

Задачей полезной модели является разработка способа подкачки пневматических шин, включающий подачу сжатого газа (воздуха) в шину (камеру), который отличается тем, что сжатый газ (воздух) образуется за счет контролируемого срабатывания газогенераторов (пиропатронов).

Поставленная задача решается за счет того, что для увеличения давления внутри пневматической шины (камеры) используются газогенераторы (пиропатроны).

Согласно изобретению сжатый газ образуется после срабатывания газогенератора (пиропатрона) и подается внутрь шины (камеры), таким образом увеличивая ее внутреннее давление.

Техническим результатом полезной модели являются:

1. Частичный или полный отказ от необходимости использования в конструкции транспортного средства (машины) воздушного компрессора подкачки колес;

2. Высокую скорость роста давления внутри шины (камеры)

3. Обеспечение движения транспортного средства (машины) с разгерметизированным (пробитым) колесом без использования централизованной системы подкачки колес.

Динамика работы системы заключается в следующем. Во время потребности повышения давления внутри шины (камеры), которое вызвано необходимостью повышением несущей способности шин при загрузке транспортного средства (машины) или при компенсации утраченного давления вследствие разгерметизации шины (камеры) – происходит контролируемое срабатывание газогенератора или пиропатрона (в зависимости от конструкции системы и необходимой величины давления, возможно реализация после-

довательного срабатывания нескольких газогенераторов или пиропатронов) вследствие чего образуется определенный объем газа, который и подается во внутрь шины (камеры) или образуется в ней. За счет использования данного способа, обеспечивается большое быстродействие – рост внутреннего давления внутри шины (камеры).

Альтернативный вариант использования системы, может заключаться как дополнительный аварийный источник создания давления в системах централизованной подкачки шин при выходе из строя компрессора или вообще отказа от использования компрессорной установки и полной ее замене на предложенную систему с использованием газогенераторов (пиропатронов).

В некоторых случаях на примере большегрузных карьерных автосамосвалов где используются крупногабаритные пневматические шины, вследствие сложности реализации централизованной системы подкачки колес, является безальтернативным использование способа подкачки пневматических шин с использованием пиротехнических импульсных источников газа высокого давления.

#### Литература

1. Автомобильные шины / В.Л. Бидерман, Р.Л. Гуслицер, С.П. Захаров и др. М.: Госхимиздат, 1963. – 383 с.

2. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин / В.Л. Бидерман, Л.Д. Слюдинов, Ю.С. Левин и др. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 106 с.

3. Патент РФ №2427488. Подушка безопасности / Аутолив Дивелопмент АБ. - Оpubл. 30.10.2008.

4. Патент РФ № 2589764 Автоматическая система регулирования давления воздуха в пневматических шинах колесных транспортных средств.

УДК 621.762

## МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ: РАСШИРЕНИЕ ИНТЕГРАЦИИ

Савич В.В.

*Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа»  
Минск, Республика Беларусь*

Металлургические аддитивные технологии (далее – АТ) дали промышленности уникальные возможности рационального конструирования и производства из титановых, жаростойких и алюминиевых сплавов, легированных сталей, полиметаллов цельных деталей машин и приборов сложной формы, содержащих замкнутые внутренние полости, заметно облегчающие конструкцию без ущерба ее прочности, содержащих каналы охлаждения или коммуникаций гидро- и пневмосистем оптимального гидро- и аэродинамического профиля [1]. До недавнего времени

считалось, что область АТ – индивидуальное и мелкосерийное производство, что связано с известными недостатками АТ: высокие требования к узкому грансоставу исходных порошков и к их сферичности [2]. В работах [3–4] было показано, из анализа передового мирового опыта в области АТ, что эти, еще недавно казавшиеся непреодолимыми проблемы успешно преодолены: рациональное моделирование наиболее плотного заполнения камеры построения различными деталями из одного порошка, создание производств с десятками даже традиционных однотипных машин,

работающих параллельно, дает ощутимый технико-экономический эффект в промышленном АТ-производстве. Сочетание в одной машине нового типа технологии SLS, SLM или DMD с механической высокоскоростной и прецизионной многшпindelной обработкой, оснащение машины двумя лазерами, работающими параллельно, использование более дешевых несферических и полидисперсных смесей порошков, в том числе и после рециклинга, при отработке соответствующих режимов АТ [3–4] дает ощутимый прирост производительности построения и заметное снижение себестоимости.

Следует отметить некоторые уникальные возможности металлургических АТ, недоступные иным традиционным технологиям, выявленные в работах [3–4]: рациональная равнопрочная облегченная конструкция отдельной детали; формирование каналов эффективного охлаждения (нагрева) с минимальным гидравлическим сопротивлением в теле детали или на ее поверхности; построение трехмерных крупногабаритных конструкций, заменяющих сборочные единицы, состоящие из десятков отдельных деталей; построение полиметаллических изделий, изготовленных с дискретным, либо плавным (градиентным) изменением состава, структуры и свойств материалов.

Перспективным методом повышения производительности АТ становится технология Binder Jet Metal Additive Manufacturing (BJMAM) [5, 6]. Эта технология весьма близка широко используемой в порошковой металлургии технологии Metal Injection Molding (MIM): и там, и там полимерное связующее удерживает частицы порошка металла в формовке и удаляется перед или в процессе спекания. При этом скорость формования методами АТ порошковой смеси с жидкой связкой достигает  $100 \text{ см}^3/\text{ч}$  (методами SLS и SLM – всего до  $15\text{--}20 \text{ см}^3/\text{ч}$ ) [5].

Как видно из вышеизложенного, новые металлургические АТ все больше уходят от классических принципов спекания или сплавления лучом лазера отдельных частиц порошка в трехмерные заготовки – практически готовые к использованию (SLM) или требующие в ряде случаев (SLS) допекания или доуплотнения горячим изостатическим прессованием. Обе последние операции используются и в классической порошковой металлургии. Поэтому целью настоящей работы является выявление тенденций интеграции металлургических аддитивных технологий и технологий порошковой металлургии.

В работах [7, 8] технология BJMAM названа несколько по другому - Metal Binder Jetting (MBJ). Не смотря на некоторые стилистические отличия в терминологии общее в процессах BJMAM и MBJ, их существенное отличие от других традиционных АТ-технологий – SLS, SLM, DMD –

применение для фиксации частиц порошка в 3D формовку не луча лазера, а тонкой струйки (капель) полимерного связующего, моментально твердеющего в микрообъеме. Головка построения в установках, реализующих процессы MBJ и BJMAM, очень напоминает головку струйного принтера. Как показано в работе [7], новая технология имеет в 3–5 раз выше производительность по сравнению с процессами SLS, SLM, а также не требует применения вакуумирования на подготовительной стадии и защитной атмосферы в процессе построения, реализуется на воздухе. Приведенные в работе [7] результаты экспериментального изготовления партии деталей массой 18 г в количестве 1000 шт. из порошка стали 316L показали снижение себестоимости единицы до 15–25 евро по сравнению с 55 евро по технологии SLM. На рис.1 представлена обобщенная схема процесса MBJ.

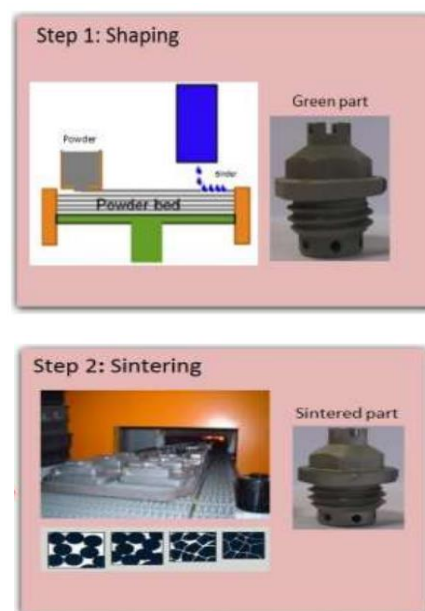


Рисунок 1 – Схема процесса MBJ [7]

В работе [8] показано, как методом MBJ уже получают прототипы деталей аэрокосмической техники из порошка прецизионного сплава Инвар36 с пониженным коэффициентом термического линейного расширения. Аналогичные успешные результаты по получению деталей сложной формы из порошка Инвар36 методом MBJ опубликовали авторы работы [9]. Они же и придумали свой термин для обозначения процесса – Solvent Jetting.

Поскольку и само полимерное связующее в технологии MBJ, и струйная головка – достаточно дороги, специалисты фирмы AIM3D GmbH (Германия) [10] разработали компактную установку для получения методом экструзии из стандартных для MIM фидстоков полимерных наполненных филаментов для 3D печати, пригодных

для использования на самых дешевых принтерах. При этом технология дебайдинга и спекания полностью идентична технологии МИМ.

Применение таких наполненных порошками или (и) волокнами металлов, керамики полимерных филаментов в АТ оказалось весьма эффективным и перспективным, получило отдельное наименование – Fused Filament Fabrication (FFF) [11]. В работе [11] убедительно показано полное подобие процессов FFF и МИМ в части дебайдинга связующего и спекания формовки путем проведения этих операций на представительной детали (рис.2), основание которой получено методом МИМ, а остальная часть с внутренними каналами построена методом FFF. В качестве наполнителя в обоих случаях использован порошок стали 316L.

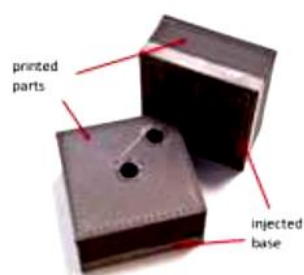


Рисунок 2 – Деталь, полученная совместно методами FFF и МИМ из порошка стали 316L [11]

В работе [12] показано, что методом FFF можно получать композиционные детали из смеси порошков двух радикально разных материалов – коррозионно-стойкой стали и диоксида циркония (рис.3).



Рисунок 3 – Дентальные имплантаты, сформованные методом FFF из композиционного (смесь порошков стали 316L и диоксида циркония TZ-3Y-E) филамента марки РЕВАХ 55 [12]

В работе [13] представлена схема (рис.4) процесса FFF, отмечена в качестве одного из достоинств метода, возможность построения изделий как больших габаритов (до 700×500×400 мм), так и миниатюрных (менее 3×2×1 мм).

В работе [14] представлен оригинальный метод микроэкструзии вязкой наполненной порошком пасты (3D micro-extrusion of metal powder loaded paste), как новый метод АТ. Отличием и

преимуществом данного процесса является его реализация при комнатной температуре и применение органического связующего на водной основе. FFF процесс требует нагрева филамента до температур пластификации полимера и приложения относительно высокого давления для экструзии смеси на подложку.

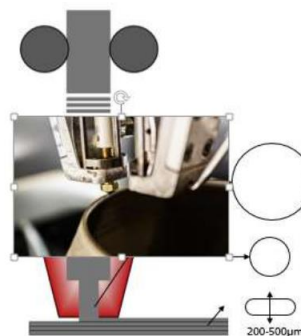


Рисунок 4 – Схема процесса FFF [13]

На рис. 5 представлен вид сверху, а на рис. 6 – микрофотография шлифа образца макропористого материала, полученного методом микроэкструзии пасты, наполненной порошком Ti-6Al-4V [14].



Рисунок 5 – Вид сверху образца макропористого материала, полученного методом микроэкструзии пасты, наполненной порошком Ti-6Al-4V [14]

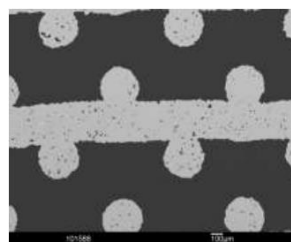


Рисунок 6 – Микрофотография шлифа образца макропористого материала, полученного методом микроэкструзии пасты, наполненной порошком Ti-6Al-4V [14]

В работе [13] представлен также еще один новый метод АТ, напоминающий метод микроэкструзии вязкой наполненной порошком пасты - Thermoplastic 3D Printing (T3DP), суть которого – в использовании термопласт полимера с низкой точкой плавления (80-100 °С) и создании смеси с относительно низкой вязкостью, в которую вводят до 55-60 об.% наполнители – порошки металлов, керамики. Смеси заправляют в картриджи,

снабженные нагревателями и соплами, управляемыми пьезоклапанами (рис. 7). Такое исполнение позволяет формировать мультикомпонентные композиты (рис. 8).

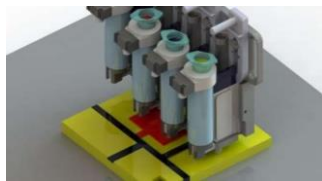


Рисунок 7 – Схема устройства для 3D печати методом ТЗДР четырьмя разными материалами [13]



Рисунок 8 – Пример получения композита «керамика1-металл-керамика2» методом ТЗДР

Любопытное сочетание метода микроэкструзии вязкой наполненной порошком пасты и технологии FFF приведено в работе [15]. На рис.9 демонстрируется успешное построение одновременно керамической изолирующей подложки методом микроэкструзии и нагревательного элемента из коррозионно-стойкой стали методом FFF [15].



Рисунок 9 – Демонстрация одновременного построения керамической изолирующей подложки методом микроэкструзии и нагревательного элемента из коррозионно-стойкой стали методом FFF [15]

Следует отметить, что в развитии металлургических АТ все большую роль играют технологии порошковой металлургии и композиционных материалов: полимерные связующие заменяют луч лазера и позволяют вести построение 3D формовки на воздухе, при невысоких температурах; готовые наполненные филаменты дают возможность получать металлические изделия на простейших дешевых принтерах; организация собственного производства филаментов, использование метода микроэкструзии паст практически снимает ограничения по составу наполнителей – единственное ограничение – способность к спеканию; комплект технологического оборудования для реализации процесса MBJ стал на порядок дешевле комплекта

аналогичного оборудования процессов SLS, SLM и EBM. Все вышеизложенное радикально снижает не только себестоимость изделий металлургических АТ, но и капитальные затраты, что особенно заметно будет для действующих производств порошковой металлургии, в первую очередь располагающих оборудованием для дебайдинга и спекания, для ММ-технологий.

### Литература

1. Савич В.В. Уникальные возможности металлургических аддитивных технологий при конструировании деталей машин и приборов // *Материалы докладов 10-й международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2017»*. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 232–236.
2. Порошковая металлургия – одна из первых аддитивных технологий / Ильющенко А.Ф., Савич В.В. // *Аддитивные технологии, материалы и конструкции: Материалы науч.-тех. конф. (Гродно, 5–6 октября 2016 г.) / НАН Беларуси [и др.]; редколл.: А.И.Свириденко (гл. ред.) [и др.]*. – Гродно, ГрГУ. – С. 20–30.
3. Савич В.В. Металлургические аддитивные технологии и промышленное производство: настоящее и будущее // *Материалы докладов 11-й международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2018»*. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 322–324.
4. Савич В.В. Аддитивные металлургические технологии: мифы и реальные возможности // *Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы, сварка. Сборник докладов 11-го Международного симпозиума (Минск, 10-12 апреля 2019 г.)*. В двух частях. Часть 1. – Минск: «Беларуская навука», 2019. – С. 357–371.
5. Hybrid Metal 3D Printer LUMEX Avance-25 & Applications/ [https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file\\_attachments/1300\\_matsuura.pdf](https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/1300_matsuura.pdf)
6. Emily-Jo Hopson. Digital Metal: High-precision Additive Manufacturing technology from a metal powder giant / *Metal Additive Manufacturing | Spring 2018 Vol. 4*. – No. 1. – P. 103–111.
7. Metal 3D Printing: A Cost-Effective Additive Manufacturing Process / P. Calves, B. Verquin, Q. Charron, F. Doré // *Euro PM2018 - EuroAM Meeting // Euro PM2018 Congress & Exhibition (14 - 18 October 2018): Proceedings, Bilbao, Spain*. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.
8. Binder Jetting of High Dimensional Stability Alloy for Space Application / N. Azurmendi, A. Lores, C. Guraya, I. Agote // *Euro PM2018 - AM Printing Technologies // Euro PM2018 Congress & Exhibition (14 - 18 October 2018): Proceedings, Bilbao, Spain*. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.
9. Additive Manufacturing of Invar Parts by Solvent Jetting on Granule Beds / E. Carreño-Morelli, M. Rodriguez-Arbaizar, H. Girard // *Euro PM2018 - Additive Manufacturing // Euro PM2018 Congress & Exhibition (14–18 October 2018): Proceedings, Bilbao, Spain*. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.
10. Kostengünstiger und effizienter 3D-Druck. Die ExAM-Serie für den professionellen Einsatz // <https://www.aim3d.de/produkte/>
11. Potential of Filament Metal Printing, Predictive, Cheap and Fast Technology for Customized Additive Manufacturing / M.Kitzmantel, M.Kaltenbrunner, M.Doppler,

Th.Wilfinger, W.Kapaun, E.Neubauer // Euro PM2018 – Additive Manufacturing // Euro PM2018 Congress & Exhibition (14–18 October 2018): Proceedings, Bilbao, Spain. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.

12. Additive Manufacturing of Stainless Steel/Zirconia Ceramic Composite Parts by Fused Filament Fabrication and Sintering / D. Godlinski, Y. Müller, S.B. Hein // Euro PM2018 - AM Fused Filament Printing // Euro PM2018 Congress & Exhibition (14–18 October 2018): Proceedings, Bilbao, Spain. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.

13. Metal-Ceramic Material Compounds Made by Additive Manufacturing / M.Tassilo, A.Johannes, U.Scheithauer, A.Müller-Köhn, St.Weingarten // Euro PM2018 - AM Fused Filament Printing // Euro PM2018

Congress & Exhibition (14 - 18 October 2018): Proceedings, Bilbao, Spain. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.

14. Additive Manufacturing of Metals by 3D Micro-Extrusion of Powder Filled Paste / M. Rombouts, J. Verwimp, S. Mullens // Euro PM2018 - Additive Manufacturing // Euro PM2018 Congress & Exhibition (14 - 18 October 2018): Proceedings, Bilbao, Spain. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.

15. Production of Multimaterial Components by Material Extrusion-Fused Filament Fabrication (ME-FFF) / Kukla C., Cano S., Moritz T., Müller-Köhn A., Günther A., Hampel, S., Holzer C. // Euro PM2018 – EuroAM Meeting // Euro PM2018 Congress & Exhibition : Proceedings, Bilbao, Spain. – Bilbao: Copyright 2018 ©EPMA.

УДК 616.77; 681.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ НИТИНОЛОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Минченя В.Т.<sup>1</sup>, Савченко А.Л.<sup>1</sup>, Королев А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»  
Минск, Республика Беларусь

В рамках исследования рассматривался технологический процесс изготовления элемента стентграфта – внутрисосудистого эндопротеза, состоящего из проволочного каркаса и тканевой оболочки и предназначенного для лечения аневризм грудного отдела аорты (рис. 1).

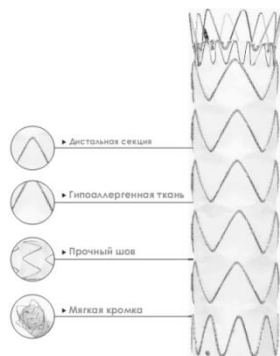


Рисунок 1 – Стентграфт

Элемент стентграфта, взятый для разработки техпроцесса представляет собой зигзагообразный замкнутый контур, пришиваемый по краю стентграфта. Элемент отличается большим по сравнению с другими элементами количеством зигзагов и малой длиной прямолинейных участков.

Стент-элемент изготовлен из нитиноловой проволоки марки ASTM F2063 диаметром 0,23 мм с термообработкой и последующей сваркой концов.

В существующем техпроцессе элемент каркаса получен гибкой с последующей термообработкой и соединением концов проволоки отрезками трубок.

Экспериментальная партия изготавливалась на базе ГП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник».



Рисунок 2 – Рабочая зона сварочного автомата



Рисунок 3 – Сварочное приспособление



Рисунок 4 – Изображение зоны сварки