

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОДАЧИ 3D-ПРИНТЕРА НА КАЧЕСТВО ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ

М.В. Тверской

tversk@mail.ru

А.А. Хилкова

SPIN-код: 9409-5925

kanastasiya\_93@mail.ru

Д.Э. Хилков

SPIN-код: 6320-6323

dmitry.hilckov@yandex.ru

SPIN-код: 5567-4791

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Объединение двух современных технологий 3D-печати и МИМ-технологии позволяет получать высокопрочные изделия из тугоплавких материалов со сложной геометрией и сложной внутренней текстурой. В лаборатории НППЦ «Технологии инжекционного литья МГТУ им. Н.Э. Баумана» был изготовлен материал для 3D-печати металлической смеси по FDM-технологии. Разработана технология изготовления нити для 3D-печати. Проведены исследования влияния коэффициента печати на качество литой заготовки, напечатанной на 3D-принтере. Показаны результаты эксперимента двух моделей, которые имеют различную геометрическую конфигурацию (окружность и прямоугольник).*

### Ключевые слова

*МИМ-технология, 3D-печать, металлическая смесь, FDM-технология, литая заготовка, параметры режима 3D-печати, филамент, коэффициент подачи*

Поступила в редакцию 06.12.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

---

В современной 3D-печати используются металл и полимеры: твердые или гибкие, жесткие или мягкие, горючие или негорюемые, которые применяются везде — от производства и строительства, медицины и электроники до фэшн-индустрии и даже изобразительного искусства [1, 2].

Также во всем мире применяется и развивается МИМ-технология, с помощью которой можно получать сложные изделия из тугоплавких материалов, таких как титан, вольфрам, коррозионно-стойкая сталь и многие другие. Конечные изделия обладают высокими прочностными характеристиками, не уступающими характеристикам проката.

3D-печать + МИМ технология [3, 4] — это объединение двух технологий, позволяющая получать литую заготовку без использования термопластавтомата (ТПА). Литые заготовки, полученные после 3D-печати, используются в МИМ-технологии для получения высокоточных деталей с высокими механическими свойствами.

Преимущества 3D-печать в МИМ-технологии:

- получение единичных изделий;
- отсутствие дорогостоящей оснастки;

- выраживание сложных по конфигурации изделий;
- высокая точность печати;
- создание пористых структур;
- текстурная поверхность;
- низкая стоимость материала.

В лаборатории НПЦ «Технологии инъекционного литья МГТУ им. Н.Э. Баумана» [5] была разработана технология изготовления нити (филамента) из нержавеющей стали марки 03X17H14M3 для 3D-печати [6]. За основу 3D-печати был выбран метод FDM [7] — метод послойного наполнения, где в качестве рабочего материала используется нить из металлической смеси диаметром 1,75 мм.

От правильного подбора режимов печати на 3D-принтере во многом зависит качество получаемой детали. Печать из нити металлической смеси практически ничем не отличается от печати нити из пластика. При печати могут возникать типичные проблемы [8], такие как расслоение детали, неоднородная поверхность на распечатанной модели, царапины на поверхности, коробление напечатанной детали и т. д.

К основным параметрам режимов, которые существенно влияют на печать детали, относятся:

- температура плавления нити;
- коэффициент подачи материала;
- скорость печати.

В данной статье представлены исследования выбора коэффициента подачи при печати из металлической смеси на 3D-принтере фирмы Picaso марки Designer [9].

Выбор коэффициента подачи осуществляли экспериментальным путем. В качестве образца была построена 3D-деталь цифры восемь, размеры детали представлены на рис. 1

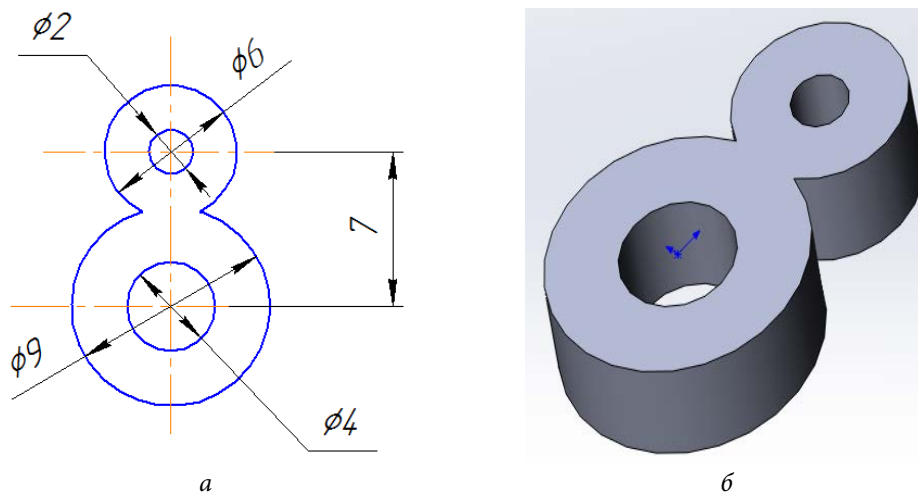







Рис. 1. Образец:

а — чертёж; б — 3D-модель

Были выбраны следующие режимы печати: температура плавления материала 235 °С, скорость печати 30 мм/с, толщина слоя 0,05 мм. Результаты эксперимента № 1 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента № 1

Номер эксперимента	Коэффициент подачи	Образец
1	0,6	
2	0,7	
3	0,8	
4	0,85	
5	0,9	

Как видно из табл. 1, образец под № 5, коэффициент подачи которого равен 0,9, не имеет зазоров между слоями при выбранном режиме печати.

Также эксперимент проводился на другом образце. За образец был взят прямоугольник с надписью «МГТУ» с размерами, показанными на рис. 2.







**Рис. 2.** Образец:  
а — чертеж; б — 3D-модель

Результаты эксперимента № 2 представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты эксперимента № 2**

Номер эксперимента	Коэффициент подачи	Образец
1	0,7	
2	0,9	
3	1	
4	1,05	

Как видно из табл. 2, образец под № 2 с коэффициентом подачи 0,9 имеет зазор между слоями, а образец с коэффициентом подачи 1 под № 3 не имеет зазоров. Также надпись «МГТУ» на всех образцах не получилась хорошо напечатать из-за толщины букв, которые для данного сопла принтера имеют небольшие значения.

На основе двух экспериментов можно сделать вывод, что для каждой детали необходимо подбирать свой коэффициент подачи. Это связано с G-кодом построения детали, который отвечает за движение печатающей головки в области построения детали. Все эти факторы необходимо учитывать при печати детали.

### Литература

- [1] Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А. Аддитивные технологии и изделия из металла. *Nami.ru*: веб-сайт.  
URL: [http://nami.ru/uploads/docs/centr\\_technology\\_docs/55a62fc89524bAT\\_metall.pdf](http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf) (дата обращения: 12.04.18)
- [2] 3D-Wiki. *3dtoday*: веб-сайт. [http://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology/](http://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/) (дата обращения: 04.06.18)
- [3] Heaney D.F. Handbook of metal injection molding. Woodhead, 2012.
- [4] German R.M., Bose A. Injection molding of metal and ceramic. MPIF, 1997.
- [5] Коротченко А.Ю., Турунтаев И.В., Тверской М.В. и др. Развитие специальных способов литья. *Литейное производство*, 2017, № 2, с. 21–24.
- [6] Драгунов Ю.Г., Зубченко А.С., ред. Марочник сталей и сплавов. М., 2014.
- [7] Технология 3D печати FDM. *Globatek.3D*: веб-сайт.  
URL: [http://3d.globatek.ru/3d\\_printing\\_technologies/fdm/](http://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/) (дата обращения: 05.06.18)
- [8] Типовые проблемы при 3д печати на принтере. *DIYtimes*: веб-сайт.  
URL: <http://diytimes.ru/post/33> (дата обращения: 18.06.18)
- [9] Обзор 3D-принтера Picaso 3D Designer. *ixbt*: веб-сайт.  
URL: [https://www.ixbt.com/printer/3d/3d\\_picaso3d\\_designer.shtml](https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_picaso3d_designer.shtml) (дата обращения: 20.08.18)

**Тверской Михаил Вадимович** — аспирант кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Хилкова Анастасия Андреевна** — аспирант кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Хилков Дмитрий Эдуардович** — аспирант кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

## ESTIMATION AND COMPENSATION OF ZERO DRIFTS OF ANGULAR VELOCITY SENSORS IN STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS

M.V. Tverskoj

tversk@mail.ru

SPIN-code: 9409-5925

A.A. Hilkoval

kanastasiya\_93@mail.ru

SPIN-code: 6320-6323

D.E. Hilkov

dmitry.hilckov@yandex.ru

SPIN-code: 5567-4791

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The combination of two modern technologies of 3D printing and metal injection molding makes it possible to obtain high-strength products from refractory materials with complex geometry and complex internal texture. A material for metal mixture 3D printing using fused deposition modeling technology was made at the scientific-productional center "Injection Molding Technologies" of the Bauman Moscow State Technical University. A technology for making the 3D printing filament has been developed. The feed rate affecting on the 3D printed casting billet quality has been investigated. The experimental results for two models that have different geometric configurations (circle and rectangle) are shown.

### Keywords

Metal injection molding technology, 3D printing, metal mixture, fused deposition modeling technology, casting billet, 3D printing mode parameters, filament, feed rate

Received 06.12.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

---

### References

- [1] Dovbysh V.M., Zabednov P.V., Zlenko M.A. Additivnye tekhnologii i izdeliya iz metalla [Additive technologies and metal products]. *Nami.ru*: website. URL: [http://nami.ru/uploads/docs/centr\\_technology\\_docs/55a62fc89524bAT\\_metall.pdf](http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf) (accessed: 12.04.18) (in Russ.)
- [2] 3D-Wiki. *3dtoday*: website. URL: [http://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology/](http://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/) (accessed: 04.06.18) (in Russ.)
- [3] Heaney D.F. Handbook of metal injection molding. Woodhead, 2012.
- [4] German R.M., Bose A. Injection molding of metal and ceramic. MPIF, 1997
- [5] Korotchenko A.Yu., Turuntaev I.V., Tverskoy M.V., et al. The development of special methods of casting. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry. Technologies and Equipment], 2017, no. 2, pp. 21–24. (in Russ.)
- [6] Dragunov Yu.G., Zubchenko A.S., ed. Marochnik staley i splavov [Steels and alloys grade guide]. Moscow, 2014. (in Russ.)
- [7] Tekhnologiya 3D pechati FDM [FDM 3D printing technology]. *Globatek.3D*: website. URL: [http://3d.globatek.ru/3d\\_printing\\_technologies/fdm/](http://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/) (accessed: 05.06.18) (in Russ.)
- [8] Tipovye problemy pri 3d pechati na printere [Typical printing problems of 3D printer]. *DIYtimes*: website. URL: <http://diytimes.ru/post/33> (accessed: 18.06.18) (in Russ.)
- [9] Obzor 3D-printera Picaso 3D Designer [Review on Picaso 3D Designer 3D printer]. *ixbt*: website. URL: [https://www.ixbt.com/printer/3d/3d\\_picaso3d\\_designer.shtml](https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_picaso3d_designer.shtml) (accessed: 20.08.18) (in Russ.)

**Tverskoj M.V.** — PhD Student, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Hilkova A.A.** — PhD Student, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Hilkov D.E.** — PhD Student, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.