

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 249250 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **447293**

(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)

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 ze stali z wykorzystaniem technologii
Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)**

PL 249250 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania elementów przestrzennych ze stali 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. Henekell, J. Hildebrand, J. Reimann, J.P. Bergmann, S. Barnikol-Oettler, „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 120–150°C, następnie materiał wsadowy stanowiący drut o średnicy 1.0 mm o składzie 0.11% C, 1.80% Mn, 0.41% Cr, 0.29% Mo, 0.05% Si, 0.07% V, 0.035% Al, 0.01% Ti, 0.005% P, 0.005% S, reszta Fe, topi się w łuku spawalniczym przy szybkości podawania drutu 7.0–6.0 m/min, natężeniu prądu 155–145 A, napięciu prądu 12.0–12.3, 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 7.0–6.0 m/min, natężeniu prądu 155–145 A, napięciu prądu 12.0–12.3 V, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, po czym chłodzi się uzyskaną warstwę do temp. 120°C.

Sposób według wynalazku skierowany jest do użytkowników urządzeń opartych na technologii WAAM, którzy do wytwarzania wyrobów wykorzystują druty ze stali 10MFTi, bądź o podobnym składzie chemicznym. Zastosowanie sposobu według wynalazku pozwala na wykorzystanie drutu w gatunku 10MFTi do wytwarzania/produkcji wyrobów w technologii przyrostowej WAAM charakteryzujących się wysoką jakością struktury wewnętrznej, wolną od pustek i porów.

Sposób według wynalazku gwarantuje uzyskanie wysokojakościowych wyrobów wolnych od pustek i porów. Tablica 1 przedstawia parametry procesowe.

Tablica 1. Parametry procesowe wytwarzania elementów ze stali 10MFTi 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	500	3.20	0	0	3.50
cienkościenny	6.0	145	12.0	500	1.80	0	0	

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

Wynalazek został uwidoczniony w poniższych przykładach realizacji.

Sposób wytwarzania elementów ze stali 10MFTi z wykorzystaniem technologii przyrostowej WAAM zaprezentowano na przykładzie wytwarzania obiektów grubościennych w postaci blozków o wymiarach 20 x 20 x 900 mm. Proces realizowany jest w komorze roboczej drukarki 3D WAAM, wyposażonej w spawarkę MIG/MAG.

1. Umieszczenie szpuli z 15 kg drutu ze stali 10MFTi o składzie chemicznym; 0.11% C, 1.80% Mn, 0.41% Cr, 0.29% Mo, 0.05% Si, 0.07% V, 0.035% Al., 0.01% Ti, 0.005% P, 0.005% S, reszta Fe, o średnicy 1.0 mm 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 120°C (kontrola zewnętrznym urządzeniem pomiarowym) i uruchomienie układu sterowania drukarki.
4. Zajarzenia łuku i roztopiania 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 6.0 m/min, natężeniu prądu 145 A, napięciu prądu 12.0 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 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 4–8 następuje do chwili uzyskania przez obiekt zadanej ilości warstw wymaganych dla danego elementu przestrzennego. W przykładzie otrzymano obiekt o wymiarach 20 x 200 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 120–150°C, następnie materiał wsadowy stanowiący drut o średnicy 1.0 mm o składzie 0.11% C, 1.80% Mn, 0.41% Cr, 0.29% Mo, 0.05% Si, 0.07% V, 0.035% Al, 0.01% Ti, 0.005% P, 0.005% S, reszta Fe, topi się w łuku spawalniczym przy szybkości podawania drutu 7.0–6.0 m/min, natężeniu prądu 155–145 A, napięciu prądu 12.0–12.3, 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 7.0–6.0 m/min, natężeniu prądu 155–145 A, napięciu prądu 12.0–12.3 V, przy ciągłym ruchu palnika wzdłuż zadanej trajektorii, po czym chłodzi się uzyskaną warstwę do temp. 120°C.