

УПЛОТНЯЕМОСТЬ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ЧАСТИЦ

В последнее время получила широкое распространение 3-D печать промышленных изделий с использованием аддитивных технологий. В этом случае происходит послойное формирование промышленных объектов, причем изначально, каждый новый слой будущей конструкции представляет собой порошковую фракцию, состоящую из одинаковых или различных по форме частиц металлического материала. Обычно считают, что наилучшими по форме частицами являются сфероиды примерно одинакового размера [1]. В этом случае новый слой обычно уплотняют путем приложения незначительных поверхностных усилий (например, с помощью вращающегося валика). Поскольку последующая технологическая операция предусматривает спекание или проплавление слоя из такого рода частиц, то необходимо изначально предусмотреть возможность использования чисто термодинамических подходов для получения наилучших результатов как по времени завершения процесса сочленения слоев, так и по качеству получаемой поверхности.

Для того чтобы оценить возможности применения термодинамических принципов, рассмотрим ряд условных модельных представлений. На рисунках 1 и 2 показаны схемы плотной укладки (в нормальных сечениях) сферических частиц и частиц в виде многогранников простейшей удобной для анализа формы (кубической с возможными надрезами).

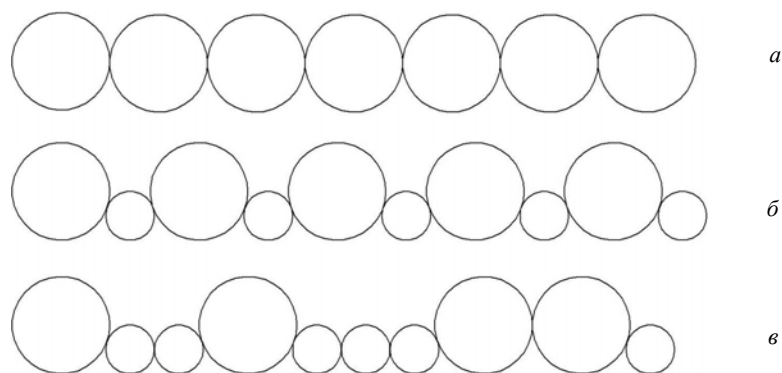


Рис. 1. Схематические изображения слоев порошков разного фракционного состава с частичками сферической формы (а, б, в)

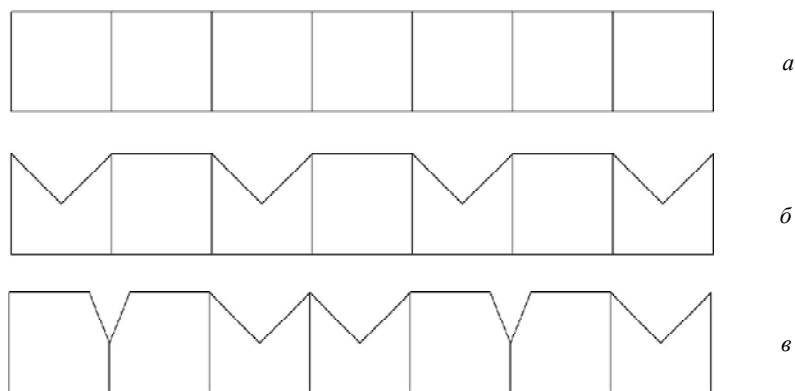


Рис. 2. Схематические изображения слоев порошков несферической формы (а, б, в)

Последние варианты могут выглядеть более предпочтительными с учетом чисто механического уплотнения при соприкосновении плоских граней частиц и появления внутренних термодинамических сил, стремящихся путем избыточных давлений сократить объемы надрезов остроугольной формы (см. рис. 2). На основании теории, изложенной в работе [2], такого рода давления создаются по линиям сочленения плоскостей надрезов из-за отсутствия в этих случаях эффекта гидростатичности, при котором давления по всей поверхности частицы являются одинаковыми (сжимающими) и нормальными в каждой точке гладкой искривленной поверхности.

Поскольку в рассматриваемом случае дискретные давления являются внутренними, то их действие помогает чисто диффузионным путем обеспечить быстрое залечивание данного вида несплошностей (остроугольных каналов). Это должно содействовать большей технологичности процесса формирования каждого последующего слоя будущего изделия.

Острота любой такой канавки вместе с ее глубиной обеспечивают величину избыточного давления, которое можно оценить по следующим формулам [2]:

$$\Delta p = k \frac{1}{a} \operatorname{ctg} \left(120^\circ - \frac{\theta}{2} \right); \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности; a – сторона канавки; θ – двухгранный угол сечения свободной канавки,

$$\Delta p = c \frac{1}{l} \left(2 \cos \frac{\xi}{2} - 1 \right), \quad (2)$$

где c – коэффициент пропорциональности; l – среднее расстояние между канавками; ξ – двухгранный угол пограничной канавки.

Причем, согласно существующей теории [2], при каждом определенном значении ширины стороны средней ширины сечения канавки уменьшение угла ξ приводит к увеличению давления только в определенном интервале значений этого числового параметра [2].

На рисунках 3 и 4 приведены реальные частицы титанового порошка сферической формы и частицами порошка титана, полученного, по технологии гидрирования дегидрирования [3]. Слои из таких частиц примерно отвечают рассмотренным выше упрощенным моделям разных типов укладки гипотетических частиц той или иной формы.

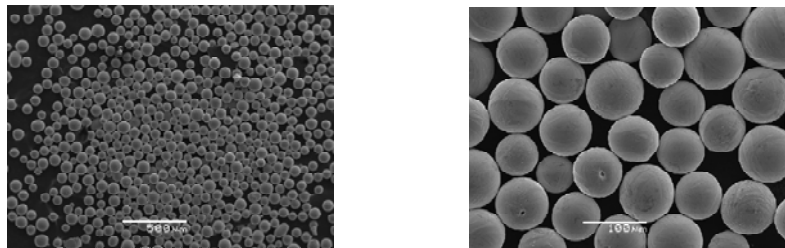


Рис. 3. Внешний вид сферического порошка в РЭМ

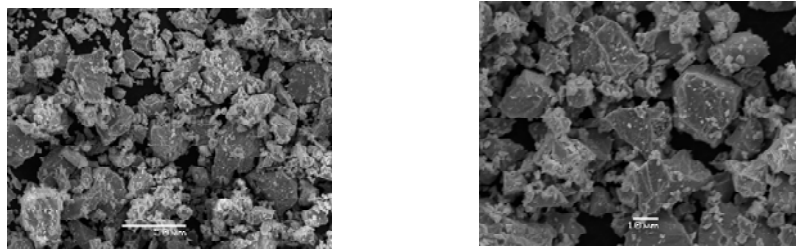


Рис. 4. Внешний вид несферического порошка в РЭМ

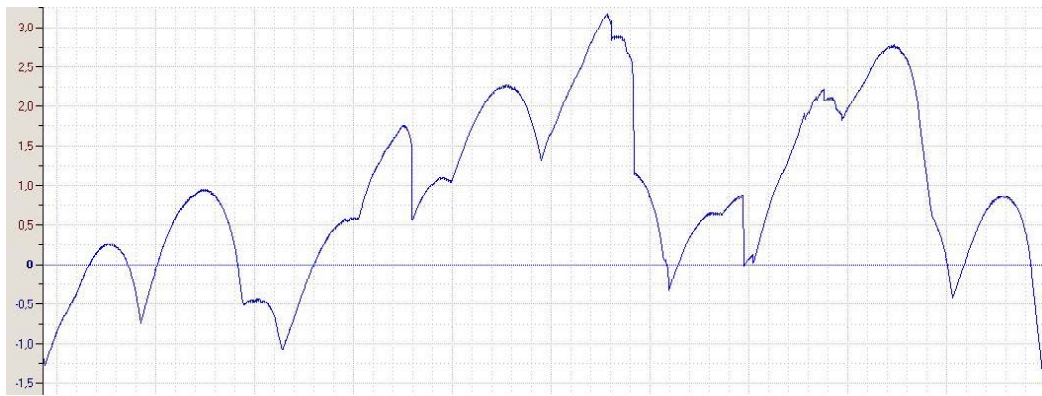
Вопрос о характере сопряженности частиц по контактными поверхностям (и точкам контакта) можно приблизительно решить с помощью прогона головки профилометра-профилографа вдоль и поперек насыпанных и закрепленных с подложкой порошковых слоев минимальной толщины (одинарной укладки) то есть слоев, имеющих минимальную высоту.

Для получения указанных объектов исследования нами были использованы стеклянные плоские образцы, покрытые тонким слоем маловязкой клеевой основы. Предварительные результаты экспериментов с использованием указанного выше прибора приведены на рисунке 5.

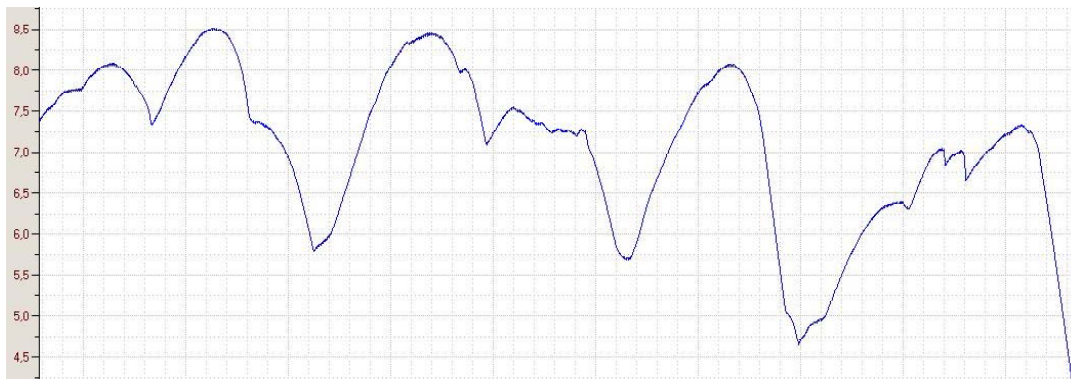
Они свидетельствуют о том, что в случае порошков различных фракций «наиболее гладкая» внешняя поверхность получается при использовании порошкового материала, в котором частицы имеют форму многогранников условно принимаемых за объекты, приближающееся по форме к частицам, в виде гексаэдров (кубов).

Все это свидетельствует о том, что ориентация на применение порошков такого типа (рис. 5, в, з) обещает при использовании аддитивных технологий хорошее исходное уплотнение, которое должно способствовать получению более плотных и однородных слоев 3-D образцов при их формировании путем послойного спекания или сплавления.

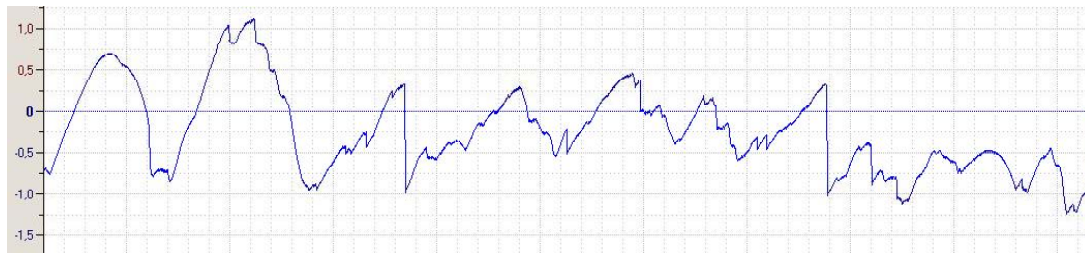
На рис. 6 приведена микрофотография многослойного образца из нелегированного титана (полученного сплавлением по технологии SLS – селективного лазерного спекания) виден достаточно хороший уровень сочленения слоев без каких либо видимых дефектов типа несплошностей (раковин, непроваров).



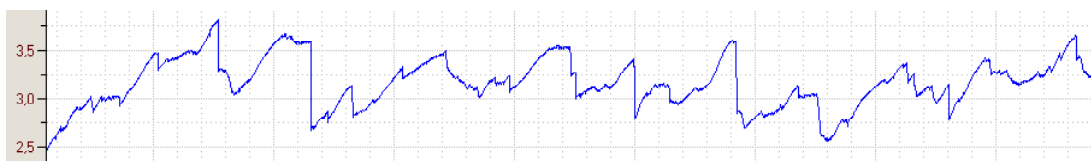
a



б



в



г

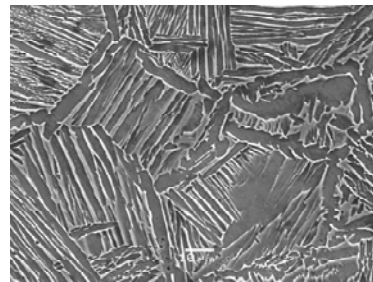
Рис. 5. Результаты исследования порошков на профилометре-профилографе:

a, б – сферический порошок фракции $-200+100$ мкм; *в* – несферический порошок фракции $-250+100$ мкм;
г – несферический порошок фракции -50 мкм

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что имеется определенная перспектива замены дорогостоящего сферического порошка значительно более дешевыми порошками иного вида (порошками с частицами полиэдрической формы). Следует также ожидать, что в будущем удастся разработать аддитивную технологию 3-D печати, с использованием именно такого рода порошков, которая позволит существенно удешевить процесс получения изделий этим методом как по стоимости исходных материалов, так и по времени продолжительности технологического процесса. В конечном итоге, при использовании таких порошковых материалов окажется вполне реальным изготавливать в будущем различные детали авиационных двигателей (например, лопатки компрессоров газотурбинных двигателей).



a



б

Рис. 6. Микроструктура отдельного наплавленного слоя:

a – изображение получено в оптическом микроскопе;
б – изображение получено в растровом электронном микроскопе

Список литературы

1. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. – Санкт-Петербург : Издательство политехнического университета, 2013. – 221 с.
2. Ольшанецкий В. Ю. Розробка наукових принципів керування структурно-енергетичним станом внутрішніх межових зон у металевих системах з метою поліпшення їх властивостей та службових характеристик : дис. ... доктора техн. наук : 05.16.01 / Ольшанецкий Вадим Юхимович. – 1993. – 378 с.
3. Єршова О. Г. Дослідження процесів гідрування-дегідрування титанового дроту / О. Г. Єршова // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – № 3. – С. 785–790.

Одержано 12.05.2015

© **Д-р техн. наук В. Е. Ольшанецкий, д-р техн. наук А. В. Овчинников,
А. А. Джуган, О. А. Михайлютенко**

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

Ol'shanetskii V., Ovchinnikov A., Dzhugan A., Mykhailiutenko O.

Compactability of powder materials with various particle shape
