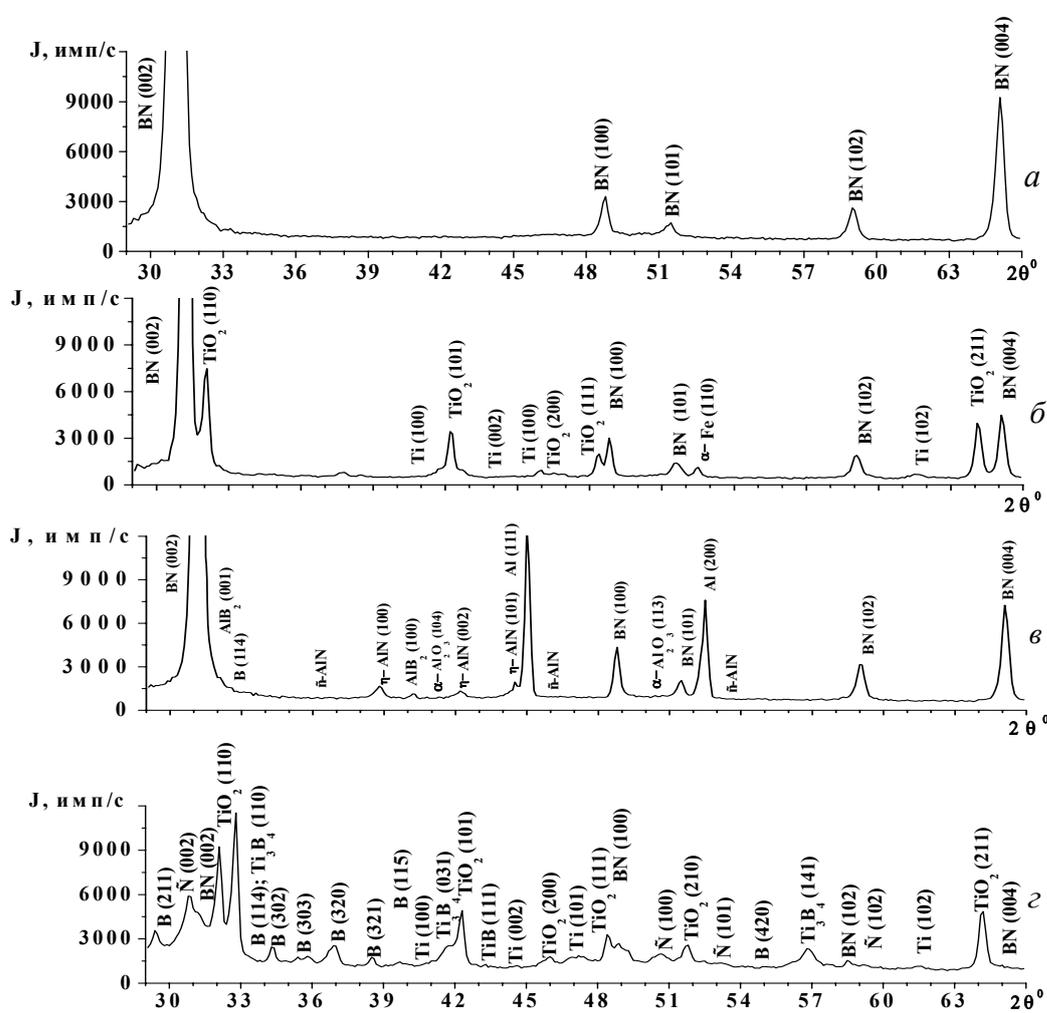


Рис. 1. Дифрактограммы ГНБ-модификаторов: *a*–исходное состояние; *б*–легирование Ti; *в*–алюминием; *г*–титаном и бором

Легирование титаном этого модификатора вследствие реакций *in-situ* приводит к формированию в нем TiO_2 (рутила) и свободного Ti с размером частиц наноуровневого диапазона (рис. 1 *б*). Это обеспечивает получение композиционного наноструктуриро-

ванного полифункционального модификатора (КНПМ1). Применение в качестве легирующего элемента алюминия также сопровождается существенным изменением фазового состава МДП ГНБ- модификатора. В этом случае в нем формируется комплекса керамических тугоплавких наночастиц – нитридов AlN с гексагональной и кубической решетками, AlB_2 , $\alpha-Al_2O_3$ (КНПМ2; рис. 1б). Процесс механоактивации ГНБ, приводящий к его диспергированию, в процессе специального легирования бором и титаном сопровождается формированием в нем (рис. 1з) широкого спектра наноструктурированных соединений (TiO_2 , TiB , Ti_3B_4) и реакционноактивных элементов (B, Ti), приводящих к образованию КНПМ3.

Разработанные физико-химические принципы позволили получить нанонаполнители и на базе исходного УДП диоксида кремния. В качестве примера на рис. 2 приведены данные его рентгенофазового анализа в исходном состоянии (рис.2а) и после обработки элементами, обладающими химическим сродством к алюминию.

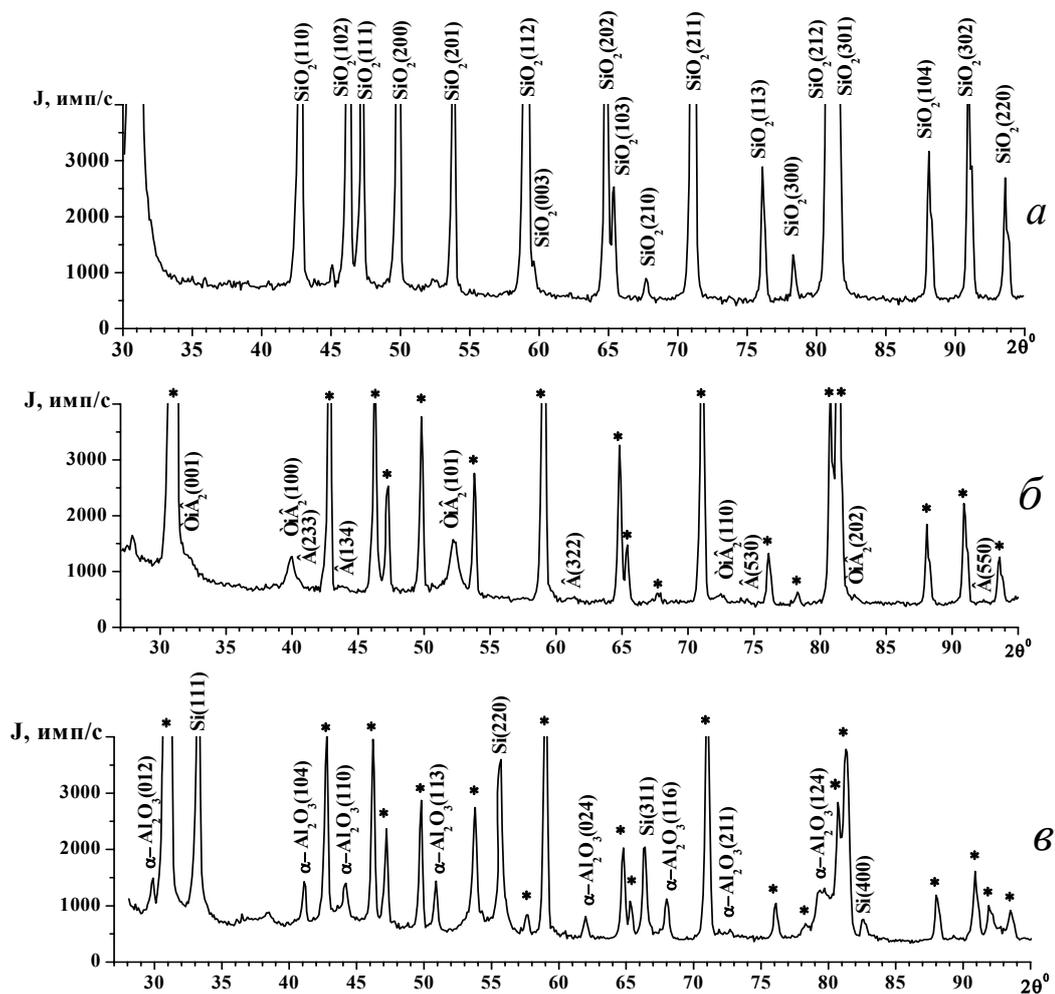


Рис. 2. Дифрактограммы исходного УДП SiO_2 (а), модифицированного бором и титаном (б), алюминием (в; *-отражения SiO_2)

Как следует из анализа представленных данных, в исходном состоянии УДП SiO_2 представлен порошком кварца гексагональной сингонии (рис. 2а). Обработка УДП SiO_2 в среде бора и титана сопровождается изменением его структуры, которое заключается в появлении в ней TiB_2 и непрореагировавшего бора (КНПМ4; рис. 2б) вследствие химических реакций, протекающих непосредственно в исходной шихте. Легирование УДП SiO_2 алюминием приводит к формированию в значительном количестве наноструктурированных Si, $\alpha-Al_2O_3$ (КНПМ5; рис. 2в). Показано, что следствием легирования

диоксида кремния Al, Ti и углеродсодержащей компонентой является КНПМ, состоящий из смеси керамических наночастиц – Si, α -Al₂O₃, SiC, TiC и УДП SiO₂. Из этого следует, что процессы модифицирования УДП SiO₂ также приводят к структурным превращениям в нем и повышают его реакционную активность.

Установлено, что армирование сплава АК12М2МгН разработанными наполнителями оказывает значительное модифицирующее воздействие на его структуру, что проявляется в диспергировании как α -фазы, так и эвтектики и достаточно равномерном распределении структурных составляющих (рис. 3). Интересный эффект достигается при армировании силумина наполнителем КНПМ2 (рис. 3 б). Видно, что структура композита по сравнению с исходным сплавом характеризуется мелким зерном α -фазы, дисперсной эвтектикой и наличием фаз Al₈Cu₃Ni, FeNiSi, CuNi равноосной формы, достаточно равномерно распределенных в композите. Значимый эффект воздействия на структурное строение сплава АК12М2МгН достигается его армированием модификатором КНПМ5 (рис. 3 в). В этом случае в КМ образуются свободный Si наноразмерного диапазона и структура, характерная для заэвтектических силуминов – содержание кремния в КМ, как следует из полученных данных, возрастает с 12–13 до 16–17 мас. %. Последнее связано с восстановлением кремния алюминием, приводящим к формированию наночастиц α -Al₂O₃.

Установлено, что армирование силумина АК12М2МгН разработанными модификаторами обеспечивает повышение его износостойкости в 2,5–3 раза, твердости в 1,8 раз при одновременном снижении коэффициента трения до 3 раз и расширении диапазона рабочих нагрузок.

Таким образом, разработанные физические принципы позволили создать композиционные тугоплавкие керамические наноструктурированные полифункциональные модификаторы, которые обеспечивают одновременное армирование алюминиевой матрицы микро- и наночастицами различной природы, что достигается варьированием составом исходной шихты. Это открывает широкие возможности для создания перспективных материалов и целенаправленного регулирования свойствами создаваемых КМ.

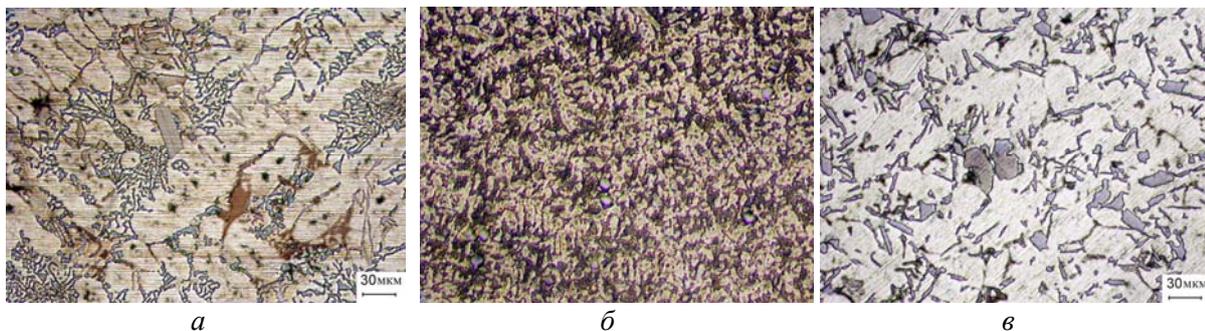


Рис. 3. Микроструктура исходного сплава АК12М2МгН (а), армированного модификаторами НКПМ2 (б) и НКПМ5 (в)

Список литературы

1. Михеев Р.С., Калашникова И.Е., Кобелева, Чернышева Т.А. Разработка композиционных материалов // ФХОМ, 2009, №3, с.85–90.
2. Крушенко Г.Г., Фильков М.Н. Модифицирование алюминиевых сплавов нанопорошками // Нанотехника, 2007, т. 12, № 4, с. 58–64.
3. УДК. 621.785.5