

**Опыт получения композиционного материала на основе алюминия, армированного углеродными нанотрубками**

Магистрант Миронович А.Ю.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В докладе представлен анализ метода получения композитного материала из алюминиевого сплава, армированного углеродными нанотрубками по данным работы [1]. Наряду с быстрым развитием высокотехнологичных секторов промышленности, таких как аэрокосмическая, оборонная и военная отрасли, спрос на высокопрочный легкий материал постоянно растет. В настоящее время при разработке высокопрочных алюминиевых сплавов большое внимание исследователей привлекают композиционные составы на основе алюминия, армированные ультрадисперсными наполнителями. Перспективным материалом является композиционный сплав на основе алюминия, упрочненный углеродными нанотрубками (УН).

Плотность УН очень низкая, однако они обладают высокими механическими и физическими свойствами, и по мере развития промышленных способов получения композиционных материалов, композиты, наполненные УН, постепенно становятся центром исследований и разработок. Сложной проблемой при получении таких материалов является задача равномерного распределения УН в алюминиевой матрице. В последние годы указанная проблема, наряду с постоянным углублением исследований и развитием технологий порошковой металлургии, основанных на применении высокоэнергетических шаровых мельниц, постепенно решается. Однако в высокопрочных сплавах с высоким содержанием легирующих элементов, таких как медь, магний и цинк, наблюдается активное взаимодействие и деструкция УН. С другой стороны, высокая интенсивность совместного помола порошковых материалов приводит к разрушению исходной структуры УН, что снижает эффект упрочнения сплава. Так, известны методы получения алюмоматричных композитов, которые предусматривают измельчение в высокоэнергетической шаровой мельнице порошковых материалов вместе с УН, с последующим спеканием полученного порошка, горячей экструзии спеченной заготовки, с последующей ее термообработкой. Недостатками указанных методов является то, что при механическом легировании требуется длительное время измельчения материалов в высокоэнергетической шаровой мельнице, что вызывает значительные повреждения структуры УН, при этом частицы алюминия вступают с УН в химическую реакцию с образованием карбидов алюминия  $Al_4C_3$ , которые снижают упрочняющий эффект от использования УН. Таким образом, актуальным является разработка технологического маршрута получения композиционного материала, обеспечивающего равномерное распределение УН в алюминиевом порошке, без нарушения их исходной структуры. Решение указанной проблемы открывает перспективы получения высокопрочных алюминиевых сплавов для широкого применения в таких областях, как аэрокосмическая, приборостроительная и оборонная промышленность.

Для реализации поставленной цели в работе [1] представлен метод, который обеспечивает возможность получения композитного материала на основе алюминиевого сплава, армированного УН. В представленном методе предварительно получают нано-структурированный материал из предварительно подготовленных легирующих компонентов, выполняется измельчение в шаровой мельнице УН и сферического чистого алюминиевого порошка для получения композитного материала, далее осуществляют уплотнение, спекание, деформационную и термическую обработку полученного материала. Поскольку алюминиевый порошок обладает сильной деформируемостью, требуется его минимальное измельчение, чтобы реализовать соединение с УН и легирующими компонентами, избегая интенсивного разрушения структуры УН.

Основные этапы данного метода:

(1) в сферической порошковой мельнице из легирующих компонентов (технически чистых металлов или лигатур) формируют нано-структурированный материал;

(2) полученный нано-структурированный материал смешивают со мелкодисперсным алюминиевым порошком и УН, проводят измельчение в шаровой мельнице, получают композитный порошок;

(3) проводят уплотнение и спекание полученного на предыдущем этапе композитного порошка, которые обеспечивают взаимную диффузию фаз между легирующими компонентами и частицами алюминия;

(4) проводят механическую (давлением) и термическую обработку полученной на предыдущем этапе заготовки композитного материала из алюминиевого сплава, армированного УН.

Авторы работы [1] отмечают, что данный метод обеспечивает эффективное использование УН для упрочнения алюминиевого сплава, существенную экономию энергии и времени, характеризуется простотой, безопасностью и возможностью применения в массовом производстве.

### **Список использованных источников**

A kind of method for preparing powder metallurgy of carbon nano tube reinforced aluminum alloy composite material [Electronic resource] : Pat. CN201410032834.0A. Li Zhiqiang, Qin Zhen, Fan Genlian, Tan Zhanqiu, Zhang Di. – Publ. date 14.10.2015. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/CN103789564B/en?q=aluminium+pouder+&language=ENGLISH>