

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 249288 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **447290**

(22) Data zgłoszenia: **2023.12.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2025.06.23 BUP 25/2025**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2026.03.23 WUP 12/2026**

(51) MKP:

B23K 9/04 (2006.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B29C 64/118 (2017.01)

B33Y 70/00 (2020.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ – INSTYTUT
METALI NIEŻELAZNYCH, Gliwice, PL
WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA
IM. JAROSŁAWA DĄBROWSKIEGO,
Warszawa, PL**

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ
– GÓRNOŚLĄSKI INSTYTUT
TECHNOLOGICZNY, Gliwice, PL
POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Warszawa, PL
ZAKŁADY MECHANICZNE TARNÓW
SPÓŁKA AKCYJNA, Tarnów, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**ALEKSANDER KOWALSKI, Gliwice, PL
WOJCIECH BURIAN, Gliwice, PL
MAREK BURDEK, Gliwice, PL
JOANNA KULASA, Będzin, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Justyna Duda, Gliwice, PL

(54) Tytuł:

**Sposób wytwarzania elementów przestrzennych z wykorzystaniem technologii
Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)**

PL 249288 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania elementów przestrzennych z wykorzystaniem technologii Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM).

Technologia druku Wire Arc Additive Manufacturing staje się coraz szerzej stosowaną technologią zarówno w przemyśle, jak i w jednostkach naukowo-badawczych i uczelniach wyższych. Charakterystyczną jej cechą jest wykorzystanie procesów spawalniczych MIG/MAG do wytwarzania obiektów trójwymiarowych z materiału w postaci drutów spawalniczych o różnych średnicach. Obecnie, zakres dostępnych materiałów ogranicza się do stopów komercyjnych (stale, stopy aluminium, stopy miedzi, stopy tytanu, itp.) stosowanych dotąd w spawalnictwie do łączenia elementów, bądź napawania na nich warstwy zewnętrznej. Dla tego typu materiałów istnieją opracowane parametry procesowe WAAM, zależne od typu posiadanego urządzenia spawalniczego, zapewniające otrzymywanie obiektów o odpowiedniej jakości i własnościach użytkowych, niemniej jest niewiele tego typu opracowań w polskiej literaturze. Przykładem takiego opracowania może być publikacja P. Cegielski, A. Skublewska, P. Gawroński, M. Ostrysz, M. Dylewski, and M. Gajowniczek, „Zrobotyzowane drukowanie 3D części maszyn metodami spawalniczymi”. Przegląd Spawalnictwa, vol. 89, no. 1, 2017, aczkolwiek odnosi się ona do samego procesu, bez skonkretyzowania materiałowego. Tematyka optymalizacji parametrów procesowych jest poruszana w literaturze zagranicznej, niemniej dotyczy materiałów komercyjnych, przykład: Y. Ali, P. Henckell, J. Hildebrand, J. Reimann, J.P. Bergmann, S. Bamikol-Octtler, „Wire arc additive manufacturing of hot work tool steel with CMT proces”, Journal of Materials Processing Technology, vol. 269, 2019, p. 109–116.

Istotą wynalazku jest sposób wytwarzania elementów przestrzennych poprzez technologię Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) prowadzony poprzez nagrzewanie materiału charakteryzujący się tym, że podkład stalowy nagrzewa się do temperatury 150–170°C, następnie materiał wsadowy stanowiący drut o średnicy 1.0–1.6 mm o składzie chemicznym 0.013% C, 18.60% Ni, 12.10% Co, 1.39% Ti, 0.07% Mn, 4.90% Mo, 0.06% Si, 0.09% Al, <0.02% Cu, <0.01% P, <0.01% S, reszta Fe topi się w luku spawalniczym przy szybkości podawania drutu 4.0–7.5 m/min natężeniu prądu 102–155 A, napięciu prądu 11.3–12.3 V, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, uzyskując pierwszą warstwę, która następnie chłodzi się do temp. 150°C w temperaturze otoczenia, po czym ponownie, co najmniej jednokrotnie topi się materiał wsadowy przy szybkości podawania drutu 4.0–7.5 m/min, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, po czym chłodzi się uzyskaną warstwę do temp. 150°C.

Sposób według wynalazku gwarantuje uzyskanie wysokojakościowych wyrobów wolnych od pustek i porów.

Tabela 1

Parametry procesowe wytwarzania elementów ze stali MS350 z wykorzystaniem technologii WAAM.

Rodzaj wyrobu	Szybkość podawania drutu, m/min	Natężenie prądu, A	Napięcie prądu, V	Szybkość posuwu palnika, mm/min	Wysokość warstwy, mm	Korekta długości łuku, %	Korekta dyn/pulse	OvD, mm
grubościenny	7.0	155	12.3	600	4.00	-30	5.0	1.70
cienkościenny	4.0	102	11.3	500	1.9	-30	5.0	-

* OvD (overleaping distance) – parametr określający wielkość nakładania się na siebie przylegających ścieżek podczas druku elementów grubościennych

Wynalazek został uwidoczniony w poniższych przykładach realizacji.

Przykład 1

Sposób wytwarzania elementów ze stali MS350 z wykorzystaniem technologii przyrostowej WAAM zaprezentowano na przykładzie wytwarzania obiektów grubościennych w postaci blozków o wymiarach 20 x 20 x 900 mm.

Proces jest realizowany w komorze roboczej drukarki 3D WAAM, wyposażonej w spawarkę MIG/MAG wykorzystującej proces CMT (Cold Metal Transfer).

- Umieszczenie szpuli z 15 kg drutu ze stali MS350 o średnicy 1.0 mm o składzie chemicznym: 0.013% C, 18.60% Ni, 12.10% Co, 1.39% Ti, 0.07% Mn, 4.90% Mo, 0.06% Si, 0.09% Al, <0.02% Cu, <0.01% P, <0.01% S, reszta Fe w układzie podawania drutu złożonego z rolek

- prostujących, prowadzących oraz przewodów umożliwiających poprowadzenie drutu do palnika spawarki zakończonej końcówką prądową.
2. Zamocowanie podkładu ze stali 304 o wymiarach 300 x 300 mm na stole roboczym umiejscowionym w obszarze roboczym drukarki.
 3. Nagrzanie podkładu stalowego do temperatury 150°C oraz kontrola zewnętrznym urządzeniem pomiarowym i uruchomienie układu sterowania drukarki.
 4. Zajarzenia łuku i roztapiania drutu w jeziorku spawalniczym wraz z ruchem palnika zgodnie z zadaną w programie numerycznym trajektorią: palnik porusza się wzdłuż krótszego boku 20 mm po czym następuje ruch prostopadły równy OvD, w tym przypadku 3.5 mm, następnie palnik porusza się o 20 mm w przeciwnym kierunku do poprzedniej ścieżki, przy szybkości podawania drutu 7.0 m/min, natężeniu prądu 155 A, napięciu prądu 12.3 V.
 5. Po zakończeniu wydruku pierwszej warstwy obiektu następuje automatyczne podniesienie palnika o 20 mm + wartość zgodną z wysokością otrzymanej ścieżki, następuje chłodzenie w powietrzu wraz z automatycznym pomiarem temperatury za pomocą pirometru.
 6. Po osiągnięciu przez wytworzoną warstwę temperatury 150°C następuje automatyczne obniżenie palnika o 20 mm w kierunku wytworzonej warstwy.
 7. Drukowanie obiektu (nakładanie kolejnych warstw materiału) odbywa się na podkładzie ze stali nierdzewnej w gatunku 304, w atmosferze mieszaniny gazów Ar i CO₂ w proporcjach odpowiednio 97.5% i 2.5%, z tym że pierwsza warstwa nakładana jest bezpośrednio na podkładzie stalowym, natomiast każda kolejna nakładana jest na warstwie poprzedniej wytworzonej z zastosowanego materiału wsadowego w postaci drutu.
 8. Powtórzenie czynności 4–6 następuje do chwili uzyskania przez obiekt zadanej ilości warstw wymaganych dla danego elementu przestrzennego do chwili uzyskania przez obiekt wymiarów 20 x 20 x 900 mm.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób wytwarzania elementów przestrzennych poprzez technologię Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) prowadzony poprzez nagrzewanie materiału, **znamienny tym**, że podkład stalowy nagrzewa się do temperatury 150–170°C, następnie materiał wsadowy stanowiący drut o średnicy 1.0–1.6 mm o składzie chemicznym 0.013% C, 18.60% Ni, 12.10% Co, 1.39% Ti, 0.07% Mn, 4.90% Mo, 0.06% Si, 0.09% Al, <0.02% Cu, <0.01% P, <0.01% S, reszta Fe topi się w łuku spawalniczym przy szybkości podawania drutu 4.0–7.5 m/min natężeniu prądu 102–155 A, napięciu prądu 11.3–12.3 V, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, uzyskując pierwszą warstwę, którą następnie chłodzi się do temp. 150°C w temperaturze otoczenia, po czym ponownie, co najmniej jednokrotnie topi się materiał wsadowy przy szybkości podawania drutu 4.0–7.5 m/min, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, po czym chłodzi się uzyskaną warstwę do temp. 150°C.