

ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С НЕСФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ ЧАСТИЦ ИЗ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК

Применение титана во многих отраслях промышленности, в частности, таких, как производство медицинского оборудования, экзо- и эндопротезирование, пищевая промышленность, высокоточное машиностроение, авиационная и космическая промышленность обуславливает высокий интерес к титану и сплавам на его основе.

Активно развивающаяся на сегодняшний день технология послойного выращивания изделий из порошковых материалов (3D печать), которая доказала свою конкурентоспособность, предлагает ряд преимуществ перед стандартными, классическими технологиями производства (литье, порошковая металлургия, механическая обработка, обработка металлов давлением и т. д.) габаритных изделий сложной геометрии. Несмотря на все преимущества, технология 3D печати не лишена и ряда недостатков, таких как, неоднородность структуры и химического состава, анизотропия свойств, пористость изделий.

Одним из главных факторов, влияющим на качество изделий при послойном выращивании, является качество исходного сырья (порошковых материалов различной формы, химического и фракционного составов).

Внедрение в производство новых технологий, в основу которых положены принципы ресурсосбережения и повышения технологичности и экологичности, на сегодняшний день является актуальной задачей. Одним из наиболее благоприятных и перспективных решений в этом направлении являются технологии Additive Fabrication или Additive Manufacturing (AM-технологии), которые предполагают изготовление изделия по данным цифровой модели методом послойного добавления порошкового материала [1, 2]. То есть, формирование изделий происходит пошагово слой за слоем в соответствии с конфигурацией трехмерной модели [3, 4].

К основным преимуществам аддитивных технологий можно отнести следующие:

- 1) возможность изготовления деталей сложной формы;
- 2) необходимость наличия трёхмерной модели будущего изделия;
- 3) возможность оперативно менять геометрию деталей;
- 4) возможность использования различных материалов для печати на одной установке.

Однако, основной проблемой на пути широкого распространения аддитивных технологий является отсутствие доступного отечественного сырья.

Сегодня эти технологии успешно применяются для производства изделий из пластика. Но также ведутся активные работы по использованию в качестве сырья для аддитивных технологий различных металлических и керамических порошков, однако возникающие при этом сложности, уменьшают номенклатуру металлических изделий, получаемых с помощью аддитивных технологий [5, 6]. Главной проблемой является высокая стоимость импортного металлического сырья, а именно необходимость использования порошков сферической формы (рис. 1а). Наличие оборудования для AM-технологий в Украине диктует свои условия для активного их внедрения в различные отрасли промышленности. Важной задачей является замена существующих дорогих импортных порошковых материалов отечественными аналогами.

Таким образом существует необходимость разработки специальных порошков для AM-технологий.

Порошок титана можно получать, пользуясь гидридными технологиями [7]. Так, титановые заготовки или блики титана губчатого (при производстве нелегированных порошков) подвергают гидрированию для повышения хрупкости титана. Хрупкий титан дробят механическим путём и отсеивают по фракциям. Главным недостатком технологии является необходимость в использовании дорогого и сложного оборудования для гидрирования. К тому же гидрирование блоков титана губчатого требует применение крупногабаритного оборудования. Несмотря на перечисленные недостатки таких порошков, их использование позволяет получать заготовки высокого качества.

При изготовлении изделий методами 3D печати применяются порошки как со сферической формой частиц (рис. 1а), так и несферической формы (рис. 1б). При этом сферические частицы получают распылением (различными методами) из литых и деформированных заготовок. Исходное состояние заготовки для получения порошков напрямую влияет на качество получаемых порошковых материалов и, как следствие, на свойства готовых изделий. При получении титановых порошков из литых заготовок методом гидрирования-дегидрирования (НДН) наблюдается ряд негативных явлений, например, таких, как химическая и структурная неоднородность, разноразмерность и некоторая гетероморфность. Поэтому и предложено в качестве исходного сырья использовать деформированные заготовки, а именно обрезки деформационной обработки поковок и отходы производства титанового проката.

Анализ технологических показателей производства порошков и их преимуществ вместе с недостатками показал, что наиболее перспективным материалом для AM-технологий является порошок, полученный по гидридной технологии. Такой материал имеет слабо развитую структуру поверхности порошинок, габитус которых приближен к

сферическому порошку. Он менее, чем остальные варианты порошков загрязнен примесями, ведь водород способствует очищению титана при дегидрировании [8, 9]. Поэтому предложено использование порошков с несферической формой частиц, которые подвергнуты операциям по всей технологической цепочки производства гидрированных порошковых материалов для получения изделий различными методами аддитивных технологий.

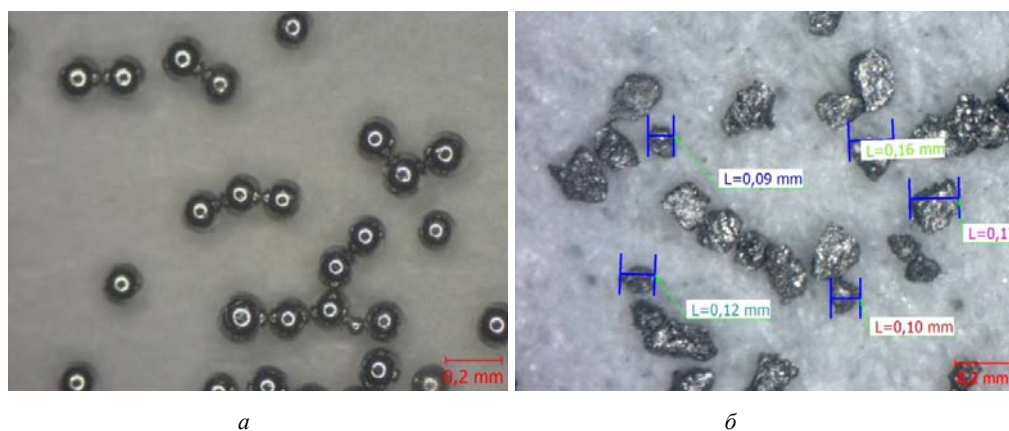


Рис. 1. Внешний вид порошковых материалов: *а* – сферических порошков, *б* – порошков несферической формы

Совокупность технологических решений производства гидрированных и дегидрированных порошков титана позволяет получать более плотный материал с меньшим содержанием вредных примесей и повышенным качеством самого порошка, и улучшенной морфологией его частиц [10, 11].

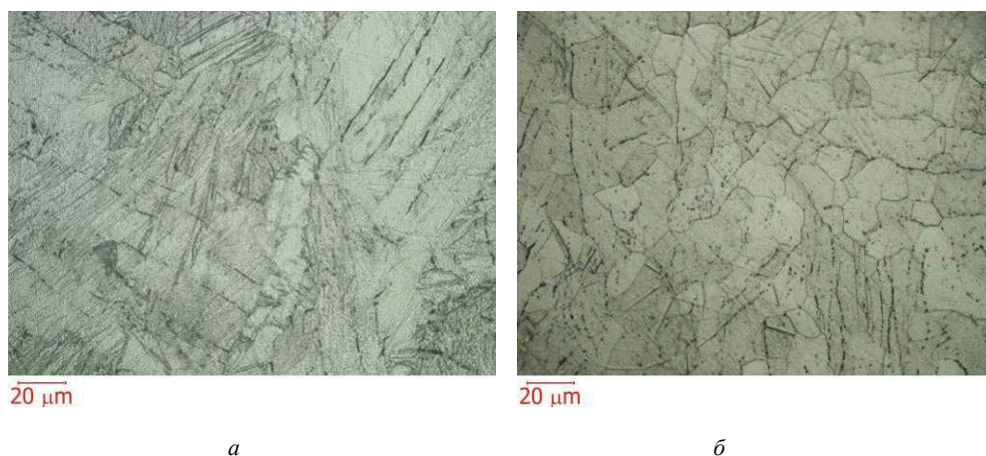


Рис. 2. Микроструктура титанового сплава ВТ1-0: *а* – в литом состоянии; *б* – в деформированном состоянии

Металлографические исследования (рис. 2) и исследования химического состава деформированной (рис. 3а) и литой (рис. 3б) заготовок, показали, что титановые образцы после пластической деформации обладают большей степенью гомогенности структуры и более равномерным распределением легирующих элементов в сравнении с заготовками в исходном литом состоянии. Также, при использовании исходного сырья в деформированном состоянии увеличивается выход заданной фракции. Представлены изображения микроструктур технического чистого титана марки ВТ1-0, при исследовании легированного титана наблюдается подобная картина.

Микроструктура деформированного прутка отличается от литой нечеткими границами исходного β - зерна, большей разориентировкой колоний α - пластин и их меньшими размерами, при этом толщина α - пластин составляет 2...4 мкм, а длина – 60...100 мкм (см. рис. 2б) [12].

В настоящее время проводятся работы по исследованию возможности применения гидрированных – дегидрированных порошков с частицами неправильной (несферической) формы отечественного производства (рис. 1б) изготовленных из литых и деформированных заготовок для получения конкретных изделий с использованием аддитивных технологий, взамен применяемых сферических порошков зарубежного производства.

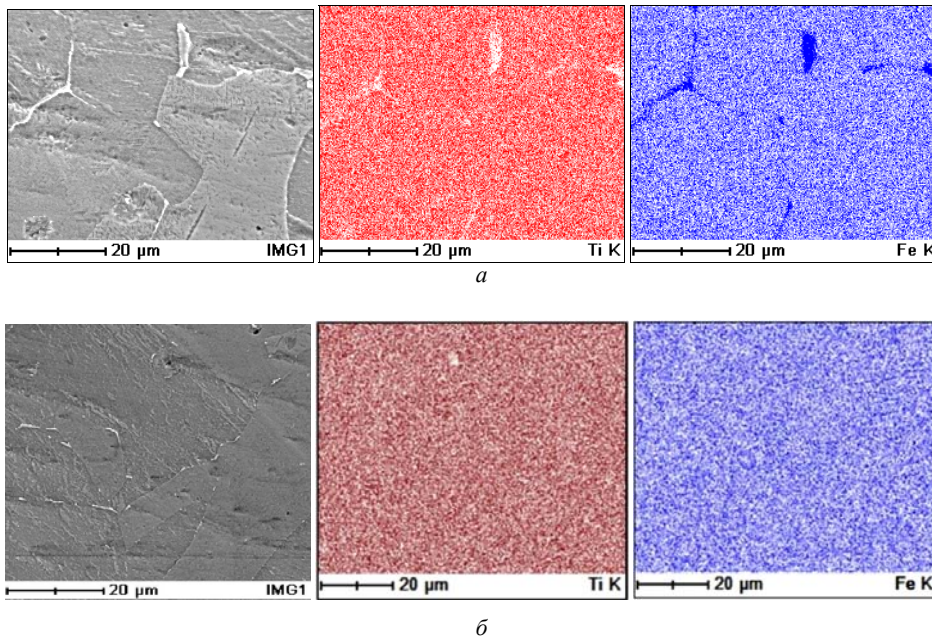


Рис. 3. Энергодисперсионный рентгеноспектральный микроанализ распределения элементов в титане марки ВТ1-0:
a – литое состояние; *б* – деформированный титан

Список литературы

1. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В. М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко // Библиотека литейщика. – 2014. – № 9. – С. 14–71.
2. Wei-Chin Huang Microstructure-controllable laser additive manufacturing process for metal products / Wei-Chin Huang, Chuan-Sheng Chuang, Ching-Chih Lin, Chih-Hsien Wu, De-Yau Lin, Sung-Ho Liu, Wen-Peng Tseng, Ji-Bin Horng // Physics Procedia 8th International Conference on Laser Assisted Net Shape Engineering LANE 2014. – Vol. 56. – 2014. – P. 58–63.
3. Балака Е. В. Основные факторы влияния на процесс формообразования деталей с помощью технологий послойного выращивания (rapid prototyping) / Е. В. Балака // Високі технології в машинобудуванні. – 2011. – № 1. – С. 29–36.
4. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / Зленко М. А., Попович А. А., Мутьлина И. Н. – Санкт-Петербург : Издательство политехнического университета, 2013. – 221 с.
5. Волхносский А. Е. Методы изготовления прототипов и деталей агрегатов различных изделий промышленности с помощью аддитивных технологий / А. Е. Волхносский, К. В. Дудков // Образовательные технологии. – 2014. – №1. – С. 127–143.
6. Публичный аналитический доклад по направлению «Новые производственные технологии» [Электронный ресурс] : Дежина И. Г., Пономарев А. К., Фролов А. С. и др. – Сколковский институт науки и технологий. – 2015 –Режим доступа: <https://reestr.extech.ru/docs/analytic/reports/new%20technologies2015.pdf>
7. The processing of Mg-Ti for hydrogen storage; mechanical milling and plasma synthesis / G. Cokmak, Z. Karoly, I. Mohai and etc. // International journal of hydrogen energy. – 2010. – № 35. – P. 118–125.
8. Івасишин О. М. Поверхневі явища при нагріванні порошку гідриду титану / О. М. Івасишин, О. Б. Бондарчук, М. М. Гуменяк, Д. Г. Саввакін // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – Т. 12, №4. – С. 900–907.
9. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения / О. М. Івасишин, Д. Г. Саввакин, К. А. Бондарева и др. // Наука та інновації. – 2005. – № 2. – С. 44–57.
10. Гидрирование титана и циркония и термическое разложение их гидридов / П. Г. Бережко, А. И. Тарасов, А.А. Кузнецов и др. // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – № 11. – С. 47–56.
11. Єршова О. Г. Дослідження процесів гідрування-дегідрування титанового дроту / О. Г. Єршова // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – № 3. – С. 785–790.
12. Коваленко Т. А. Підвищення механічних властивостей субмікросталічних титанових сплавів при деформаційній і термічній обробках : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 «Металознавство та термічна обробка металів» / Т. А. Коваленко. – Запоріжжя, 2012. – 22 с.

Одержано 12.03.2019

© Джуган А. А., д-р техн. наук Ольшанецкий В. Е., д-р техн. наук Овчинников А. В.

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

Dzhugan A., Ol'shanetskii V., Ovchinnikov A. Obtaining of qualitative powder materials with non-spherical form of particles from deformed workpieces