

## 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 (МА) 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 рисунках 1–3 показаны рентгенограммы продуктов активации и термограммы их нагрева в атмосфере аргона

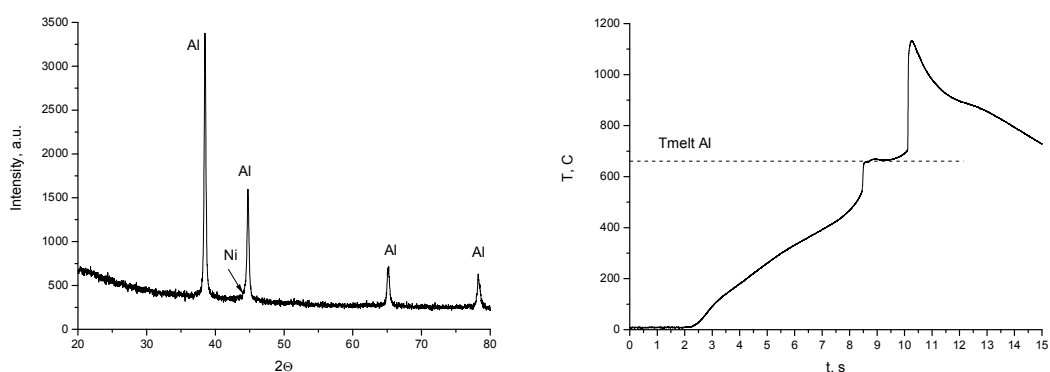


Рисунок 1. Рентгенограмма продуктов активации порошка алюминия с  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и соответствующая термограмма их нагрева.

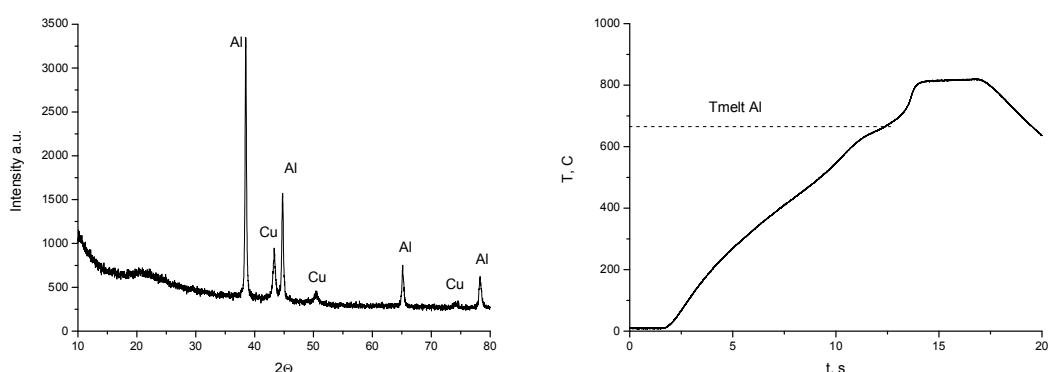


Рисунок 2. Рентгенограмма продуктов активации порошка алюминия с  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и соответствующая термограмма их нагрева.

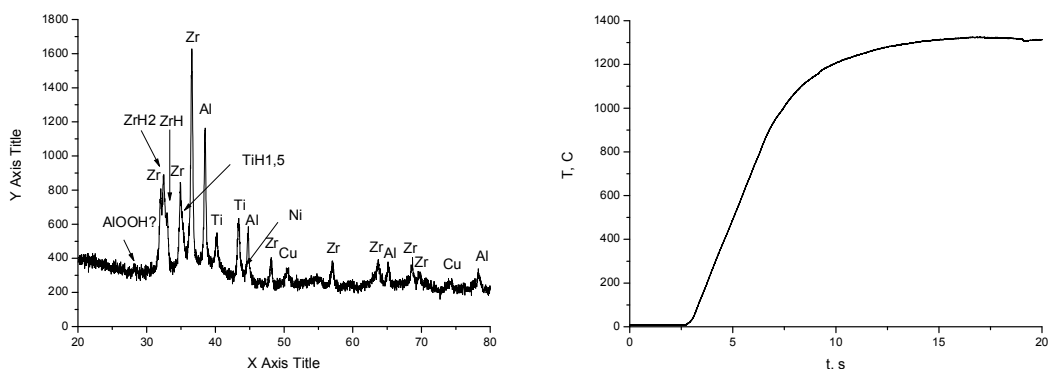


Рисунок 3. Рентгенограмма продуктов активации смеси порошков Zr, Ti и Al с  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и соответствующая термограмма их нагрева.

Разогрев смесей Ni-Al и Cu-Al начинается при температурах значительно ниже температуры плавления алюминия, что говорит о хорошем смешении алюминия с восстановленным металлом (рис.1, рис.2). 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. Барина, 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, Москва, 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, 3, (2006) 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. Андриюшкова, 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*, 11 (1), (2007) 33–38.
- [11] Shashank L. Vummidi, Yasmine Aly, Mirko Schoenitz, and Edward L. Dreizin, *Journal of Propulsion and Power*, 26 (3), (2010) 454–460.
- [12] А.Л. Брейтер, В.М. Мальцев, Е.И. Попов, *ФГВ*, 26 (1), (1990) 97–104.
- [13] D.V. Dudina, O.I. Lomovsky, M.A. Korchagin and V.I. Mali, *Chemistry for Sustainable Development*, 12, (2004) 319–325.
- [14] S.-H.Chang, S.-H.Chen, K.-T.Huang, C.Liang, *Powder Metallurgy*, 56 (1), (2013) 77–82.
- [15] P. Sahani, S. Mula, P.K. Roy, P.C. Kang, C.C. Koch, *Materials Science and Engineering*, 528, (2011) 7781–7789.
- [16] D.L. Zhang, *Progr. Mater. Sci.*, 49, (2004) 537–560.
- [17] S. Sheibani, S. Heshmati-Manesh, A. Ataie. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 5, (2012) 496–501.
- [18] G.B. Schaffer and P.G. McCormick. *Materials Science Forum*, 88–90 (1992), 779–786.
- [19] Yinong Liu, M.P. Dallimore, and P.G. McCormick, *Appl. Phys. Lett.*, 60, (1992) 3186–3190.
- [20] Л.П. Калачева, В.В. Корякина, А.Ф. Федорова, *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*, (2009) 1–6.
- [21] А.Г. Мержанов. *Твердопламенное горение*. Черноголовка: ИСМАН, 2000, с. 224.
- [22] Концепция развития самораспространяющегося высокотемпературного синтеза как области научно-технического прогресса. Под ред. А.Г. Мержанова, Черноголовка, Территория, 2003, с. 368.