

**ТВЕРДОФАЗНОЕ ГОРЕНИЕ В СИСТЕМЕ «ТИТАН-УГЛЕРОД»
С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ИНЕРТНОЙ СВЯЗКИ**

М.Г. Криницын

Научный руководитель: профессор, д.ф-м.н. М.И. Лернер
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: krinmax@gmail.com

**SOLID-PHASE COMBUSTION IN THE "TITANIUM-CARBON" SYSTEM
WITH HIGH CONTENT OF INERT BINDER**

M.G. Krinitsyn

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.I. Lerner
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: krinmax@gmail.com

***Abstract.** The effect of mechanical activation on combustion process after processing in the strain energy ball milling of «Ti - C» powder system was investigated. Embodiments of self-propagating high temperature synthesis (SHS) in powder mixtures with inert titanium binder up to 90 vol.% are describes.*

Проблема порошков металлов и сплавов, пригодных для использования в аддитивных технологиях, является в настоящее время ключевой, в особенности для Российской промышленности [1-5]. Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволяет получать металлические порошки в промышленных масштабах. Порошки, полученные этим способом, обладают высоким качеством при низкой себестоимости. Однако композиций порошков, которые возможно синтезировать с помощью СВС, не так много, а концентрационный интервал содержания компонентов в этих композициях достаточно узкий. Для расширения концентрационного интервала может быть использована предварительная механическая активация (МА) порошковых смесей.

В ходе выполнения данной работы были получены и исследованы порошковые композиты «TiC – Ti», полученные методом СВС с содержанием инертной титановой связки от 30 до 90 об.%. Рентгенофазовый анализ полученных СВС продуктов показал, что в образцах с расчетным содержанием связки 30 и 40 об.% связка отсутствует полностью, при этом параметр решетки карбида титана в этих образцах ниже табличного значения для карбида титана TiC, что говорит о том, что в образцах образуется нестехиометрический карбид титана. Карбид титана TiC_x имеет широкую область гомогенности. Содержание углерода в карбиде при температурах в окрестности температуры плавления титана на двойной равновесной диаграмме изменяется от эквиатомного состава (стехиометрический коэффициент $X = 1$) до $X = 0,5$. Так как все исследованные нами реакционные смеси имеют избыток титана, то карбид титана во всех случаях должен иметь нестехиометрический состав в соответствии с равновесной диаграммой.

Характер зависимости максимальной температуры и скорости горения прессовок из не активированных смесей титана и сажи от расчетного содержания титановой связки в СВС композите приведен на рис. 1. Следует отметить, что максимальная температура горения для образцов с расчетным содержанием связки 60 об.% близка к минимально возможной температуре запуска СВС-процесса для данной системы. Используя линейную зависимость максимальной температуры горения от содержания титановой связки, полученную эмпирически (рис. 1), можно вычислить, что минимальная температура, допустимая для инициации СВС-процесса, достигается в образцах с 63 об.% содержания связки.

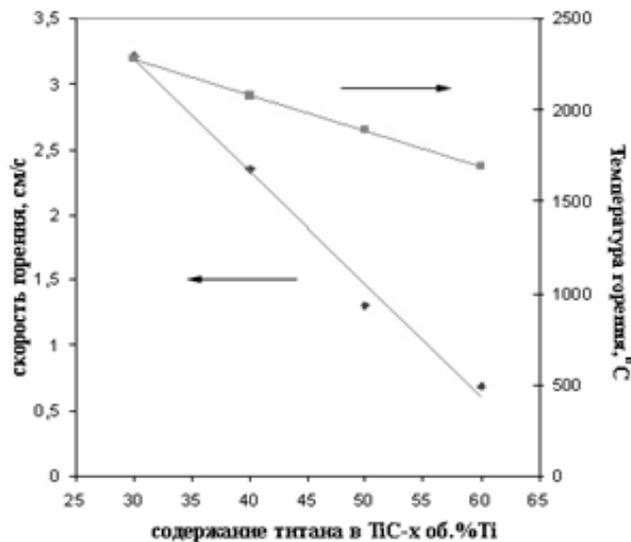


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры и скорости горения Ti-C смесей от расчетного содержания Ti связки в TiC+Ti композите (в предположении стехиометричности TiC)

Уже при проведении синтеза образцов с расчетным содержанием связки 60 об.% не всегда удавалось запустить волну горения. Поскольку содержание связки в этом случае близко к критически допустимому, то даже небольшие неоднородности порошковых смесей могут приводить к локальному превышению допустимого содержания титана и, соответственно, к невозможности протекания послойного горения. При проведении СВ-синтеза образцов того же состава, но предварительно активированных, послойное горение проходит стабильно. При этом максимальная температура горения смесей выше зафиксированной температуры для не активированной смеси.

В ходе активации в планетарной шаровой мельнице АГО-2 [6] из исходных частиц порошка образуются композитные агломераты, превосходящие исходные частицы по размеру и состоящие из чередующихся слоев исходных компонентов, вследствие чего повышается общая плотность смеси и увеличивается площадь контакта титана и углерода.

Также в процессе МА повышается поверхностная энергия активируемых порошков [7-8], что повышает их химическую активность и способствует протеканию реакции синтеза. Таким образом, благодаря МА удалось расширить концентрационный интервал содержания титановой связки вплоть до расчетного значения 75 об.%. При дальнейшем увеличении содержания титановой связки, не смотря на предварительную механическую активацию порошков, не удалось инициировать процесс СВС.

Синтез порошков с расчетным содержанием связки более 75 об.% был произведен в режиме теплового взрыва (ТВ) предварительно активированной и разогретой порошковой смеси. В данном режиме удалось синтезировать порошковые смеси с содержанием титановой связки вплоть до расчетного

значения 90 об.%. Структура синтезированных порошков с 60 и 90 об.% титановой связки приведена на рис. 2. В образцах с 60 об.% связки четко видны светлые карбидные зерна, тогда как в образцах с 90 об.% связки выделить карбидные зерна гораздо сложнее, однако в структуре композита не наблюдается структурных элементов, характерных для чистого титана.

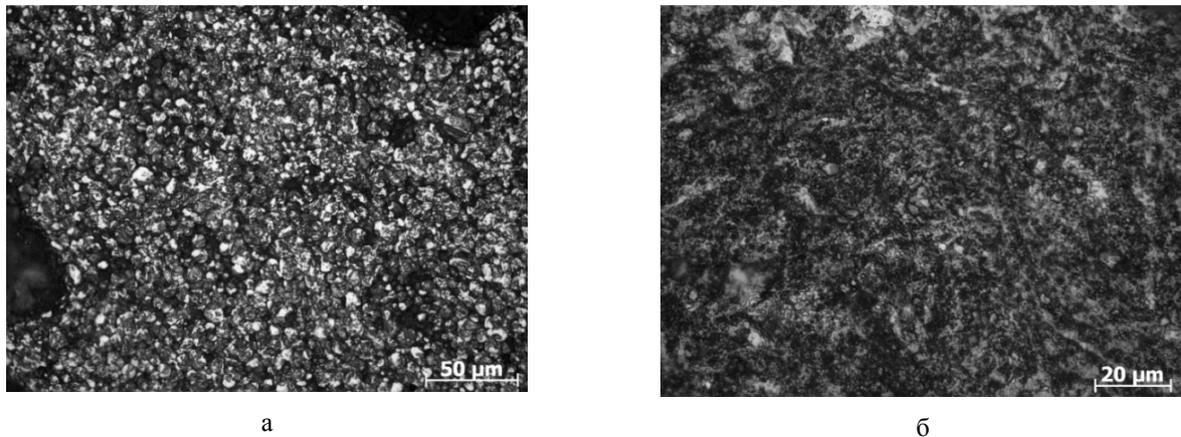


Рис. 2. Структура CVC композиционных порошков с расчетным содержанием титановой связки 60 об.% (а) и 90 об.% (б)

Таким образом, нами было установлено, что синтез композиционных порошков «TiC – Ti» возможен в интервале от 30 до 90 об.% связки. Дальнейшее увеличение содержания титановой связки нецелесообразно, поскольку получающиеся композиты «TiC – Ti» содержат мало карбидных частиц и по своим физическим свойствам практически не отличаются от чистого титана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zwikker Ulrich. Titan und Titanlegierungen. Springer-Verlag, 1974, 717 p.
2. Hamedy M.J., Torkamany M.J, Sabbaghzadeh J. Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment. Optics and lasers in engineering, 2011, vol. 49, pp. 557-563.
3. ZHANG Ke-min, ZOU Jian-xin, LI Jun, YU Zhi-shui, WANG Hui-ping. Surface modification of TC4 alloy by laser cladding with TiC+Ti powders. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2010, vol. 20, pp. 2192-2197.
4. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture on to titanium surface. Applied Surface Science, 2013, vol. 284, pp. 472-481.
5. Weiping Liu, J.N. DuPont. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineering Net Shaping. Scripta Materialia, 2003, vol. 48, iss. 9, pp. 1337-1342.
6. А.с. №975068 (СССР). Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И.. Планетарная мельница. Бюллетень изобретений, 1982. №43.
7. М. А. Корчагин, Н. З. Ляхов. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез механически активированных смесей // Химическая физика, 2008, т.27, №1, с. 73-78.
8. Криницын М.Г., Прибытков Г.А., Корчагин М.А. CVC композиционные порошки «TiC – титановая связка» для наплавки и напыления // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юргинский технологический институт. – Томск: ТПУ, 2015 – С. 90-94.