

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

© 2018 А. П. Преображенский, Н. М. Токарева

Воронежский институт высоких технологий (г. Воронеж, Россия)

ООО «3Д комплекс», г. Воронеж (г. Воронеж, Россия)

Данная работа посвящена анализу возможностей использования аддитивных технологий в порошковой металлургии.

Ключевые слова: аддитивные технологии, порошковая металлургия, атомизация.

Около 20 лет назад были предложены технологии, связанные с послойным лазерным сплавлением порошков, благодаря которым появились новые возможности в порошковой металлургии.

Технология, относящаяся к послойному лазерному спеканию, называется технологией 5-го промышленного уровня.

Основные преимущества данной технологии состоят в том, что за счет послойного сплавления можно в автоматизированном режиме проводить построение трехмерных изделий по компьютерным моделям. При этом идет уменьшение времени и затрат для того, чтобы получать объекты, поскольку исключаются промежуточные шаги, связанные с изготовлением оснасток и пресс-форм; не появляются дефекты, которые есть в литье, и уменьшается трудоемкость конечной механической обработки.

В существующих условиях технологию Direct Metal Fabrication – DMF можно рассматривать как активно развивающееся направление в аддитивных технологиях. Ключевые направления, относящиеся к исследованиям порошковой металлургии, следующие:

- анализ прочности и пластичности синтетизированных объектов;
- обеспечение минимизации пористости;
- формирование пористых материалов;
- применение методов, связанных с пост-обработкой (HIP, термообработкой);
- обеспечение оптимизации химсостава и проведение поиска по новым композициям;
- применение методов, связанных с получением градиентных материалов;
- формирование перспективных высокопроизводительных лазерных систем, что-

бы проводить спекание и сплавление металлопорошковых композиций.

Есть некоторые трудности при внедрении аддитивных технологий для современного машиностроения, определяемые как неустойчивостью соответствующих подходов, так и использованием материалов, имеющих заданные физико-механические свойства.

Сейчас нельзя говорить о том, что сформировались общие требования относительно металло-порошковых композиций, которые применяются для АМ-технологий. Разными организациями-производителями АМ-машин даются рекомендации по работе с определенными перечнями материалов, их обычно поставяет компания-производитель.

Для разных машин применяют порошки с разным фракционным составом.

Недостаток при производстве порошков состоит в том, что не сформулированы стандарты по материалам для АМ-технологий, и способы, позволяющие оценивать свойства материалов, которые получают на базе традиционных технологий, не могут быть использованы для аддитивных технологий, поскольку есть анизотропия, она неизбежна при использовании послойного принципа формирования изделий.

Когда идет лазерный синтез, например, на базе технологии SLM, в процессе построения детали лазерным лучом не только сплавляются частицы в порошке, за счет чего формируется тело детали, однако при этом идет вредное влияние на материал, который непосредственным образом прилегает к поверхности образующейся детали.

В этой связи для SLS-машин используют подходы по просеиванию отработанных материалов, чтобы удалять «бракованную» часть и потом проводить перемешивание

Преображенский Андрей Петрович – ВИВТ-АНОО ВО, д. т. н., профессор, app@vivt.ru.
Токарева Наталия Михайловна – ООО «3Д-комплекс», генеральный директор, tokkatrewwa_561@mail.ru.

«отработавших» порошков со свежими порошками.

Так как пропорции по смешению устанавливаются каждой из компаний, то степень идентичности образцов, которые построены на одной машине при одном и том же порошке, может быть разной.

В качестве общего требования для порошков в АМ-машинах можно указать сферическую форму частиц. За счет сферической формы обеспечивается более компактная укладка частиц в соответствующий объем, и еще характеристики «текучести» порошковой композиции при минимальном сопротивлении для систем подачи материалов.

Проблема, связанная с получением порошковых материалов, является актуальной не только при развитии АФ-технологий, но и с точки зрения обычной порошковой металлургии.

К настоящему времени разработаны разные методы, позволяющие получать металлопорошки, их можно поделить на физико-химические и механические.

Физико-химические способы основываются на физико-химических превращениях исходного сырья, есть существенные отличия исходных материалов и химического состава и структуры конечных продуктов – порошков.

За счет механических методов обеспечивается производство порошков из сырья, при этом нет существенных изменений в химическом составе.

К механическим методам могут быть отнесены, например, разные варианты размоллов при помощи мельниц, а также осуществление диспергирования расплавов за счет струй газов или жидкостей, это – атомизация.

Для частиц порошков, которые получают на основе механических методов за счет размоллов, характерна осколочная, неправильная форма. В этой связи такие методы не используют для того, чтобы получать порошки, применяемые в аддитивных технологиях.

Достаточно экономичным и эффективным подходом для того, чтобы получать мелкие и средние порошки металлов является диспергирование расплава. Более половины объема по всем промышленным порошкам получается на базе этого метода. Атомизация используется для производства порошков многокомпонентных сплавов, это дает возможности формировать равномерный химический состав композиции, а также

обеспечивать форму частиц, близкой к сферической.

В качестве основных технологий для того, чтобы получать порошки для АМ-машин применяют:

- газовую атомизацию;
- вакуумную атомизацию;
- центробежную атомизацию.

В газовой атомизации проводится расплав металла расплавляют в плавильной камере, а потом он сливается при помощи распылителя, при этом разрушается потока жидкого металла при помощи струи инертного газа, имеющая давление. Технология, связанная с вакуумным плавлением называется VIGA – Vacuum Induction Melt Inert Gas Atomization.

В газовой атомизации можно выделить технологию EIGA (Electrode induction guide inert gas atomization – осуществление индукционной плавки электрода при распылении газа.

Эту технологию применяют для того, чтобы получать порошки реактивных металлов – титана, платины, молибдена и др., так как процесс плавки таких металлов для керамических тиглей затруднен даже если это делать в вакууме.

EIGA-атомайзеры используют для того, чтобы получать металлические порошки при распылении в струе аргона.

Вакуумная атомизация осуществляется за счет того, что в расплавах растворен газ. В атомайзере есть две камеры – плавильная и распылительная. Внутри плавильной камеры создается избыточное давление газа, и происходит процесс его растворения в расплаве.

При атомизации металлы вследствие давления внутри плавильной камеры идут к сопловому аппарату, который сопрягается с распылительной камерой, где формируется вакуум.

Вследствие перепада давлений газ, который растворен, будет выходить на поверхности капель в расплаве и при этом порошок будет иметь сферическую форму.

Технологии, связанные с центробежной атомизацией, могут быть разными. За счет технологии REP – Rotating Electrode Process можно обеспечить то, что расплав и тигль не будут контактировать

В процессе PREP – Plasma Rotating Electrode Process металлический пруток плавится за счет высокоскоростного потока ионизированного инертного газа. Указанные две технологии используют для того, чтобы

получать особо чистые мелкодисперсные порошки, имеющие сферическую форму.

Сейчас развивается технология *Spray forming*, в которой идет совмещение процессов литья (плавка металлов) и распыления металлов (процессы порошковой металлургии). При этом получают заготовки, сформированные на базе послойного синтеза.

Эту технологию предложили в 1970 г. и ее основная идея состоит в том, что происходит послойное напыление металла на подложку и «выращивается» болванка (заготовка) при последующей механообработке.

Происходит расплав металла в плазменной камере, потом при помощи специального сопла происходит распыление потоком инертного газа, идет осаждение частичек металла при размере 10-100 мкм на подложку, при этом идет формирование массива болванки.

Преимущество такой технологии заключается в том, что обеспечивается равномерность в распределении ингредиентов относительно массива заготовок и равномерность по микроструктуре.

Недостатки заключаются в относительно высоких потерях материала, когда осуществляется атомизация и осаждение металлов на подложку и относительной сложности управления процессами, что требует профессионализма персонала.

В технологии *Spray forming* есть микропоры в структуре материалов, эти поры устраняются за счет горячего изостатического прессования и дальнейшей обработкой давлением – прокатка иликовка.

Технологию *spray forming* можно рассматривать как перспективную для формирования градиентных материалов (имеющих переменные по сечению физико-химические свойства), их можно получать за счет того, что проводится послойное нанесение разных материалов сквозь минимум два распылительных сопла.

Есть перспективы, связанные с использованием технологии *Spray forming* для того, чтобы создавать новые конструкционные наноструктурные материалы, например, чтобы развивать отечественную технологию интенсивной пластической деформации (ИПД).

Разновидностью ИПД является использование равноканального углового прессования (РКУП), что дает возможности для получения массивных наноструктурных заготовок, имеющих диаметр до 85 и длину до

300 мм, которые пригодны для применения в машиностроении.

Для того, чтобы формировать наноструктуры на основе метода ИПД, очень важно не только количество проходов, но насколько однороден исходный массив, насколько равномерно распределены вещества, которые составляют сплав, относительно объема исходного материала. В рамках технологии *spray forming* можно получать хорошо подготовленные для ИПД материалы.

Таким образом, в статье рассмотрены основные подходы, связанные с применением аддитивных технологий в порошковой металлургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boulos M. Plasma power can make better powders / M. Boulos // *Metal Powder Report*. – 2004. – vol. 59. – Issue 5. – pp. 16-21.
2. Donachie M. J. Superalloys: A Technical Guide, 2nd Ed. / M. J. Donachie, S. Donachie // *ASM International*, 2002. – 438 p.
3. Дорофеев В. Ю. Горячая штамповка порошковых заготовок: ее сегодня и завтра / В. Ю. Дорофеев, Ю. Г. Дорофеев // *Порошковая металлургия*. – 2013. – № 7-8. – С. 27-36.
4. Егоров Ф. Ф. Межфазное взаимодействие в металлах систем TiC-Cr и Ti(CN)-Cr / Ф. Ф. Егоров, О. В. Пшеничная // *Порошковая металлургия*. – 1991. – № 4. – С. 69-74.
5. Любимов В. Д. Некоторые особенности начальных стадий структурообразования твердых сплавов на основе карбонитрида титана / В. Д. Любимов, Т. А. Тимошук // *Порошковая металлургия*. – 1991. – № 12. – С. 29-35.
6. Пономарев Ю. «Железная» пуля для АК-47 / Ю. Пономарев // *Журнал «Калашников»*. – 2014. – № 1. – С. 90-95.
7. Попович А. А. Механохимический синтез высоколегированных порошковых сплавов системы Fe-Cr-Ni-Mn-N / А. А. Попович, Н. Г. Разумов, А. О. Силин, Е. Л. Гюлиханов, И. В. Аношкин, А. Г. Насибулин, Е. I. Kauppinen // *Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. – 2012. – № 1. – С. 18-22.
8. Середа Н. Н. Особенности структуры твердых сплавов на основе карбида титана / Н. Н. Середа, М. С. Ковальченко, В. Г. Бондарь, Н. Н. Белобородов, В. А. Цыбань, Б. И. Мархосев, В. И. Познанский // *Порошковая металлургия*. – 1985. – № 11. – С. 98-108.

9. Федотов А. В. Новые технологии порошковой металлургии / А. В. Федотов // Материалы в машиностроении. – 2012. – № 1 (76). – С. 53-56.

10. Fngelo H. C. Powder Metalurge: Science, technology and application / H. C. Fngelo, R. Subramanian // New Dehli, 2009.

THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN POWDER METALLURGY

© 2018 *A. P. Preobrazhenskiy, N. M. Tokareva*

*Voronezh Institute of high technologies (Voronezh, Russia)
LLC «3D complex», Voronezh (Voronezh, Russia)*

This paper is devoted to the analysis of possibilities of use of additive technologies in powder metallurgy.

Key words: additive technologies, powder metallurgy, atomization.