

## МЕХАНОАКТИВАЦИЯ МЕТАЛЛОВ С СОЛЯМИ

С.Г. Вадченко \*, И.Д. Ковалев, Н.Ф. Шкодич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка, Россия

\* [vadchenko@ism.ac.ru](mailto:vadchenko@ism.ac.ru)

При механической активации порошков происходит ряд физико-химических процессов, вызванных интенсивной механической деформацией частиц - ударом и истиранием. При этом происходит измельчение частиц, образование дефектов кристаллической решетки и формируются ювенильные поверхности, обладающие высокой реакционной способностью. Благодаря появлению новых активных поверхностей происходит холодная сварка частиц и образование наноламинатной структуры. При получении таким способом металлических композитных частиц, как правило, металлы различаются по прочностным свойствам и твердости. Частицы из пластичных металлов могут перейти в аморфное состояние, а более прочные частицы за время активации не успевают измельчиться, что приводит к неоднородности состава.

Процесс механоактивации широко применяется в различных отраслях промышленности и исследованию этого процесса посвящено множество монографий, диссертаций и статей [1-9]. МА является одним из перспективных методов получения композитных порошков. Композитные порошки используют в различных областях техники: в военной - в качестве энергетических добавок к топливам [10-12], в электротехнической - для изготовления контактов [13-17], и т.д. Это требует совершенствования известных и поиска новых методов их получения, в частности, замены дорогостоящих элементных порошков на более дешевые виды сырья – минералы, оксиды, соли металлов. В работах [17-19] разработаны методы прямого получения композитных порошков и соединений при МА смесей порошков металла, оксида и металла восстановителя. Используемый в качестве восстановителя кальций образует легко растворимый оксид, отмываемый от композитных порошков. Не исключены и другие механизмы восстановления, так, например, было показано [20], что при механоактивации воды или льда выделяется водород, который может играть существенную роль в восстановлении металлов. К сожалению, эти методы пока не получили развития. Особый интерес активные композитные порошки представляют для СВС [21,22]. В большинстве реакций СВС используют смеси из порошков металлов и неметаллов, за исключением реакций с восстановительной стадией, в которых

реагентами служат оксиды и металлы-восстановители. В некоторых случаях используют неорганические соединения, например, пероксиды (для синтеза ферритов или ВТСП) или азиды (для синтеза нитридов). В работе предложено использовать химические процессы, протекающие при механоактивации, в частности восстановление, как минимум, одного из металлов из его соли. Активацию проводили в водных растворах легко восстанавливаемых сульфатов никеля и меди в течение 5 минут в механоактиваторе АГО-2. Полученные смеси отмывали от остатков сульфатов и высушивали. Образование композитных частиц при одновременном восстановлении металла даст возможность получать композитные частицы с более равномерной и тонкой наноламинатной структурой. На рис. 1-3 показаны рентгенограммы продуктов активации и термограммы их нагрева в атмосфере аргона

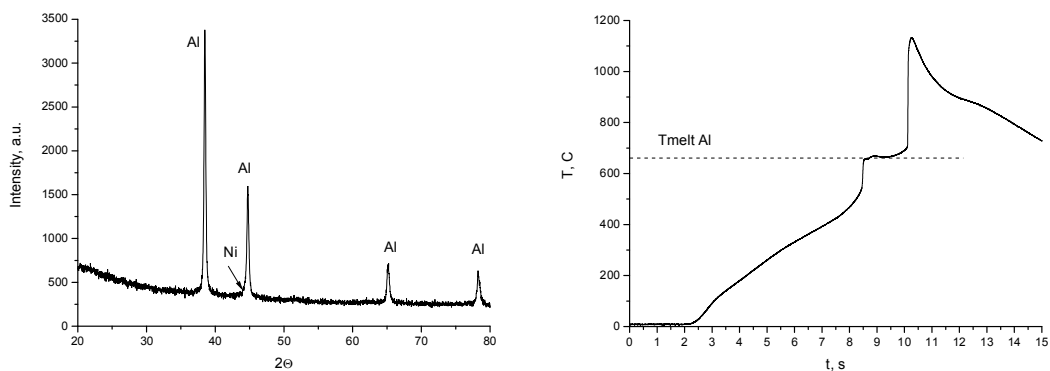


Рис 1. Рентгенограмма продуктов активации порошка алюминия с  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и соответствующая термограмма их нагрева.

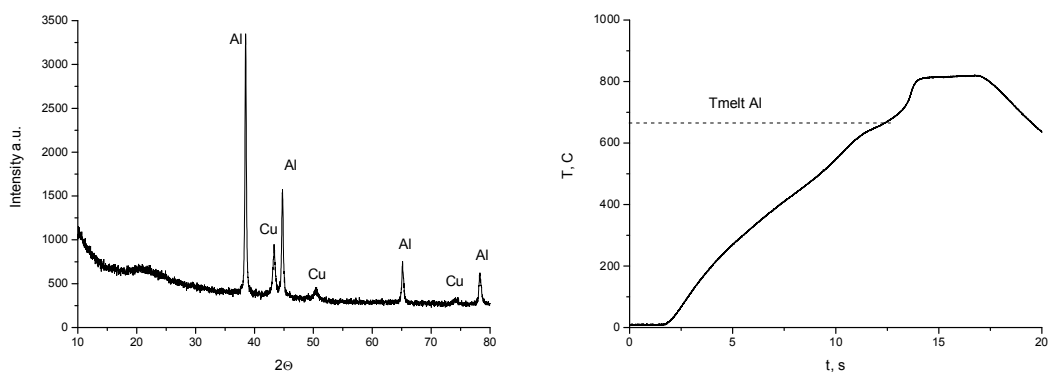


Рис 2. Рентгенограмма продуктов активации порошка алюминия с  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и соответствующая термограмма их нагрева.

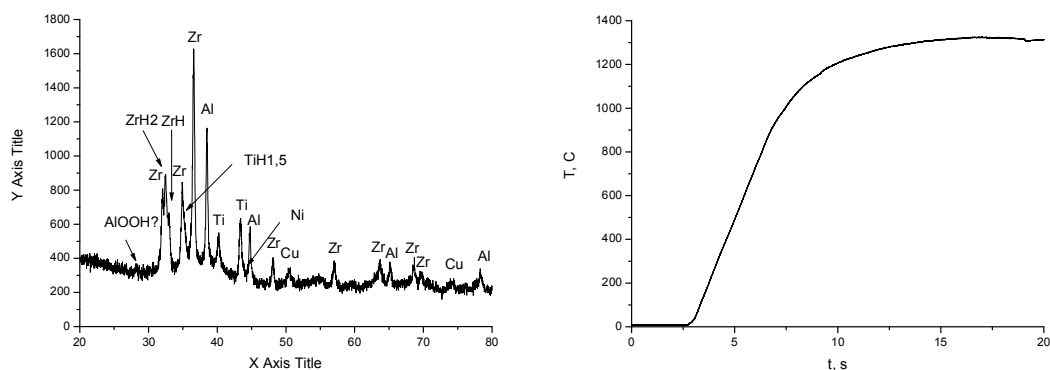


Рис 3. Рентгенограмма продуктов активации смеси порошков Zr, Ti, и Al с  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и соответствующая термограмма их нагрева.

Из рисунков 1,2 видно, что разогрев смесей Ni-Al и Cu-Al начинается при температурах значительно ниже температуры плавления алюминия, что говорит о хорошем смешении алюминия с восстановленным металлом. Разогрева и воспламенения смесей, полученных при активации смеси порошков Zr, Ti, и Al с  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  не было обнаружено при нагреве вплоть до 1600 °С.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-03-00438.

Для выполнения исследований было привлечено оборудование Распределенного центра коллективного пользования ИСМАН.

### Литература

1. Т.Ф. Григорьева, А.П. Баринова, Н.З. Ляхов, Механохимический синтез в металлических системах, Новосибирск, Параллель, 2008, с.311
2. Е.Г. Авакумов, Механические методы активации химических процессов, Новосибирск, Наука, 1986, с.305.
3. Г. Хайнике. Трибохимия, Пер. с англ, М, Мир, 1987, с.584.
4. Е.Г. Авакумов, Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья, Е.Г. Авакумов, А.А. Гусев, Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 2009, с.155.

5. В.В. Болдырев, Успехи химии, (2006), 3, 203-216.
6. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий, под ред. Е.Г. Авакумова, Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2009, с.342.
7. Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами, под ред. О.И. Ломовского, Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2010, с.423.
8. Г.М. Гусев, В.И. Молчанов, Механохимические явления при сверхтонком измельчении, Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1971, с.174.
9. В.А. Полубояров, О.В. Андрюшкова, И.А. Паули, З.А. Коротаева, Влияние механических воздействий на физико-химические процессы в твердых телах, Новосибирск, Изд-во НГУ, 2011, с.604.
10. Escot Bocanegra, P. Chauveau, and I. Gökalp, Aerospace Science and Technology, (2007), Vol. 11, 1, 33–38.
11. Shashank L. Vummidi, Yasmine Aly, Mirko Schoenitz, and Edward L. Dreizin, Journal of Propulsion and Power, (2010), Vol. 26, 3, 454-460.
12. А. Л. Брейтер, В. М. Мальцев, Е. И. Попов, ФГВ, (1990), 1, 97-104.
13. D.V. Dudina, O.I. Lomovsky, M.A. Korchagin and V. I. Mali, Chemistry for Sustainable Development, (2004), Vol. 12, 319–325.
14. S.-H.Chang, S.-H.Chen, K.-T.Huang, C.Liang, Powder Metallurgy, (2013), Vol. 56, 1, 77-82.
15. P. Sahani, S. Mula, P.K. Roy, P.C. Kang, C.C. Koch, Materials Science and Engineering, (2011), Vol. 528, 7781-7789.
16. D.L. Zhang, Progr. Mater. Sci., (2004), Vol.49, 537-560.
17. S. Sheibani, S. Heshmati-Manesh, A. Ataie. International Journal of Modern Physics: Conference Series, (2012), Vol. 5, 496–501.
18. G. B. Schaffer and P. G. McCormick. Materials Science Forum. (1992), Vols. 88-90, 779-786.
19. Yinong Liu, M.P. Dallimore, and P.G. McCormick, Appl. Phys. Lett., (1992), Vol. 60, 3186.
20. Л.П. Калачева, В.В. Корякина, А.Ф. Федорова, Электронный научный журнал Нефтегазовое дело, (2009), 1-6. <http://www.ogbus.ru>.
21. А.Г. Мержанов. Твердопламенное горение. Черногловка: ИСМАН, 2000, 224 с.
22. Концепция развития самораспространяющегося высокотемпературного синтеза как области научно-технического прогресса. Под ред. А.Г. Мержанова, Черногловка, Территория, 2003, 368с.