



## Layer-by-layer Construction of Metal Parts – Innovative Technology in Metalworking

Evgeni TONGOV, Krum PETROV, Manahil TONGOV,  
Yasen HADJITODOROV, Plamen TASHEV

Institute of Metal Science, Equipment, and Technologies  
with Center for Hydro- and Aerodynamics “Acad. A. Balevski”  
at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria  
e-mail: [ptashev@ims.bas.bg](mailto:ptashev@ims.bas.bg)

### Abstract

This paper presents a 3D system for “layer-by-layer construction of metal parts” that involves the use of selective plasma remelting by metal fusion and adapted torch drive from a commercially available 3D polymer printer modified by us that deposits successive layers of metal in such a way that it forms a 3D solid.

**Keywords:** WAAM, 3D system, layer

## Послойното изграждане на детайли – иновационна технология в металообработването

Евгени ТОНГОВ, Крум ПЕТРОВ, Манахил ТОНГОВ,  
Ясен ХАДЖИТОДОРОВ, Пламен ТАШЕВ

### 1. Увод

Послойното изграждане на детайли със селективно плазмено претопяване чрез синтез на метал (WAAM) е вид адитивен производствен процес. WAAM съществува от няколко десетилетия, но скорошният напредък в технологиите го направи популярен и приложим за производството на детайли от метал. При типичен WAAM процес метална тел се подава през заваръчна горелка, която е монтирана на роботизирана ръка. Горелката създава електрическа дъга между заваръчната тел и основата, която може да бъде плоска плоча или съществуващ детайл, подлежащ на ремонт или модификация. Топлината генерирана от дъгата, стопява заваръчната тел, която след това се отлага върху основата, слой по слой, за да се изгради желаната 3D форма. Едно от основните предимства на WAAM е възможността да се произведат големи метални компоненти бързо и рентабилно. Тъй като процесът използва тел, а не прах или течност, той елиминира необходимостта от скъпа и отнемаща време подготовка и обработка на материала. Освен това при този метод може да се използва голямо разнообразие от метални сплави, включително алуминий, стомана и титан, което го прави универсално приложим. WAAM е особено подходящ за космическата и автомобилната промишленост, където са необходими големи, сложни детайли от метал. Например WAAM се използва за производство на компоненти за самолетни двигатели като горивни камери и турбинни лопатки, както и автомобилни части за окачването и спирачната система. WAAM може да се използва за производството на промишлени машини, нефтено и газово оборудване и др. [1],[2],[3],[4].

## 2. Разискване на проблема

Въпреки многото си предимства WAAM има и някои ограничения, които трябва да се имат в предвид. Едно от основните предизвикателства с WAAM е постигането на последователно и равномерно отлагане на металната тел. Това може да бъде трудно постижимо, особено при сложни геометрии и може да доведе до неравномерност на механичните свойства и повърхнините. Освен това процесът изисква внимателен контрол на параметри като скорост на подаване на телта, напрежение на дъгата и скорост на движение, за да се гарантира, че разтопеният материал ще бъде качествено напластен. Получените детайли са със сравнително висока грапавост на повърхнините, което налага задължителна механична обработка [5],[6],[7]. В някои случаи се наблюдава и възникване на вътрешни напрежения в детайлите, което налага допълнителна термична обработка.

## 3. Подход и методология

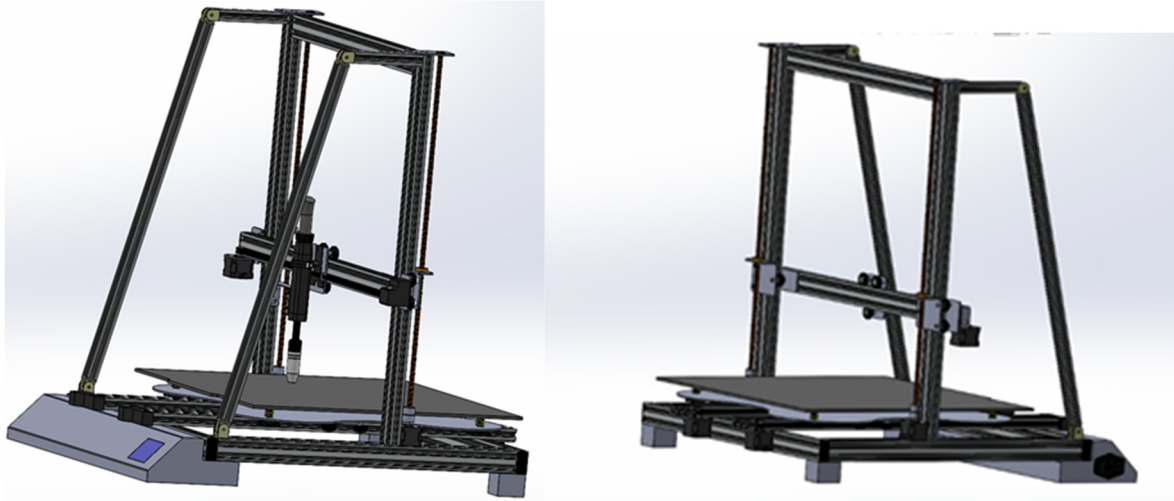
С оглед на изложеното по-горе и с цел постигане на по-добри резултати ние разработихме 3D система за „послойно изграждане на детайли от метал“, която включва използването на селективно плазмено претопяване чрез синтез на метал и адаптирано задвижване на горелката от съществуващ на пазара модифициран от нас 3D принтер за полимери, който отлага последователни слоеве метал по такъв начин, че да образува 3D твърдо тяло.

С цел намаляване на разходите и времето за изработване на нашата 3D принтираща система чрез селективно плазмено претопяване, решихме да използваме готов 3D принтер за полимери марка Wanhao модел Duplicator 12 D12/500 D12-500 Double Extruder, фиг.1.



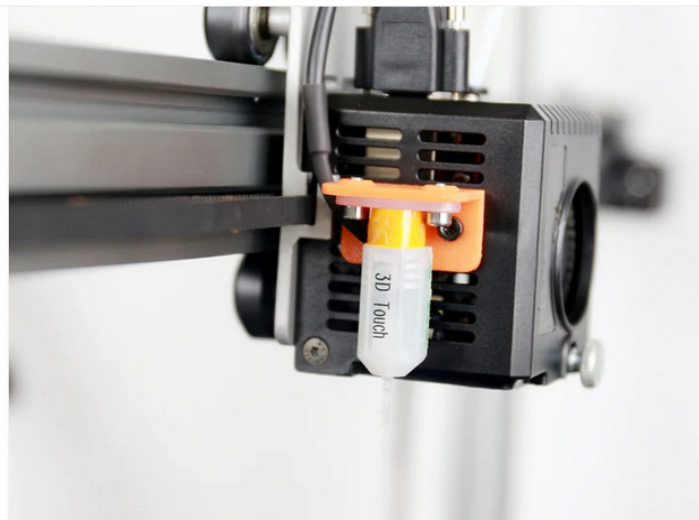
Фигура 1. Wanhao Duplicator 12 D12/500 D12-500 Double Extruder

След детайлно заснемане на размерите от съществуващия принтер в среда на SolidWorks построихме 3D CAD модел на принтера. Това ни даде възможност да изпробваме различни модификации на задвижването и да изберем най-подходящата комбинация, която да реализираме на практика. На фиг.2 е показан 3D модела на принтера.

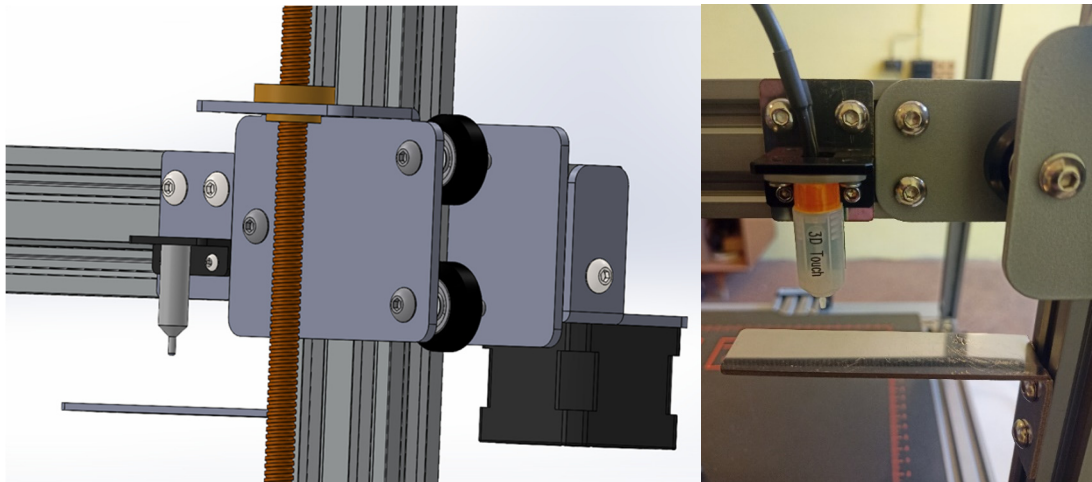


**Фигура 2. 3D модел на принтера**

За да реализираме задвижване на плазмената горелката от 3D принтера преместихме датчика за височина “3D Touch”, който е монтиран на принтиращата глава фиг.3. а и б.

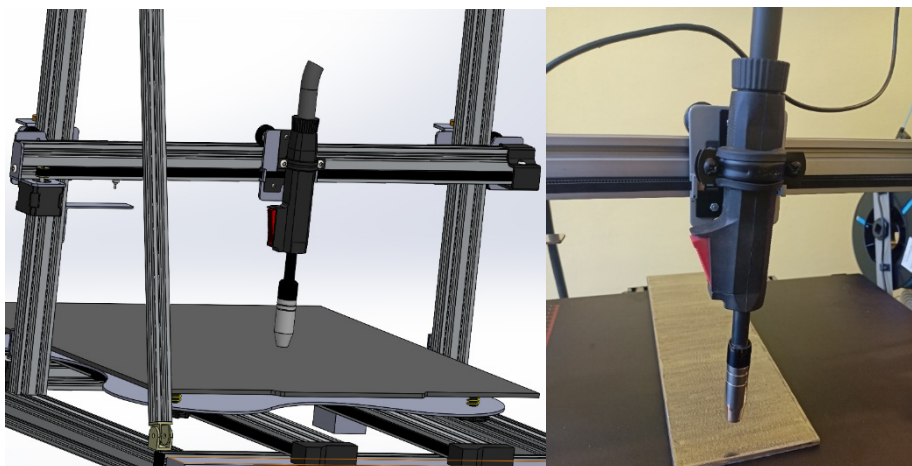


**Фигура 3. а. Принтираща глава с „3D Touch“**



Фигура 3. б. Нова позиция на „3D Touch“

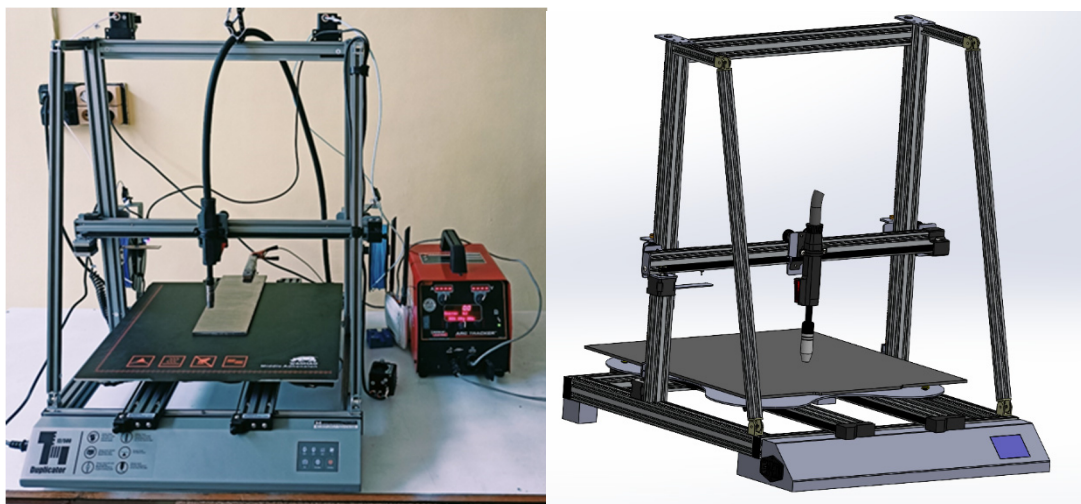
За захващане на плазмените горелки проектирахме и изработихме специална скоба, която монтирахме на мястото на оригиналната принтираща глава. Благодарение на пробите, които направихме предварително с 3D CAD модела на принтера скобата беше проектирана, така че при монтажа и да няма никакви промени в оригиналната конструкция на принтера фиг. 4.



Фигура. 4. Скоба за захващане на горелката.

### 3. Заключение

Въз основа на 3D модела на принтера и детайлите, които проектирахме и изработихме, успешно модифицирахме съществуващия 3D принтер, предназначен за използване на пластмасови добавки в 3D система за „послойно изграждане на детайли от метал“ фиг. 5. Реализирахме стабилно захващане на заваръчната горелка. Осигурихме плавно и равномерно движение на горелката, което е предпоставка за постигане на по-високо качество на принтираните детайли. Постигнахме пълна синхронизация между 3D принтера и заваръчния източник. Програмирахме софтуера за генериране на контролния файл, така че да получим устойчив процес на 3D принтиране на метални детайли чрез селективно плазмено претопяване на метал.



**Фигура. 5. 3D система за „послойно изграждане на детайли“ чрез селективно плазмено претопяване на метал.**

### **Благодарности**

Авторите са благодарни на финансовата подкрепа на Фонд „Научни изследвания“, Договор № КП-06-Н57/10, за извършване на необходимите изследвания.

### **Литература**

1. Udpa L., S. S. Udpa. Neural Networks for the Classification of Non-Destructive Evaluation Signals. IEE Proceedings-F, Vol. 138, No. 1, 1991, pp 201-205.
1. 3D printing with Metals by Fernando Ribeiro Universidade do Minho Industrial Electronics Dep. Campus de Azurém 4800 Guimarães PORTUGAL
2. <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2019/metals-3D-printing.html>
3. Petrovic V, Vicente Haro Gonzalez J, Jordá Ferrando O, Delgado Gordillo J, Ramón Blasco Puchades J, and Portolés Griñan L. “Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies”, International Journal of Production Research, 49, 1061–79, 2011.
4. Pearce JM, Morris Blair C, Laciak KJ, Andrews R, Nosrat A, and Zelenika-Zovko I. "3-D printing of open source appropriate technologies for self-directed sustainable development", Journal of Sustainable Development, 3, 17, 2010.
5. Abe F, Osakada K, Shiomi M, Uematsu K, and Matsumoto M. “The manufacturing of hard tools from metallic powders by selective laser melting”, Journal of Materials Processing Technology,
7. P. Kazanas, P. Deherkar, P. Almeida, H. Lockett and S. Williams. “Fabrication of geometrical features using wire and arc additive manufacture”, Proc. IMechEng B, 2012, 226B, (6), 1042–1051.