

It should be noted that the analysis of modern trends of development of the relevant area of science and technology shows a rapidly growing segment of additive manufacturing refers to production technology of ceramic components and parts by means of selective fusing.

Thus, the proposed project is fully consistent with modern trends in the field of additive technologies and the development of the aerospace industry, and contributes to the solution of questions of import substitution in the domestic market and has export potential.

The project will develop new materials micro and nano structured type, which ensures the creation of goods by means of additive technologies for operation in extreme conditions. The materials will be used in new high-tech industries and provide substantial (more than 30 %) to increase the thermal stability of the products.

In addition, the project will be developed production technologies of ceramic components and parts of hypersonic vehicles by means of selective laser melting behaviour and methods of diagnosis of processes and obtained products. The same will determine the best modes of fusing ceramic materials depending on particle size distribution.

In the course of the project it is expected to obtain at least two results, capable of legal protection is itself modified powdered ceramic material and a useful additive model to streamline the installation.

The object of this project is the technology of production of ceramic units and parts by selective laser fusion with the use of innovative methods of diagnostics of processes and obtained products. This technology relates to new processes layer-by-layer combining materials to create the object and, according to foreign classification ASTM F2792-12a, in the course of the project will create a technology called "Powder bed fusion" - the fusion of material into a pre-formed layer.

Work is performed under support of Federal target program, code: 2016-14-579-0009-027.

ПОЛУЧЕНИЕ ТИТАНОВЫХ ОБРАЗЦОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СПЛАВЛЕНИЯ

М.Г. КРИНИЦЫН^{1,2}

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

²Томский политехнический университет

E-mail: krinmax@gmail.com

Введение. Электронно-лучевые технологии на сегодняшний день помимо всего прочего применяются в технологии трехмерной печати металлических изделий, где деталь формируется за счет послойного сплавления металлического порошка сфокусированным пучком электронов по заданному алгоритму. В процессе воздействия на порошок, особенно при построении крупногабаритных изделий, могут образовываться массивные ванны расплава и возникать явления, приводящие к формированию сложного рельефа поверхности детали, что является недопустимым. Таким образом, при электронно-лучевой обработке поверхности необходимо подобрать такой способ модуляции луча, который бы не приводил к формированию сложного рельефа поверхности, при этом обеспечивал сохранение или повышение значений прочностных свойств. Целью данной работы являлось исследование морфологии поверхности наплавленного электронным лучом многослойного образца из титанового порошка на стальную заготовку, а также морфологии самой заготовки, обработанной электронным лучом и сравнение ее твердости с твердостью необработанной заготовки.

Материалы и методика эксперимента. Упрочнение поверхности проводили на подложке из стали 12X18H10T, отдельно на аналогичную подложку наплавливали слой

титанового порошка марки ПТН-9.ВТ1-0 с добавлением 2 вес. % алюминиевой пудры для улучшения предварительного спекания и последующей объемной проводимости металлического порошка. Все эксперименты проводились в вакуумной камере при остаточном давлении $p=10^{-5}$ торр с последующим остыванием образцов в вакууме в течение получаса. Развертка луча представляла собой пилообразную осциллограмму со случайно появляющейся остановкой раз в 2 периода. Луч попеременно проходил обрабатываемую поверхность в горизонтальном и вертикальном направлении. В работе использовался следующий режим: ток луча $I_{\lambda} = 4$ мА, частота $\nu = 1$ кГц, ускоряющее напряжение $U = 35$ кВ, время обработки $\tau=75$ с.

Результаты эксперимента. При обработке стальной заготовки без порошка на описанных выше режимах и развертке получается структура кратерного типа, которая визуально воспринимается как матовая. Ровные участки сопровождаются округлыми углублениями диаметром до 250 мкм, что соответствует диаметру электронного луча. Перепад высот на участке обработанной поверхности, измеренный с помощью варьирования фокусного расстояния микроскопа, не превышает 0,01 мм. Кроме того, крайние части обрабатываемой зоны луч проходил только в начале обработки, в связи с чем кратеры здесь более крупные, имеют форму эллипса, перепад высот достигает 0,03 мм.

При обработке в течение 75 секунд помимо кратеров большой вклад в рельеф поверхности вносит шероховатость исходной поверхности заготовки. Соответственно, при высокой начальной шероховатости изделия необходимо продлить обработку. При увеличении длительности обработки до 300 секунд с сохранением остальных параметров наблюдается значительно более гладкая поверхность без образования кратеров, визуально воспринимаемая практически как зеркальная и обладающая характерным металлическим блеском.

Порошковый образец получали в форме куба. При построении использовались те же режимы, что и при обработке чистой стальной заготовки с продолжительностью процесса 75 секунд, однако предварительно проводился прогрев подложки и порошка расфокусированным лучом для предотвращения разлета порошка от сфокусированного луча и увеличения однородности получаемого материала.

На поверхности полученного образца не наблюдается не расплавившихся частиц порошка, нет кратеров, при этом сетка вышедших на поверхность микротрещин значительно крупнее, и выделяет зерна размером до 300 мкм, плоскости которых могут находиться на разных высотах, однако перепад высот, измеренный с помощью варьирования фокусного расстояния микроскопа, не превышает 0,01 мм. Внутри зерен также местами наблюдается волнистая структура. По краям образца встречаются участки нерасплавленного припекшегося исходного порошка. Твердость получаемого образца составляет $23,5 \pm 1,7$ HRC, что находится на уровне монолитного титана (~ 24 HRC).

Боковая поверхность образца визуально ровная, зеркальная, без видимых границ между слоями. При большом увеличении можно отличить некоторые границы слоев, однако они не локализованы в плоскости, а представляют собой объемные зоны проплава глубиной несколько десятков микрон. Таким образом, смежные слои вплавляются друг в друга, что обеспечивает прочность получаемых изделий.

Для улучшения качества получаемых образцов и для внедрения технологии в реальные производственные процессы необходимо дальнейшее изучение влияния различных режимов сканирования на структуру и свойства получаемых изделий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №16-58-00116.

Список литературы

1. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками. Ред. Дж.Поут, Г.Фоти, Д.Джекобсон. М.: Машиностроение, 1987, 424 с.

2. Крапошин В. С. Термическая обработка стали и сплавов с применением лазерного луча и прочих прогрессивных видов нагрева. Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. М.: ВИНТИ, 1987, Т.21, с.144-206.
3. Марков А. В., Проскуровский Д. И., Ротштейн В. П. Формирование зоны теплового влияния в железе и стали 45 при воздействии низкоэнергетичных сильнофокусированных электронных пучков. Томск: Изд. ТНЦ СО РАН, 1993, 63 с.
4. Новиков И. И. Дефекты кристаллического строения металлов: учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1983. – 232 с.
5. Hall E. O. The deformation and ageing of mild steel: III Discussion of results // Proc. Phys. Soc. B. - 1951. - V. 64. - P. 747-753.
6. Кикоин И. К. Справочник физических величин. М.: Металлургия, 1976. – 1008 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛА ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ SiC МЕТОДОМ ИСКРОПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

¹М.К. СКАКОВ, ²Н.М. МУХАМЕДОВА, ¹Ш.П. КУРБАНБЕКОВ, ¹Е.А. КОЖАХМЕТОВ

¹Национальный ядерный центр Республики Казахстан

²Государственный университет имени Шакарима города Семей

E-mail: bakayeva@nnc.kz

Проведено исследование материала на основе карбида кремния, полученного методом искроплазменного спекания порошков кремния и графита. Исходный состав исследуемых образцов составил 75 масс. % кремния и 25 масс. % графита (углеродистая основа). Выявлено, что твердость образцов составила от 1163 до 1226 по Виккерсу при нагрузке 800 г. Рентгено-фазовый анализ выявил, что материал имел трехфазную структуру. Методом сканирующей электронной микроскопии определено, что материал имел безпористую структуру.

Ключевые слова: порошковая металлургия, карбид кремния, керамика, искроплазменное спекание.

Объект исследования: материал, полученный на основе кремния и графита методом искроплазменного спекания.

Цель работы: исследование структурно-фазового состояния и механических свойств материала, полученного методом искроплазменного спекания (ИПС).

Актуальность представленной работы:

Материалы, на основе карбида кремния обладают уникальным набором физико-химических свойств, такие как низкая плотность, высокая твердость и прочность, химическая стойкость в окислительных средах и термостойкость. Благодаря таким свойствам, эти материалы широко применяются в машиностроении, химической, ядерной и нефтедобывающей промышленности.

В настоящее время применяются различные методы для получения карбида кремния и его модификаций, такие как пропитка углеродной основы расплавленным кремнием, спекание кремнезема с углеродом в графитовой электропечи Ачесона, получение материала «внутренним силицированием» и др. [1-2]. Особое развитие в последнее десятилетие по получению материалов на основе карбида кремния с помощью порошковой металлургии является метод искроплазменного спекания (SPS – Spark Plasma Sintering).

Данный метод позволяет эффективно контролировать пористость спекаемых материалов и получать компактные образцы соединений, обычное прессование которых практически неосуществимо. При проведении процесса SPS не требуется проводить предварительную обработку материала давлением и нет необходимости в использовании специальных связующих компонентов. Изготовление деталей происходит сразу в