

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 249249 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **447289**

(22) Data zgłoszenia: **2023.12.22**

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

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2026.03.16 WUP 11/2026**

(51) MKP:

B23K 9/04 (2006.01)

B29C 64/118 (2017.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

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 249249 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. Przykładem takiego opracowania jest 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 odniesieniu do materiałów komercyjnych: jak na przykład w publikacji: Y. Ali, P. Henckell, J. Hildebrand, J. Reimann, J.P. Bergmann, S. Barnikol-Oettler, „Wire arc additive manufacturing of hot work tool steel with CMT process”, *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 120–150°C, następnie materiał wsadowy stanowiący drut o średnicy 1.0–1.6 mm o składzie chemicznym 0.21% C, 4.01% Ni, 1.37% Cr, 0.39% Mn, 0.33% Mo, 0.25% Si, 0.21% V, 0.01% Al, 0.005% P, 0.005% S, resztę stanowi Fe, topi się w łuku spawalniczym przy szybkości podawania drutu 7.5 m/min, natężeniu prądu 160 A, napięciu prądu 12.4 V, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, uzyskując pierwszą warstwę, którą następnie chłodzi się do temp. 120°C w temperaturze otoczenia, po czym ponownie, co najmniej jednokrotnie topi się materiał wsadowy przy szybkości podawania drutu 7.5 m/min, natężeniu prądu 160 A, napięciu prądu 12.4 V przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, po czym chłodzi się uzyskaną warstwę do temp. 120°C.

Sposób według wynalazku pozwala na wykorzystanie drutu w gatunku 25H2N4MA do wytwarzania wyrobów w technologii przyrostowej WAAM charakteryzujących się wysoką jakością struktury wewnętrznej, wolną od pustek i porów. Wykorzystanie technologii WAAM i materiału wsadowego wykonanego ze stali 25H2N4MA w sposób przedstawiony w wynalazku umożliwia wytwarzanie elementów charakteryzujących się wysokimi własnościami mechanicznymi: $R_m = 1060$ MPa, $R_c = 910$ MPa, $A_{50} = 25\%$ i odpornych na dynamiczne obciążenia uderowe, którym wielokrotnie poddawane są, np. elementy broni strzeleckiej.

Wynalazek został uwidoczniiony w poniższych przykładach realizacji.

Przykład 1

Sposób wytwarzania obiektów grubościowych w postaci bloczków o wymiarach 20 x 900 x 900 mm z wykorzystaniem technologii przyrostowej WAAM obejmuje następujące etapy:

1. Umieszczenie szpuli z 15 kg drutu ze stali 25H2N4MA o średnicy 1.0 mm w układzie podawania drutu drukarki 3D arc403 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 x 10 mm na stole roboczym umiejscowionym w obszarze roboczym drukarki.
3. Nagrzanie podkładu stalowego do temperatury 120°C (kontrola zewnętrznym urządzeniem pomiarowym) i uruchomienie układu sterowania drukarki.
4. Zajarzenie łuku i roztapianie drutu w jeziorze 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 7.5 m/min, natężeniu prądu 160 A, napięciu prądu 12.4 V.
5. Po zakończeniu wydruku pierwszej warstwy obiektu następuje automatyczne podniesienie palnika o 20 mm + wartość zgodną z wysokością otrzymanej ścieżki w tym przypadku 3.0 mm – następuje chłodzenie w powietrzu wraz z automatycznym pomiarem temperatury za pomocą pirometru.

6. Po osiągnięciu przez wytworzoną warstwę temperatury 120°C następuje automatyczne obniżenie palnika o 20 mm w kierunku wytworzonej warstwy.
7. Powtórzenie czynności 4–6 następuje do chwili uzyskania przez obiekt zadanej ilości warstw wymaganych dla danego elementu przestrzennego. W przykładzie otrzymano obiekt o wymiarach 20 x 900 x 900 mm.

W tabeli 1 zestawiono parametry procesowe wytwarzania elementów ze stali 25H2N4MA 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	7.5	160	12.4	600	3.00	18	-5.0	3.50

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

Przykład 2

Sposób wytwarzania obiektów cienkościennych w postaci cienkich ścianek o wymiarach 5 x 70 x 70 mm z wykorzystaniem technologii przyrostowej WAAM obejmuje następujące etapy:

1. Umieszczenie szpuli z 15 kg drutu ze stali 25H2N4MA o składzie chemicznym 0.21% C, 4.01% Ni, 1.37% Cr, 0.39% Mn, 0.33% Mo, 0.25% Si, 0.21% V, 0.01% Al, 0.005% P, 0.005% S, resztę stanowi Fe, o średnicy 1.0 mm w układzie podawania drutu drukarki 3D arc403 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 x 10 mm na stole roboczym umiejscowionym w obszarze roboczym drukarki.
3. Nagrzanie podkładu stalowego do temperatury 120°C (kontrola zewnętrznym urządzeniem pomiarowym) i uruchomienie układu sterowania drukarki.
4. Zajarzenie łuku i roztapianie drutu w jeziorku spawalniczym wraz z ruchem palnika zgodnie z zadaną w programie numerycznym trajektorią: palnik porusza się niebem posuwistym 70 mm, przy szybkości podawania drutu 7.5 m/min, natężeniu prądu 160 A, napięciu prądu 12.4 V, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii.
5. Po zakończeniu wydruku pierwszej warstwy obiektu następuje automatyczne podniesienie palnika o 20 mm + wartość zgodną z wysokością otrzymanej ścieżki w tym przypadku 2.0 mm – następuje chłodzenie w powietrzu wraz z automatycznym pomiarem temperatury za pomocą pirometru.
6. Po osiągnięciu przez wytworzoną warstwę temperatury 120°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 4–7 następuje do chwili uzyskania przez obiekt zadanej ilości warstw wymaganych dla danego elementu przestrzennego. W przykładzie otrzymano obiekt o wymiarach 5 x 70 x 70 mm.

W tabeli 2 zestawiono parametry procesowe wytwarzania elementów ze stali 25H2N4MA 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
cienkościenny	7.5	160	12.4	400	2.00	18	-5.0

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 120–150°C, następnie materiał wsadowy stanowiący drut o średnicy 1.0–1.6 mm o składzie chemicznym 0.21% C, 4.01% Ni, 1.37% Cr, 0.39% Mn, 0.33% Mo, 0.25% Si, 0.21% V, 0.01% Al, 0.005% P, 0.005% S, resztę stanowi Fe, topi się w łuku spawalniczym przy szybkości podawania drutu 7.5 m/min, natężeniu prądu 160 A, napięciu prądu 12.4 V, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, uzyskując pierwszą warstwę, którą następnie chłodzi się do temp. 120°C w temperaturze otoczenia, po czym ponownie, co najmniej jednokrotnie topi się materiał wsadowy przy szybkości podawania drutu 7.5 m/min, natężeniu prądu 160 A, napięciu prądu 12.4 V przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, po czym chłodzi się uzyskaną warstwę do temp. 120°C.