

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243608 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437694**

(22) Data zgłoszenia: **2021.04.26**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.10.31 BUP 44/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.09.18 WUP 38/2023**

(51) MKP:

B23K 9/04 (2006.01)

B23K 26/34 (2014.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, Kielce, PL
INSTYTUT METALURGII I INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ IM. A.KRUPKOWSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Kraków, PL
SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ –
GÓRNOŚLĄSKI INSTYTUT
TECHNOLOGICZNY, Gliwice, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

HUBERT DANIELEWSKI, Kielce, PL
BOGDAN ANTOSZEWSKI, Kielce, PL
JAN DUTKIEWICZ, Kraków, PL
ŁUKASZ ROGAL, Kraków, PL
MAREK WĘGŁOWSKI, Zbrośławice, PL
KRZYSZTOF KWIECIŃSKI, Gierałtówice, PL
PIOTR ŚLIWIŃSKI, Gliwice, PL

(74) Pełnomocnik:

Kamil Kot, Kielce, PL

(54) Tytuł:

Sposób pseudo-hybrydowego prototypowania laserowego z zastosowaniem proszku metalowego i drutu litego

PL 243608 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób pseudo-hybrydowego prototypowania laserowego z zastosowaniem proszku metalowego i drutu litego, w którym jako źródła ciepła stosuje się laser gazowy CO₂.

Główną zaletą prototypowania laserowego jest możliwość wytwarzania struktur przestrzennych o skomplikowanych kształtach z materiałów metalowych, w tym również i tych trudnoobrabialnych.

Istnieją różne metody prototypowania, począwszy od metod w których wiązka lasera selektywnie spieka umiejscowiony na łożu proszek metalowy (WO2020239764), aż po metody w których materiał dodatkowy jest podawany wraz z wiązką lasera w obszar powierzchni na którą jest наносzony (CN111151751, CN111098033).

Każda z metod prototypowania posiada swoje zalety ale i również ograniczenia. W przypadku prototypowania z wykorzystaniem proszków metalowych brak jest możliwości osiągnięcia gęstości materiału litego. Natomiast w przypadku prototypowania z drutem, niektóre metody cechują się ograniczeniem w postaci pozycji wymuszonych prowadzenia drutu, chociaż istnieje również rozwiązanie umożliwiające centralne podawanie drutu, a więc pozycje wymuszone nie występują, jednak jest przeznaczone tylko dla laserów na ciele stałym. W obu przypadkach wiązka lasera oddziałując na materiał dodatkowy roztopia go, następnie materiał ten wtapia się w powierzchnię materiału podkładowego łącząc się z nim (WO2020212891). W przypadku proszków jest to bardzo cienka warstwa nie przekraczająca 0,5 mm. W przypadku drutu uzależnione jest to od rodzaju zastosowanego lasera, gdzie możliwe jest również prototypowanie przy zastosowaniu drutu podgrzewanego rezystancyjnie przed samym deponowaniem, co zwiększa wydajność procesu (CN105648423). Głębokość wtopienia dla laserów na ciele stałym jest niewielka, jednak dla laserów CO₂ dla których dedykowany jest poniższy wynalazek niezbędne jest osiągnięcie progu jonizacji, a więc powstanie efektu kanału parowego do trwałego związania stopionego drutu z materiałem podłoża, stąd te wartości wynoszą nawet do kilku milimetrów (CN208162612). Efekt ten w dużym stopniu ogranicza możliwość prototypowania w szczególności ze względu na silne wymieszanie się materiału dodatkowego z materiałem podłoża oraz migracją pierwiastków stopowych w tym węgla oraz żelaza, które mogą w istotny sposób wpłynąć na właściwości prototypowanego materiału. Zjawisko to wymusza zastosowanie materiału podłoża o składzie chemicznym jak najbardziej zbliżonym do materiału наносzonego, dodatkowo ilość energii dostarczonej w tej metodzie prototypowania wymaga zastosowania materiału o znacznej grubości, nie mniejszej niż 5–6 mm, co z kolei wiąże się ze znacznymi kosztami, gdyż taka wytworzona struktura jest później odcinana od materiału podłoża.

Istnieje również możliwość prototypowania kilku dodatkowych warstw, które później można odciąć, jednak ograniczy to dyfuzję tylko niektórych pierwiastków stopowych, dodatkowo rozwiązanie to zwiększa ilość materiału odpadowego. Możemy również założyć użycie dwóch materiałów dodatkowych o różnym składzie chemicznym i wytworzenie tzw. warstwy buforowej z materiału pierwszego która ograniczy migrację pierwiastków z materiału podłoża, jednak wymaga to również wytworzenia kilku kolejnych warstw, które następnie muszą być odcięte, co więcej możemy mieć do czynienia z migracją pierwiastków z warstwy buforowej która również może wpłynąć na właściwości wytworzonego materiału (CN11140872, WO2020212891, JP2019210306). W procesach napawania i prototypowania laserowego znane jest wykorzystanie materiału dodatkowego w postaci drutu spawalniczego litego (WO2019035813, CN105648423) oraz zastosowanie materiału dodatkowego w postaci proszku metalowego, podawanego za pomocą zintegrowanego podajnika (CN110496966).

Znane jest również zastosowanie metod hybrydowych, gdzie wraz z drutem litym lub proszkiem wykorzystywane jest oprócz wiązki lasera również i inne źródło ciepła na przykład pochodzące z łuku elektrycznego (CN111515537), lub połączenie deponowania drutu oraz proszku jednocześnie w jednym procesie prototypowania (WO2019035813).

Problemem jest brak rozwiązań dla laserów gazowych na wykonywanie prototypowania właściwego za pomocą wiązki lasera i drutu litego na materiale podłoża różnego od materiału deponowanego.

Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie dwustopniowego procesu napawania/prototypowania laserowego, gdzie pierwszy cykl napawania polega na naniesieniu na materiał podłoża, na przykład stali niskostopowej konstrukcyjnej podstawowego zastosowania, dwóch warstw z wykorzystaniem proszku metalowego, następnie na tak naniesionej warstwie wykonuje się właściwe prototypowanie z wykorzystaniem drutu litego jako materiału dodatkowego. Materiał dodatkowy w postaci proszku wiąże się trwale z materiałem podłoża wtapiając się tylko na pewną głębokość rzędu kilku mikrometrów, przy czym poziom wymieszania dla tego typu powłoki jest niewielki. Drut lity poprzez efekt kanału parowego

wtapia się w podłoże naniesione z proszku metalowego, jednak przy odpowiednim doborze parametrów prototypowania nie wnika do materiału podłoża, a więc nie występuje wymieszanie napawanego materiału z materiałem podłoża, ogranicza to naniesiona warstwa z proszku metalowego. Zastosowanie drutu litego pozwala na osiągnięcie gęstości naniesionego materiału zbliżonej do materiału litego. W pierwszym etapie zogniskowana wiązka lasera oddziałuje na proszek metalowy doprowadzony za pomocą zintegrowanego podajnika do strefy oddziaływania wiązki z powierzchnią, stapiając go w punkcie oddziaływania wiązki, następnie wykonujemy przesunięcie wiązki o połowę szerokości pojedynczej napoiny, tworząc obszar nachodzenia na siebie napoin. W drugim etapie wiązka oddziałuje na powierzchnię drutu litego stapiając go, stopiony drut wiąże się z materiałem podłoża, po przeprowadzeniu pierwszego cyklu jest to powierzchnia naniesionego proszku, następne warstwy stopionego drutu tworzą strukturę przestrzenną wykonaną według zaprogramowanych ścieżek. Rozwiązanie to jest w szczególności dedykowane dla procesów prototypowania/napawania z wykorzystaniem lasera CO₂ oraz wysokostopowych materiałów takich jak superstopy na bazie niklu. Warstwa buforowa, czyli naniesiony proszek w przypadku zaproponowanego rozwiązania, ma identyczny skład chemiczny jak deponowany w drugim kroku drut lity, dlatego nie występuje wymieszanie między tymi warstwami pierwiastków stopowych, które mogłyby wpłynąć na właściwości napoin. Co więcej, w odróżnieniu od innych metod tworzenia warstwy buforowej w tym przypadku wykonywana jest ona przy pomocy innej metody prototypowania/napawania niż właściwe prototypowanie, wykorzystując zaletę niskiego poziomu wymieszania napawanego proszku i dobrą gęstość materiału deponowanego przy pomocy drutu litego otrzymujemy strukturę/materiał o dobrych właściwościach równomiernej strukturze i składzie chemicznym, wysokiej gęstości który możemy wytworzyć za pomocą deponowania przy użyciu wiązki lasera CO₂.

Istotą wynalazku jest sposób pseudo-hybrydowego prototypowania laserowego z zastosowaniem proszku metalowego i drutu litego, które wykonywane jest na materiale podłoża z niskostopowych materiałów konstrukcyjnych podstawowego zastosowania, charakteryzujący się tym, że na materiale podłoża z niskostopowych materiałów konstrukcyjnych podstawowego zastosowania deponuje się materiał dodatkowy, zwłaszcza wysokostopowe materiały specjalne, w dwóch niezależnych cyklach technologicznych, pierwszym przy użyciu wiązki lasera CO₂ i proszku metalowego tworząc warstwę pośrednią. W drugim cyklu przy użyciu wiązki lasera CO₂ i drutu litego tworząc właściwą napoinę, przy czym proszek metalowy oraz drut lity mają identyczne składy chemiczne.

Korzystnie, pierwsza warstwa wykonana przy użyciu proszku metalowego wnika na małą głębokość materiału podłoża rzędu 0,2 mm i słabo miesza się z materiałem podłoża, natomiast warstwy kolejne już przy użyciu drutu litego mieszają się jedynie z materiałem warstwy buforowej.

Korzystnie, materiałem podłoża jest materiał o składzie chemicznym różnym od deponowanych warstw proszku metalicznego i drutu litego, a pierwsza warstwa wykorzystując mechanizm słabego wymieszania materiału deponowanego z materiałem podłoża tworzy warstwę oddzielającą dla właściwych napoin wykonanych poprzez deponowanie drutu litego.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat przeprowadzania deponowania proszku metalowego na powierzchnię materiału podkładowego, fig. 2 – schemat wykonywania napoiny, tak aby kolejno wytworzone napoiny nachodziły na siebie tworząc warstwę odcinającą od podłoża, fig. 3 – schemat wykonaniu właściwego prototypowania, poprzez selektywne stapianie wiązką lasera drutu metalowego litego, fig. 4 – widok rzeczywisty naniesionych napoin na materiał podłoża, fig. 5 – widok zglądu metalograficznego przedstawiający wykonane warstwy napoin.

Zaproponowany sposób prototypowania składa się on z kilku czynności i wykonuje się go według schematu przedstawionym na fig. 1. W pierwszym etapie wiązka lasera **1** pada na powierzchnię materiału podkładowego **2**, w miejscu dozowania proszku metalowego **4** przez dysze dozujące proszek **7** zintegrowane z głowicą procesową **3**. Proszek **4** zostaje przetopiony przez wiązkę **1** na powierzchni materiału podkładowego **2** tworząc jeziorko ciekłego metalu **5**, po odjechaniu źródła ciepła w postaci wiązki **1**, metal zastyga tworząc napoinę **6**. Napoinę wykonuje się według schematu pokazanego na fig. 2, tak aby kolejno wytworzone napoiny nachodziły na siebie tworząc warstwę odcinającą od podłoża, przy czym napoina składa się z dwóch warstw deponowanego proszku, a w uzasadnionych przypadkach możliwe jest wykonanie większej ilości warstw. Następny krok polega na wykonaniu właściwego prototypowania (fig. 3), poprzez selektywne stopienie wiązką lasera **1** drutu metalowego litego **8**, dozowanego do jeziorka ciekłego metalu **5**, przy pomocy podajnika drutu **9**, który jest zintegrowany z głowicą

procesową 3. Deponowanie drutu odbywa się na powierzchni powłoki – napoiny 6, naniesionej w procesie napawania laserowego proszku, która oddziela nanoszoną warstwę napoiny 10 oraz kolejnych napoin 11 od materiału podkładowego 2.

Przykład wykonania

Przeprowadzono badanie prototypowania próbnego, gdzie materiałem podłoża była stal niskowęglowa S235JR, a materiałem napawanym proszek oraz drut ze stopu na bazie niklu, taki jak stop 625, którego właściwości takie jak żaroodporność oraz odporność na korozję wysokotemperaturową, ze względu na zawartość niklu rzędu 58%, chromu dochodzącą do 23% oraz molibdenu na poziomie 10%, są szczególnie wrażliwe na dyfuzję niektórych pierwiastków z materiału podłoża, w tym żelaza i węgla. Na powierzchnię stali niskowęglowej 2, napawano dwie warstwy napoiny 6 przy użyciu proszku metalowego 4, którym był stop 625. Moc wiązki lasera dla pierwszej deponowanej warstwy wynosiła 2,25 kW dla prędkości posuwu 0,8 m/min przy wydatku deponowanego proszku na poziomie 15 g/min. Następnie na tak naniesioną powłokę o grubości około 0,5 mm (fig. 4 - II) napawano 5 warstw 10, 11 itd. przy użyciu drutu litego o składzie identycznym jak napawany proszek metaliczny 8, tworząc napoinę przestrzenną (fig. 4 - III). Proces wykonano przy użyciu lasera CO₂, moc wyjściowa wynosiła 3 kW, jednak pierwsze dwie warstwy napoiny z drutu wykonano z mocą równą 2,8 kW, prędkość posuwu głowicy była równa 1,5 m/min, przy takiej samej prędkości podawania drutu spawalniczego. Wykonane napoiny zostało sprawdzone pod kątem prawidłowej budowy i występowania ewentualnych defektów.

Stwierdzono brak widocznych niezgodności oraz prawidłowy kształt napoin (fig. 5). Po wykonaniu zglądu metalograficznego nie stwierdzono przebicia warstwy napawanego proszku (fig. 5 - II) podczas prototypowania przy użyciu drutu litego (fig. 5 - III), a badania rozkładu pierwiastków potwierdziły brak dyfuzji pierwiastków z podłoża (fig. 5 - I) do warstw napoiny (fig. 5 - IV) wykonanych przy użyciu drutu litego.

Zastosowanie dwuetapowego procesu prototypowania pozwala na użycie metalu niskostopowego jako materiał podłoża, ograniczenie dyfuzji pierwiastków stopowych pomiędzy materiałem podłoża a właściwą napoiną wykonaną przy użyciu selektywnego stapienia drutu litego przez wiązkę lasera. Taka warstwa pośrednia dodatkowo zmniejsza deformację materiału podłoża podczas prototypowania, a fakt, że nie da się osiągnąć gęstości materiału litego w warstwie pośredniej nie wpływa w żaden sposób na wykonany element.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pseudo-hybrydowego prototypowania laserowego z zastosowaniem proszku metalowego i drutu litego, które wykonywane jest na materiale podłoża z niskostopowych materiałów konstrukcyjnych podstawowego zastosowania, **znamienny tym**, że na materiale podłoża z niskostopowych materiałów konstrukcyjnych podstawowego zastosowania, deponuje się materiał dodatkowy, zwłaszcza wysokostopowe materiały specjalne, w dwóch niezależnych cyklach technologicznych, pierwszym przy użyciu wiązki lasera CO₂ i proszku metalowego tworząc warstwę pośrednią zaś w drugim cyklu przy użyciu wiązki lasera CO₂ i drutu litego, tworząc właściwą napoinę, przy czym proszek metalowy oraz drut lity mają identyczne skład chemiczne.
2. Sposób, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwsza warstwa wykonana przy użyciu proszku metalowego wnika na małą głębokość materiału podłoża rzędu 0,2 mm i nieznacznie miesza się z materiałem podłoża, natomiast warstwy kolejne już przy użyciu drutu litego mieszają się jedynie z materiałem warstwy buforowej.
3. Sposób, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że materiałem podłoża jest materiał o składzie chemicznym różnym od deponowanych warstw proszku metalicznego i drutu litego, a pierwsza warstwa wykorzystując mechanizm słabego wymieszania materiału deponowanego z materiałem podłoża tworzy warstwę oddzielającą dla właściwych napoin wykonanych poprzez deponowanie drutu litego.

Rysunki

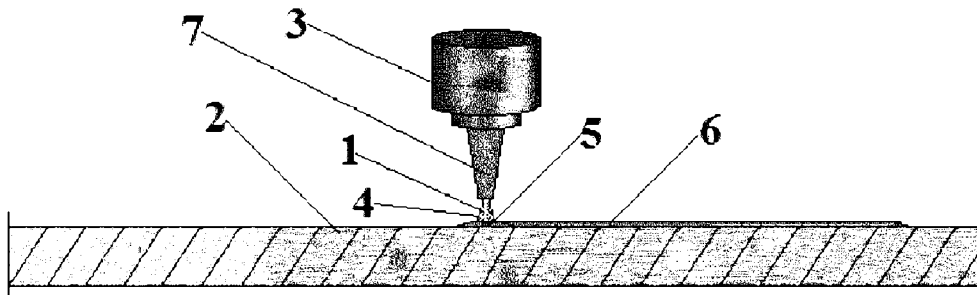


Fig. 1

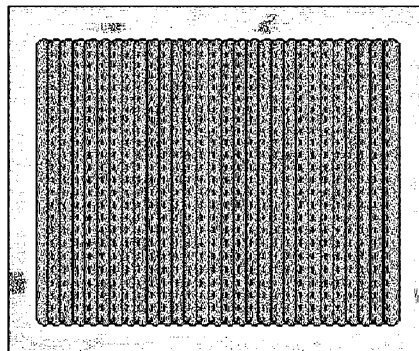


Fig. 2

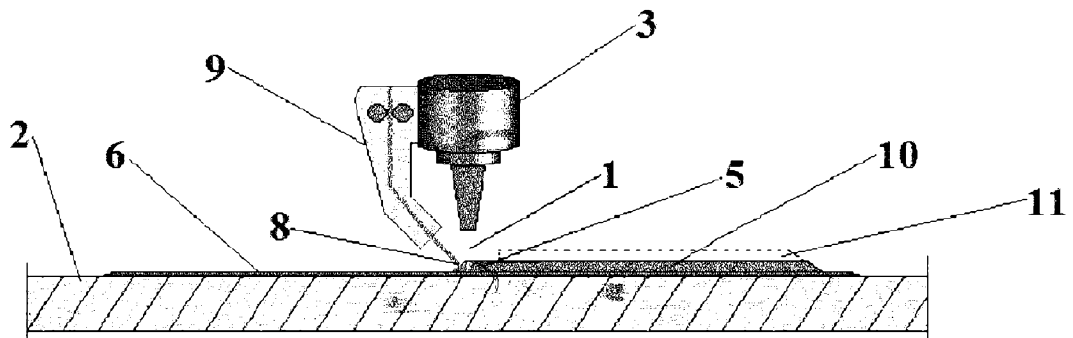
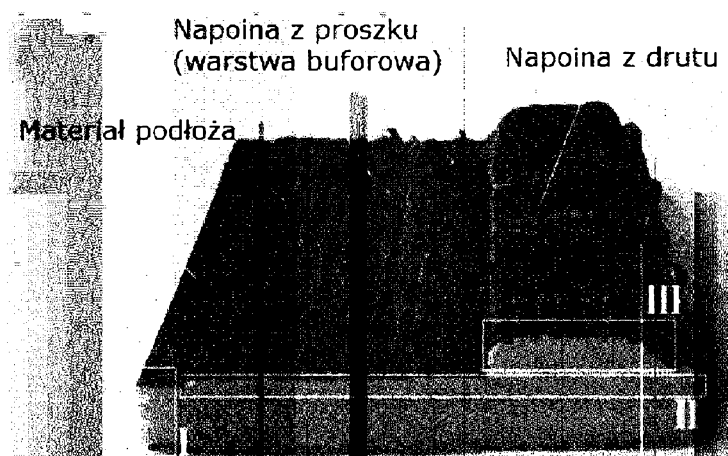
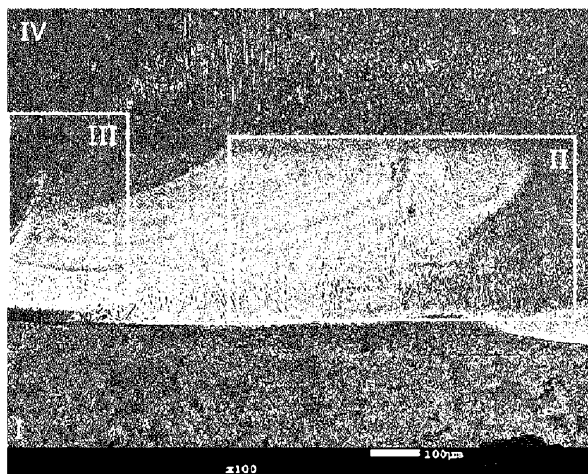


Fig. 3

**Fig. 4****Fig. 5**