

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **234030**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **415474**

(51) Int.Cl.
B22F 3/11 (2006.01)
B08B 15/04 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **22.12.2015**

(54)

Układ roboczy do laserowej obróbki proszków

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

03.07.2017 BUP 14/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

31.01.2020 WUP 01/20

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**BARTŁOMIEJ WYSOCKI, Warszawa, PL
ŁUKASZ ŻRODOWSKI, Gdańsk, PL
CEZARY ŻRODOWSKI, Gdańsk, PL
WOJCIECH ŚWIĘSZKOWSKI, Warszawa, PL
KRZYSZTOF JAN KURZYDŁOWSKI,
Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

recz. pat. Grażyna Padée

PL 234030 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ roboczy do laserowego spiekania lub przetapiania proszków, zwłaszcza z metali lub ich stopów.

Proces selektywnego laserowego przetapiania i spiekania proszków polega na wielokrotnym nanoszeniu warstw proszku i ich skanowaniu wiązką lasera, celem uzyskania trójwymiarowego obiektu. Proszek poddany działaniu lasera zostaje związany z podłożem, czyli płytą podstawową, lub z poprzednią warstwą proszku. Materiał niepoddany działaniu lasera jest luźno zasypyany dookoła gotowego trójwymiarowego obiektu i zostaje usunięty.

Z opisu patentowego US4863538 znane jest urządzenie do selektywnego spiekania proszków polimerowych. Urządzenie wyposażone jest w ruchomy stolik roboczy oraz zgarniacz proszku. Podobne rozwiązania zostały wykorzystane w przypadku proszków metalicznych.

W trakcie spiekania proszku powstają zanieczyszczenia, szczególnie w postaci nadtopionego proszku, który zostaje wyrzucony w postaci snopu iskier. Opadanie tych zanieczyszczeń na topioną powierzchnię może powodować wzrost chropowatości gotowego elementu i jego porowatości. Zanieczyszczenia usuwa się przepuszczając strumień gazu obojętnego nad powierzchnią topionej warstwy proszku. Gaz ten także chroni powierzchnię przed utlenianiem. Strumień gazu jest wprowadzany nad pole robocze za pomocą dysz usytuowanych po dwóch stronach pola roboczego lub miejscowo.

Przykładowo, urządzenie do pełnego selektywnego przetapiania proszków wyposażone w układ zapewniający przepływ gazu obojętnego nad proszkiem jest znane z opisu niemieckiego zgłoszenia patentowego DE19649865. Gaz ochronny, taki jak np. azot, hel lub argon, jest utrzymywany w ciągłym przepływie laminarnym nad powierzchnią topionej warstwy proszku. Ciśnienie strumienia gazu zawiera się korzystnie w zakresie 0,2–0,6 MPa. Wlot i wylot strumienia gazu są usytuowane po przeciwnych stronach pola roboczego, przy czym wlot jest usytuowany w górnej części komory roboczej, a wylot w pobliżu dna komory. W celu utrzymania strumienia gazu nie wyżej niż 20 mm nad formowaną powierzchnią w urządzeniu stosuje się płaską komorę roboczą. W alternatywnym rozwiązaniu strumień gazu jest kierowany bezpośrednio nad miejsce topienia proszku za pomocą dyszy. Dysza przemieszcza się razem z wiązką laserową i generuje lokalnie ograniczony strumień gazu.

Z opisu zgłoszenia patentowego WO9208592 znana jest metoda kontrolowania przepływu gazu w komorze roboczej, wykorzystująca nieruchome dysze wlotowe gazu nad stolikiem roboczym. Odpowiednio umiejscowiona przegroda kieruje gaz w dół do powierzchni docelowej współosiowo z wiązką laserową. Przepływ gazu może być spiralny albo wirowy, jednak w każdym przypadku jest to strumień kołowo symetryczny, zapewniający dzięki temu jednolitość efektu termicznego.

Problemem, który wiąże się ze stapianiem proszków w strumieniu gazu jest konieczność pogodzenia dwóch sprzecznych ze sobą celów: usunięcia zanieczyszczeń oraz pozostawienia nienaruszonej warstwy proszku. Wysoka prędkość gazu nad proszkiem skutecznie umożliwia usunięcie zanieczyszczeń, jednak powoduje również poruszenie proszku leżącego w polu roboczym. Przez to utrudnione jest nałożenie jednolitej warstwy, a w efekcie pogorszone są właściwości gotowego obiektu, szczególnie jego chropowatość. Z kolei niska prędkość gazu nie narusza warstwy proszku, ale też nie gwarantuje usunięcia zanieczyszczeń. Nieruchome dysze rozprawdzające gaz osłonowy zapewniają korzystny rozkład prędkości gazu tylko nad ograniczonym obszarem, na którym osiągnane są optymalne warunki do spiekania. Zwiększanie obszaru roboczego prowadzi do sytuacji, w której nie można osiągnąć obu wyżej wymienionych celów jednocześnie. Ruchoma dysza nadmuchowa jak przedstawiono w DE19649865 usuwa zanieczyszczenia ze strefy bezpośredniego wpływu lasera, natomiast nie rozwiązuje problemu ich ponownego opadania na pole robocze. Pozostawione zanieczyszczenia mieszają się z nieprzetopionym proszkiem, co utrudnia jego ponowne wykorzystanie.

Próba rozwiązania zdefiniowanego wyżej problemu jest wynalazek znany z opisu zgłoszenia patentowego US2014271965. W opisie przedstawiona jest metoda skanowania warstwy proszku z uwzględnieniem strefy opadu zanieczyszczeń. Zgodnie z tym wynalazkiem, sekwencja skanowania jest tak dobrana, że pozostałości wytwarzane podczas skanowania są odprowadzane z obszarów warstwy proszku, które dopiero mają być skanowane. Rozwiązanie to nie jest możliwe do zrealizowania, kiedy stosowane jest wielokrotne przetapianie warstwy lub przetapianie w tzw. wzór szachownicy.

W opisie zgłoszenia patentowego WO2014125281 przedstawiono urządzenie przystosowane do formowania warstwy proszku z wielu pasków, w którym kierunek tworzenia paska jest przeciwno równoległy do kierunku przepływu gazu lub pomiędzy kierunkiem tworzenia paska a kierunkiem przepływu gazu występuje kąt ostry taki, że kierunek tworzenia paska jest zawsze co najmniej czę-

ściowo przeciwstawny do określonego uprzednio kierunku przepływu gazu. Zaproponowana strategia skanowania złoża proszkowego ma na celu wyeliminowanie albo przynajmniej zmniejszenie negatywnego wpływu rozprysków na jakość wydruku, jednak nadal stosuje się przedmuch gazu przez całą komorę roboczą.

Podsumowując, wszystkie opisane wyżej znane rozwiązania bazują na usuwaniu odprysków z bezpośredniej strefy wpływu lasera i umożliwiają ich opad na pole robocze. Odmiennie rozwiązanie zdefiniowanego wyżej problemu jest przedmiotem niniejszego wynalazku.

Układ roboczy do laserowej obróbki proszków w komorze roboczej urządzenia do laserowej obróbki proszków według wynalazku charakteryzuje się tym, że na dnie komory roboczej urządzenia umiejscowione są prowadnice z elementami jezdnyimi połączonymi z platformą ze szczeliną roboczą i wyposażoną w kolektor rozprysków i w co najmniej jedną nagrzewnicę. Kolektor rozprysków składa się z układu dwóch dysz: dyszy tłoczącej i dyszy ssącej umiejscowionych na platformie wzdłuż szczeliny roboczej, po jej dwóch stronach. Nagrzewnica jest połączona z platformą i jest umiejscowiona wzdłuż szczeliny roboczej, za dyszą tłoczącą i/albo dyszą ssącą. Platforma jest połączona z układem mechanicznym zapewniającym ruch posuwisto-obrotowy platformy.

Korzystnie szczelina robocza ma szerokość nie większą niż 20 mm, a dysze: ssąca i tłocząca są umiejscowione na wysokości nie wyższej niż 5 mm nad polem roboczym ze spiekany proszkiem.

W korzystnym rozwiązaniu platforma składa się z dwóch części, przy czym ta część platformy, na której znajduje się szczelina jest obrotowa, a pozostała część platformy połączona jest z elementami jezdnyimi, przez co umożliwia jej ruch linowy.

W innym korzystnym rozwiązaniu platforma jest jednoczęściowa i jest połączona za pomocą przegubów z elementami jezdnyimi.

Korzystnie proszki podlegające obróbce są spiekane lub przetapiane. Korzystnie są to proszki metali i stopów metali.

Układ według wynalazku działa w ten sposób, że platforma z nagrzewnicą i kolektorem rozprysków porusza się nad polem roboczym synchronicznie z wiązką skanującą lasera. Wiązka skanująca skanuje proszek w obszarze szczeliny roboczej i jednocześnie dysza tłocząca podaje do szczeliny strumień gazu, a dysza ssąca porywa zanieczyszczenia poderwane przy skanowaniu proszku w obszarze szczeliny roboczej.

Platforma może być połączona z układem nagarniania proszku lub może być umiejscowiona na niezależnym układzie mechanicznym.

Dysza tłocząca w połączeniu z dyszą ssącą zapewnia przepływ gazu ochronnego o dużej prędkości, który skutecznie usuwa zanieczyszczenia z obszaru szczeliny roboczej. Układ według wynalazku pozwala na ukształtowanie rozkładu prędkości gazu osłonowego w zależności od odległości od pola roboczego. W bezpośrednim sąsiedztwie warstwy proszku prędkość gazu jest najmniejsza, a powyżej, czyli w strefie usuwania iskier, prędkość gazu jest największa. Wąska szczelina zawęża strefę przepływu gazu, przez co możliwe jest osiągnięcie dużego gradientu prędkości gazu nad polem roboczym. Umożliwia to efektywne odprowadzanie zanieczyszczeń wzbitych podczas procesu, przy jednoczesnym zachowaniu niewzruszonej warstwy proszku. Dysza ssąca zapewnia odprowadzenie odprysków poza pole robocze, dzięki czemu nieprzetopiony proszek można łatwiej poddać recyklingowi.

Rozwiązanie według wynalazku zapewnia warunki optymalne do przetapiania proszku w miejscu skanowania, z pominięciem reszty obszaru roboczego, gdzie w danej chwili proszek nie jest obrabiany. W znanych rozwiązaniach zapewnienie jednorodnych warunków na całym obszarze roboczym, takich jak przepływ gazu o dużej prędkości, czy jednorodny rozkład temperatury, jest trudne. Układ według wynalazku, z ruchomą platformą ze szczeliną roboczą, zawęża strefę, w której trzeba zapewnić w danej chwili optymalne warunki.

Ruch posuwisto-obrotowy układu pozwala na obrót szczeliny roboczej na każdej obrabianej warstwie o zadany kąt, co zapobiega delaminacji obiektu. Kąt obrotu może być dostosowany do wymagań związanych z żądanym skurczem i anizotropią właściwości materiału. Ponadto, sterowanie kątem obrotu szczeliny pozwala na uzyskanie na jednej warstwie ścieżek o różnych kierunkach w celu redukcji naprężeń własnych, czyli uzyskanie wzoru szachownicy.

Nagrzewnica umieszczona na platformie nagrzewa wierzchnią warstwę proszku, co umożliwia zredukowanie naprężeń własnych wytwarzanego elementu bez jednoczesnych zmian mikrostrukturalnych w całej jego objętości i jednocześnie umożliwia zachowanie nierównowagowej struktury w objętości materiału. Układ może zawierać dwie nagrzewnice: nagrzewnica umieszczona przed szczeliną

roboczą rozgrzewa proszek przed laserową obróbką, a nagrzewnica umieszczona za szczeliną roboczą wspomaga odprężenie materiału po laserowej obróbce.

W rezultacie, rozwiązanie według wynalazku:

- zmniejsza odchylenie standardowe gęstości elementów seryjnych wytworzonych na platformie roboczej;
- zmniejsza odchylenie standardowe chropowatości elementów seryjnych wytworzonych na platformie roboczej;
- zmniejsza różnice w porowatości elementów na różnym etapie wytwarzania, czym zapobiega anizotropii właściwości mechanicznych;
- zwiększa stabilność procesu wytwarzania poprzez jednorodną ilość energii dostarczoną przez laser na całej powierzchni roboczej, czym zapobiega delaminacji elementów;
- zmniejsza koszty materiałowe produkcji poprzez zmniejszenie zużycia proszku wykorzystywanego podczas procesu oraz gazu roboczego pełniącego rolę atmosfery ochronnej;
- zmniejsza energochłonność procesu poprzez optymalizację wykorzystywanej do procesu mocy lasera; poprzez lepszą kontrolę procesu można otrzymywać elementy o gęstości zbliżonej do teoretycznej przy wykorzystaniu mniejszej mocy lasera;
- redukuje naprężenia własne elementu;
- zapewnia wyższą czystość metalurgiczną;
- ułatwia ponowne wykorzystanie nieprzetopionego proszku.

Układ według wynalazku został bliżej przedstawiony na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia widok schematyczny układu z platformą dwuczęściową, Fig. 2 przedstawia powiększony widok układu z platformą dwuczęściową, Fig. 3 przedstawia widok schematyczny układu z platformą jednoczęściową obrazujący różne położenia platformy w trakcie pracy, Fig. 4 przedstawia powiększony widok układu z platformą jednoczęściową, Fig. 5 przedstawia rozkład prędkości gazu nad polem roboczym, a Fig. 6 przedstawia porównanie charakterystyk prędkości gazu osłonowego dla istniejących rozwiązań oraz dla rozwiązania według wynalazku.

Rozwiązanie przedstawione na Fig. 1, Fig. 2 posiada komorę roboczą 1 wyposażoną w dwie prowadnice 2a i 2b. Nad polem roboczym 3, na którym znajduje się podawany spiekaniu proszek, jest umiejscowiona dwuczęściowa platforma robocza 4. Środkowa część 4a platformy ma możliwość ruchu obrotowego, jak pokazano na Fig. 1. Zewnętrzna część 4b platformy jest połączona z elementami jezdnyymi 5, poruszającymi się po prowadnicach 2a i 2b. W obrotowej części 4a platformy znajduje się szczelina robocza 6 o szerokości 5 mm. Wzdłuż szczeliny roboczej 6, po jej dwóch stronach, znajdują się: dysza tłocząca 7 i dysza ssąca 8. Wlot gazu został oznaczony na Fig. 1 jako 7a, a wylot gazu jako 8a. Dysze ssąca i tłocząca są umiejscowione na wysokości 3 mm nad polem roboczym 3. Z platformą 4 połączone są dwie nagrzewnice 9, usytuowane po dwóch stronach szczeliny roboczej 6, za dyszą tłoczącą 7 i dyszą ssącą 8. Wiązka lasera 10 jest kierowana do szczeliny roboczej 6 przez układ skanujący laser 11. Platforma 4 jest połączona z układem mechanicznym zapewniającym ruch posuwisto-obrotowy platformy, niewidocznym na rysunku.

Rozwiązanie przedstawione na Fig. 3, Fig. 4 posiada komorę roboczą 1 wyposażoną w dwie prowadnice 2a i 2b. Nad polem roboczym 3, w którym znajduje się podawany spiekaniu proszek, jest umiejscowiona platforma robocza 4 połączona z elementami jezdnyymi 5 za pośrednictwem przegubów 12. W środkowej części platformy 4 znajduje się szczelina robocza 6 o szerokości 5 mm. Wzdłuż szczeliny roboczej 6, po jej dwóch stronach, znajdują się: dysza tłocząca 7 i dysza ssąca 8. Wlot gazu został oznaczony na Fig. 2 jako 7a, a wylot gazu jako 8a. Dysze ssąca i tłocząca są umiejscowione na wysokości 3 mm nad polem roboczym 3. Z platformą 4 połączone są dwie nagrzewnice 9, usytuowane po dwóch stronach szczeliny roboczej 6, za dyszą tłoczącą 7 i dyszą ssącą 8. Wiązka lasera 10 jest kierowana do szczeliny roboczej 6 przez układ skanujący lasera 11. Platforma 4 jest połączona z układem mechanicznym zapewniającym ruch posuwisto-obrotowy platformy, niewidocznym na rysunku. Składowa obrotowa ruchu platformy jest realizowana za pomocą przegubów.

Układ przedstawiony na Fig. 1, Fig. 2 działa w następujący sposób.

Na polu roboczym 3 układu nagarniacz proszku nakłada jednorodną warstwę proszku, a następnie wycofuje się do pozycji początkowej. Następnie nad polem roboczym 3 przesuwa się platforma 4. W czasie jej ruchu dyszą tłoczącą 7 tłoczony jest gaz osłonowy, a wiązka lasera skanuje proszek w szczelinie roboczej 6, dysza ssąca 8 porywa zanieczyszczenia wzbite podczas procesu, a jednocześnie nagrzewnice 9 utrzymują temperaturę obrabianej warstwy powyżej temperatury rekrytalizacji. Po przejechaniu całego pola roboczego 3 platforma 4 wycofuje się, a szczelina 6 zmienia

kąt względem prowadnic o zadaną wartość. Pole robocze 3 zostaje obniżone o grubość warstwy proszku i proces powtarza się.

Schemat porywania zanieczyszczeń 13 nad polem roboczym podczas spiekania przedstawiono na Fig. 5.

Przeprowadzono także badanie porównawcze rozkładu prędkości gazu dla urządzeń, w których gaz przepływa przez całą komorę (a), lub gdy dysza nadmuchowa podąża za laserem (b), oraz dla rozwiązania według wynalazku w wersji przedstawionej na Fig. 1, Fig. 2 (c). Porównanie charakterystyk prędkości gazu osłonowego dla układów (a), (b) i (c) przedstawiono na Fig. 6.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ roboczy do laserowej obróbki proszków w komorze roboczej urządzenia do laserowej obróbki proszków wyposażony w system zapewniający przepływ gazu obojętnego nad proszkiem oraz w kolektor rozprysków składający się z układu dwóch dysz: dyszy tłoczącej i dyszy ssącej, **znamienny tym**, że na dnie komory roboczej (1) urządzenia umiejscowione są prowadnice (2) z elementami jezdnyymi (5) połączonymi z platformą (4), w której znajduje się szczelina robocza (6), a dysza tłocząca (7) i dysza ssąca (8) kolektora rozprysków są umiejscowione wzdłuż szczeliny roboczej (6) po jej dwóch stronach, a ponadto wzdłuż szczeliny roboczej (6), za dyszą tłoczącą (7) i/albo dyszą ssącą (8), znajduje się nagrzewnica (9) połączona z platformą (4), przy czym platforma (4) jest połączona z układem mechanicznym zapewniającym ruch posuwisto-obrotowy platformy (4).
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że szczelina robocza (6) ma szerokość nie większą niż 20 mm, a dysze ssąca (7) i tłocząca (8) są umiejscowione na wysokości nie wyższej niż 5 mm nad polem roboczym (3) ze spiekany proszkiem.
3. Układ według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że platforma (4) składa się z dwóch części, przy czym część platformy (4a), w której znajduje się szczelina robocza (6) jest obrotowa, a część (4b) jest połączona z elementami jezdnyymi (5).
4. Układ według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że platforma (4) jest jednoczęściowa i jest połączona za pomocą przegubów (12) z elementami jezdnyymi (5).

Rysunki

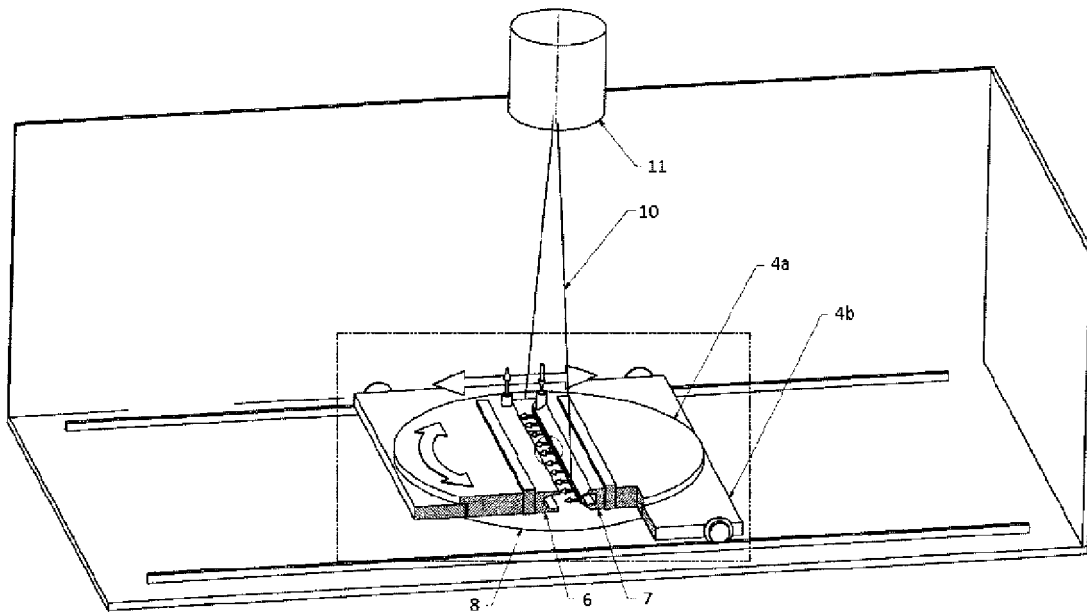


Fig. 1

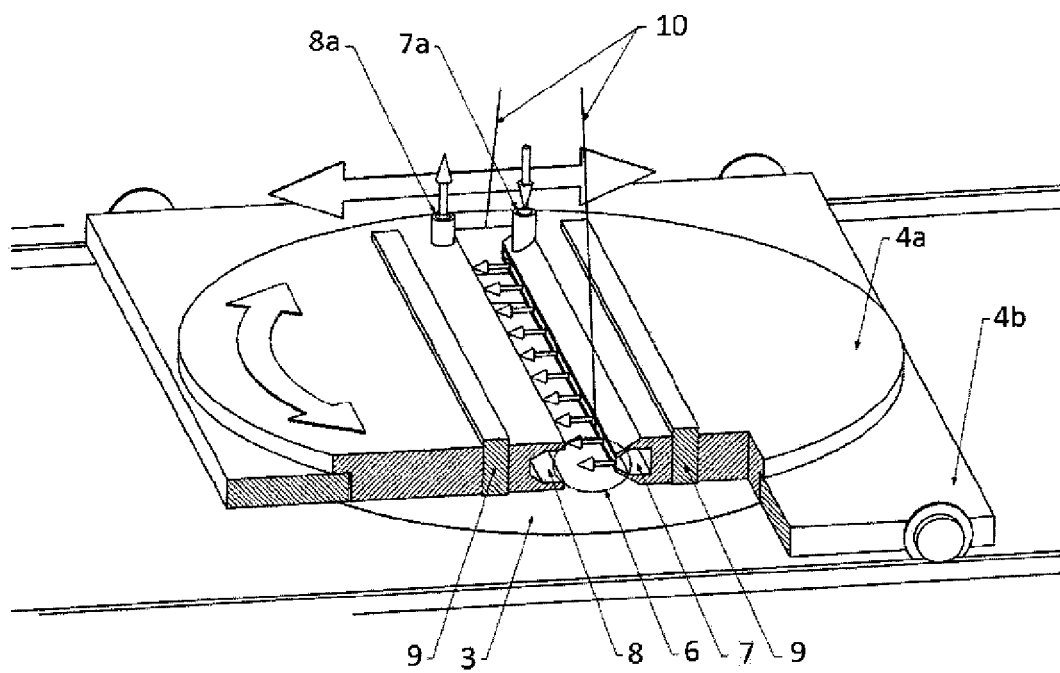


Fig. 2

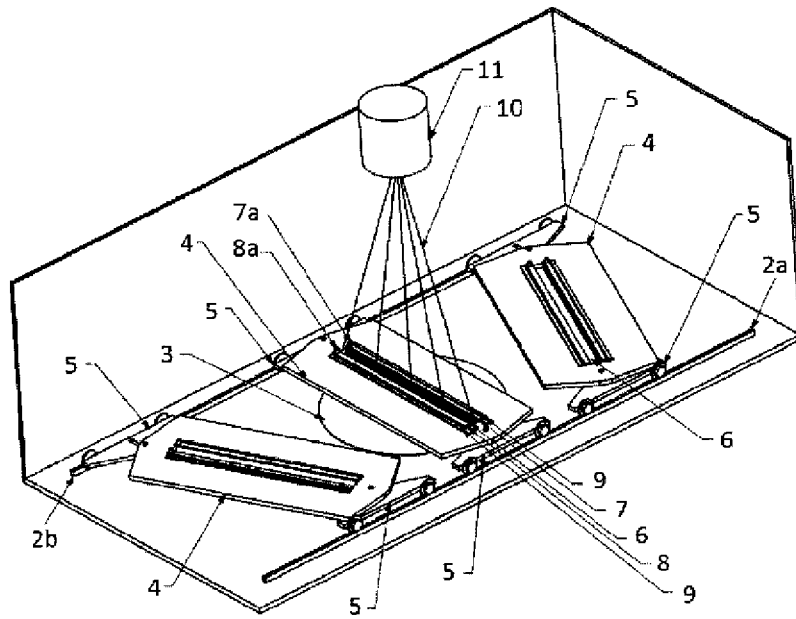


Fig. 3

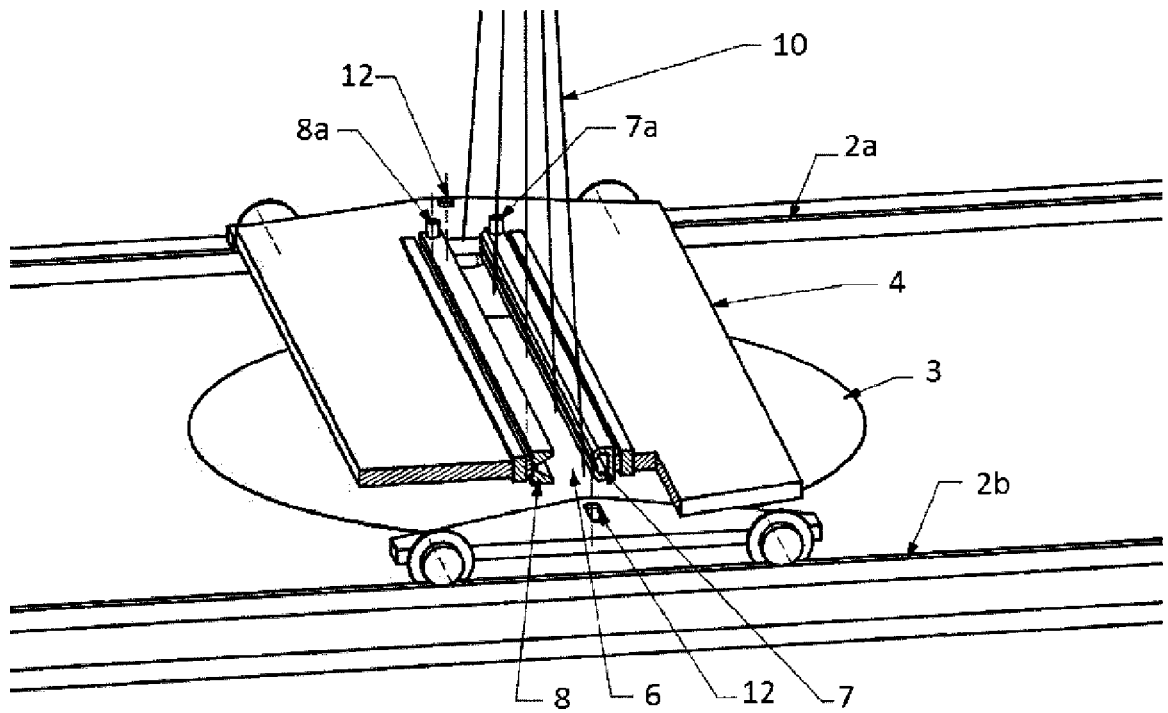


Fig. 4

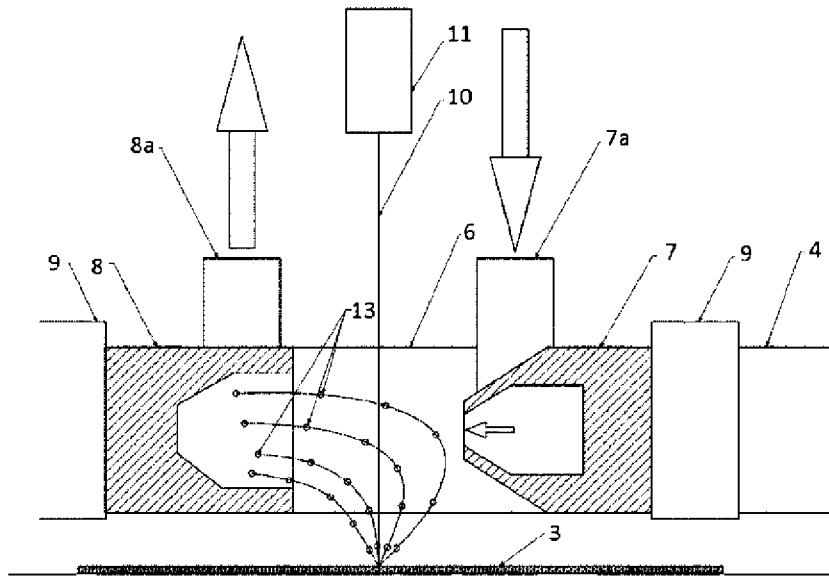


Fig. 5

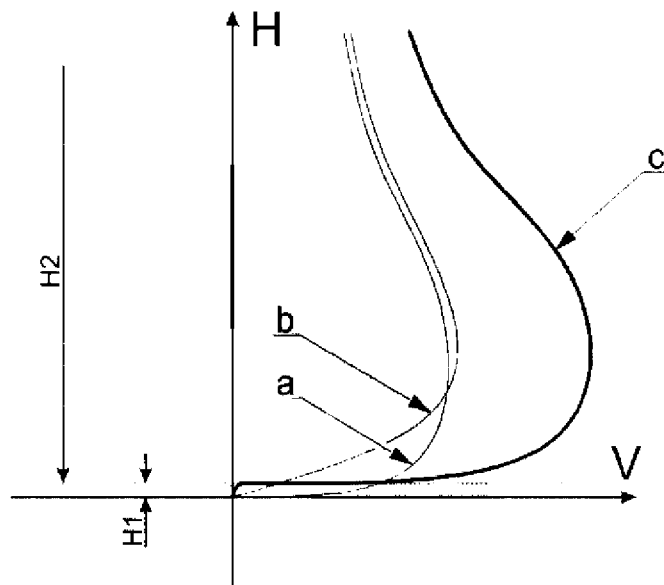
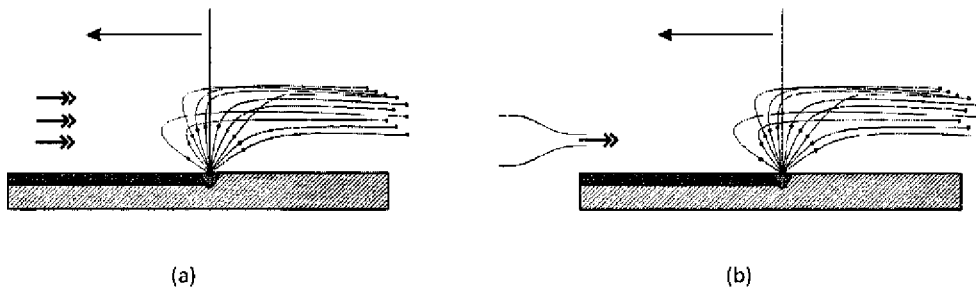


Fig. 6