

## **УДК 621.791**

**Сергій Мінаков, к.т.н., доц.; Євгенія Чвертко, к.т.н., доц.; Наталія Стреленко, к.т.н., доц.; Денис Степанов, к.т.н., доц.; Антон Мінаков, к.т.н.; Іван Вдовиченко; Дмитро Вдовиченко; Анатолій Кучик**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

### **3D НАПЛАВЛЕННЯ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ**

Анотація. Представлені основні принципи компонування обладнання для 3D наплавлення із використанням модульних рішень для верстатів із ЧПК. Генерацію G-кодів для пошарового наплавлення запропоновано проводити на мові програмування Python під управлінням операційної системи LinuxCNC.

Ключові слова: 3D наплавлення, висота наплавленого шару, ширина наплавленого шару, операційна система LinuxCNC, мова програмування Python, верстати із ЧПК.

**Serhii Minakov, Ph.D., Assoc. Prof.; Yevgenia Chvertko, Ph.D., Assoc. Prof.; Nataliia Strelenko, Ph.D., Assoc. Prof.; Denys Stepanov, Ph.D., Assoc. Prof.; Anton Minakov, Ph.D., Assoc. Prof.; Ivan Vdovychenko, Dmytro Vdovychenko, Anatoly Kuchyik**

### **3D SURFACING ON MACHINES WITH COMPUTER NUMERICAL CONTROL**

Abstract. The principles of building equipment for 3D surfacing using modular solutions for CNC machines are presented. The generation of G-codes for layer-by-layer surfacing is proposed to be carried out in Python under the control of the LinuxCNC operating system. Keywords: 3D surfacing, deposited layer height, deposited layer width, LinuxCNC operating system, Python programming language, CNC machines.

Розробка та удосконалення засобів адитивного виробництва на разі є пріоритетним напрямком технологій з'єднання. Технології дугового зварювання (наплавлення) мають ряд переваг перед технологіями із застосуванням порошкових матеріалів (SLM та SLS). Це завдяки наявності великого парку зварювального обладнання та великої продуктивності процесів наплавлення порівняно із SLM та SLS. Однак необхідність програмного управління процесом переміщення пальника (або деталі) для пошарового наплавлення вимагає застосування спеціалізованого обладнання. За звичай для цього застосовуються роботизовані комплекси. Однак для багатьох завдань автоматизації процесів пошарового наплавлення економічно доцільніше використовувати технології, що застосовуються у верстатах із числовим програмним забезпеченням (ЧПК).

Сучасні модульні рішення для верстатів із ЧПК дають можливість варіації напрямних, кареток, трансмісії, приводів та відповідних до них контролерів. Це дозволяє гнучко автоматизувати необхідний процес. Наприклад, довжина стандартних напрямних складає 6 м, що на багато перевищує можливості роботів. Це дозволяє проектувати та виготовляти так звані лінійні роботизовані комплекси у яких переміщення відбувається вздовж заданих осей. Вказані модульні рішення дозволяють також створити системи обертання пальника (або деталі). Так для наплавлення методом MIG/MAG достатньо переміщувати тільки зварювальний пальник, який має невелику вагу. Це дозволяє застосовувати модульні рішення малої потужності.

Беручи до уваги зазначене вище та те, що необхідна точність для позиціонування пальника значно менша в порівнянні із обладнанням для металообробки доцільно

застосовувати у якості приводів крокові двигуни. Для створення спеціалізованого верстата із ЧПК для 3D наплавлення необхідно виготовити раму, виставити напрямні із каретками, встановити трансмісію (ланцюг, зубчастий пас, шарико-гвинтова передача (ШГП)), приводи та відповідні контролери для них.

Управління приводами як і для верстатів із ЧПК відбувається за допомогою G-кодів. 3D наплавлення відбувається пошарово, що вимагає використання великої кількості програмного коду. Виходом із цього положення є застосування операційної системи Linux CNC, яка дозволяє програмувати код із застосуванням мови Python. І саме це дозволяє оптимізувати генерацію необхідних G-кодів.

Для забезпечення якісного процесу 3D наплавлення потрібні уточнення параметрів процесу наплавлення. Найбільш критичним для процесу наплавлення є параметри наплавленого валику, а саме: висота та ширина. Ці параметри значно коливаються в залежності від розмірів та форми деталей, які наплавляються. Ці та інші параметри на різних етапах наплавлення уточнюються в процесі експериментальних досліджень. Відомо, що умови тепловідведення змінюються по мірі наплавлення шарів. Це вимагає корекції режимів наплавлення до настання квазістаціонарного стану. За звичай цей стан настає після наплавлення п'яти і більше шарів. Нові параметри вносяться в програму, що написана на мові Python і, яка в свою чергу генерує нову керуючу програму на G-кодів для керування ЧПК верстатом. Процес корекції параметрів наплавлення триває до задовільного результату. Програма написана на мові Python значно полегшує процес корекції параметрів.

Код мови Python для наплавлення на круглу трубу деталі типу фланець:

```
from math import *
import math
shift_pal = 10          # виліт дроту, мм
diametr = 133          # діаметр деталі, мм
speed = 24             # швидкість наплавлення, метри за годину
angle = 30             # кут зміщення пальника відносно центра циліндра
size_of_layer = 1.5    # висота величина наплавленого шару, мм
side_shift_angle = 45  # кут нахилу наплавлення
number_of_layers = 10  # кількість шарів
for t in range(number_of_layers):
    y_pal= cos(angle*(math.pi/180))*(diametr+size_of_layer*t)/2+shift_pal
    z_pal= sin(angle*(math.pi/180))*(diametr+size_of_layer*t)/2
    x_shift = size_of_layer*t / math.tan(side_shift_angle*(math.pi/180))
    time_1_rotete= ((diametr+size_of_layer*2*t)*math.pi)/(speed*1000/60)
    rotete_speed = 360.0/time_1_rotete
    u=360+360*t
    print ("G1 X%f Y%f Z%f F1000" % (x_shift,y_pal,z_pal))
    print ("G1 A%f F%f" % (u,rotete_speed))
    t+=1
```

Використання операційної системи LinuxCNC з певним апаратним забезпеченням може надавати зворотній зв'язок для корекції положення пальника перед кожним наступним шаром наплавлення. Поєднання можливостей операційної системи LinuxCNC та мови програмування Python дозволяє створити досить гнучку систему управління процесом 3D наплавлення.