

С увеличением содержания титановой связки в исходных СВС-композитах, износостойкость покрытий повышается, а твердость понижается. Наиболее оптимальным составом, обладающим высокими значениями и твердости и износостойкости, являются композиционные порошки с 50 об.% связки.

Литература

1. Zwickler 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. Korosteleva E.N., Pribytkov G.A., Krinitcyn M.G. Structure and properties of powder cathode materials of titanium - titanium carbide system. Innovative technology and economics in mechanical engineering. National Research Tomsk Polytechnic University. Tomsk, 2014. pp. 273-276.
5. G.A. Pribytkov, M.N. Khrmogin, V.G. Durakov, and V.V. Korzhova. Coatings produced by electron beam surfacing of composite materials consisting of titanium carbide and a binder of high-speed R6M5 tool steel. Welding international. Vol. 22, No. 7, July 2008, pp. 465-467.

**ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА ПРОЦЕСС  
САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА  
В СИСТЕМЕ «ТИТАН-УГЛЕРОД»**

*М.Г. Креницын, аспирант*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56*

*E-mail: krinmax@gmail.com*

Проблема порошков металлов и сплавов, пригодных для использования в аддитивных технологиях, является в настоящее время ключевой, в особенности для Российской промышленности [1]. 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.%. Продукты синтеза были исследованы с помощью оборудования Центра коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН методами рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-7, CoK $\alpha$ -излучение), оптической металлографии (Zeiss AXIOVERT-200MAT) и растровой электронной микроскопии (Zeiss EVO 50).

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.

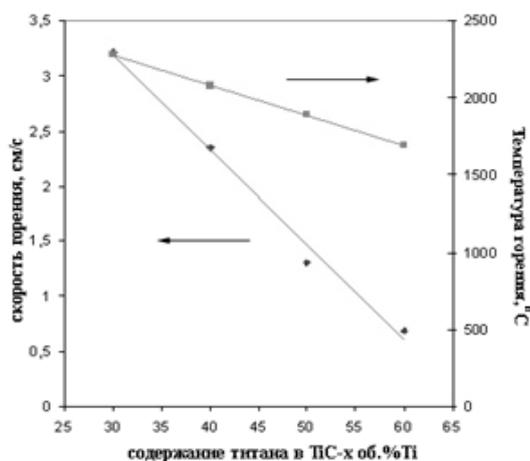


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры и скорости горения Ti-C смесей от расчетного содержания Ti связки в TiC+Ti композите (в предположении стехиометричности TiC)

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 [2] 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 [3, 4], 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.

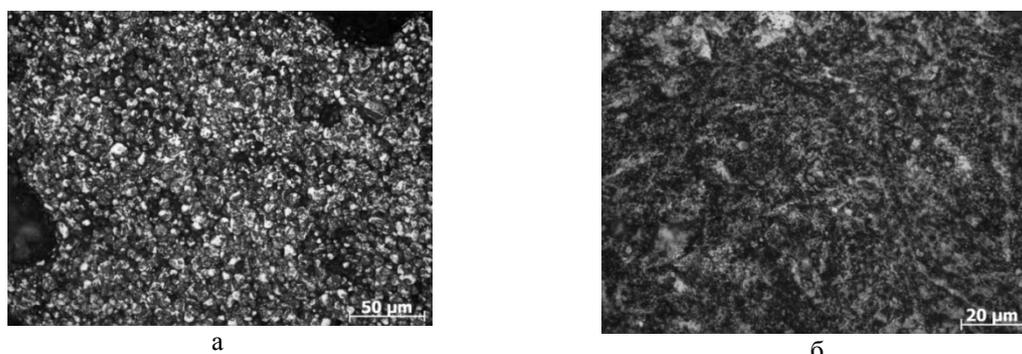


Рис. 2. Структура СВС композиционных порошков с расчетным содержанием титановой связки 60 об.% (а) и 90 об.% (б)

Таким образом, самораспространяющийся высокотемпературный синтез в режиме послойного горения реакционных смесей порошков титан и углерода без предварительной механоактивации может быть инициирован при содержании титановой связки в полученном композите до 60% (об.) В случае механоактивации смесей порошков титана и углеродной сажи можно увеличить содержание титановой связки до 75% (об.). Синтез механически активированных смесей с содержанием инертной связки 75–90% (об.) также возможен, но в режиме теплового взрыва. Дальнейшее увеличение содержания титановой связки нецелесообразно, поскольку в этом случае композиты TiC–Ti содержат мало (порядка нескольких объемных процентов) карбидных частиц и, скорее всего, по физическим свойствам практически не отличаются от чистого титана [5].

Литература.

1. Чечулин Б.Б., Ушков С.С., Разуваева И.И., Гольдфайн В.Н. Титановые сплавы в промышленности. Л. «Машиностроение» (Ленинградское отделение). 1977. 248с.
2. А.с. №975068 (СССР). Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И.. Планетарная мельница. Бюллетень изобретений, 1982. №43.
3. М. А. Корчагин, Н. З. Ляхов. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез механически активированных смесей // Химическая физика, 2008, т.27, №1, с. 73-78.
4. Криницын М.Г., Прибытков Г.А., Корчагин М.А. СВС 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.
5. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П. Карбид титана: получение, свойства, применение. М.: Металлургия, 1987. 216 с.

#### АНАЛИЗ ЗАТРАТ НА ПРОИЗВОДСТВО СИСТЕМ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ГЕОХОДА

*М.С. Матрунчик, студент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38452)-6-22-48*

*E-mail: masha\_93011@mail.ru*

Одним из важнейших факторов конкурентоспособности является стоимость продукции. Известно [1], что более 70% затрат в течение жизненного цикла продукции обуславливаются решениями, принятыми на ранних стадиях разработки изделия. Это означает, что уже на самых ранних этапах научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания и совершенствования геоходов [2] необходимо иметь объективные данные о значимости влияния тех или иных элементов машины на формирование затрат. Это позволит оценить значимость различных направлений совершенствования технологий производства систем и узлов геохода [4].

Основой для оценки затрат новых моделей геоходов может являться опытный образец геохода, для которого в настоящее время проведен комплекс научно-исследовательских работ и разработана исчерпывающая конструкторская и технологическая документация.

Структура геохода как сборочной единицы достаточно сложна. В конструктивном плане большинство компонентов геохода объединены в четыре модуля: головной модуль, хвостовой модуль, модуль сопряжения и транспортный модуль. Собственно геоход относится к первому уровню членения, а модули относятся к элементам второго уровня в дереве состава элементов. На более низком уровне находятся системы – сборочные единицы, объединенные по функциональному назначению. В состав модулей геохода входит девять систем: исполнительный орган, головная секция, внешний движитель, исполнительный орган внешнего движителя, погрузочная система, стабилизирующая секция, элементы противовращения, исполнительные органы элементов противовращения, внешний и внутренний корпуса модуля сопряжения. В свою очередь системы включают в состав сборочные единицы, под сборки и детали. В целом структура геохода является сложной и насчитывает до восьми уровней членения. Наибольшее значение в технологических процессах изготовления геохода и его составных частей имеют технологии сборки [6], сварки, механической обработки [8], контроля [3] и термической резки [5; 7].