

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 247935 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **441817**

(22) Data zgłoszenia: **2022.07.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.01.29 BUP 05/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.09.15 WUP 37/2025**

(51) MKP:

B22F 9/08 (2006.01)

B05B 17/06 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

PAWEŁ SOKOŁOWSKI, Wrocław, PL

MARCIN KORZENIOWSKI, Sobótka, PL

PAWEŁ KUSTROŃ, Mirków, PL

TOMASZ PIWOWARCZYK, Wrocław, PL

ADAM SAJBURA, Włoszakowice, PL

TOMASZ WOJDAT, Bogdaszowice, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Marek Bury, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Układ do ultradźwiękowej atomizacji proszków metali i stopów metali

PL 247935 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ do ultradźwiękowej atomizacji proszków metali i stopów metali znajdujących zastosowanie w procesach technologicznych tj. w procesach wytwarzania – technologie addytywne oraz procesy spiekania, w inżynierii powierzchni – technologie natryskiwania cieplnego i napawania, jak również w technologiach spajania materiałów. Rozwój wymienionych technologii powoduje konieczność podniesienia jakości materiałów proszkowych w zakresie produkcji, zwiększenia ich dostępności oraz różnorodności.

Na rynku istnieje bardzo duże zapotrzebowanie na materiały proszkowe o wysokiej jakości, dedykowane konkretnym procesom technologicznym. Wymaganiom i oczekiwaniom obecnego rynku proszków metali i stopów metali odpowiada niniejszy wynalazek.

Wg normy PN-EN ISO 3252:2019-12 proszek rozumiany jest jako materiał sypki o wielkości pojedynczych cząstek nieprzekraczających 1 mm. Istnieje wiele możliwości wytwarzania proszków, są to metody mechaniczne, fizyczne, fizykomechaniczne, chemiczne czy fizykochemiczne. Ze względu na charakterystykę są one dedykowane do pewnych grup materiałowych, a sam przebieg procesu istotnie wpływa na mechanizm formowania i tym samym właściwości proszków.

Pierwsze opisy w zakresie sposobów wytwarzania materiałów proszków metali znane są od kilkudziesięciu lat. W amerykańskim opisie wynalazku US2892215A wspomniano kwestię możliwości produkcji proszków metali, w tym przypadku głównie żelaza, w procesie atomizacji stopionego metalu za pomocą strugi wody podawanej pod dostatecznym ciśnieniem. Dokument US2795819A opisuje proces i aparaturę do wytwarzania proszków o bardzo małym rozmiarze i wolnych od tlenków. W zaproponowanym procesie materiał topiony jest w łuku elektrycznym jarzącym się pomiędzy topionym materiałem a grafitową elektrodą. Proces odbywa się w atmosferze gazu ochronnego, a spadające krople metalu trafiają do zbiornika wypełnionego obojętnym płynem, np. oczyszczoną naftą. W sposobie ujawnionym w US41207588A opisano wytwarzanie proszków metali i stopów metali w procesie osadzania galwanicznego. Przedstawiono zamysł urządzenia, w którym możliwe jest wytwarzanie szerokiej gamy materiałów, w tym o złożonym składzie chemicznym i wolnych od tlenków. Z kolei w dokumencie US2587614A poruszono kwestię atmosfery ochronnej w urządzeniu, w której może odbywać się proces wytwarzania materiałów proszkowych na skutek natryskiwania, atomizacji czy odparowywania.

Jednym z głównych procesów rozwijanych na przestrzeni kilkudziesięciu lat w kontekście wytwarzania materiałów proszkowych jest proces atomizacji, głównie strugą gazu lub wody. Jedną z pierwszych metod atomizacji opracowanych na rzecz produkcji proszków była atomizacja strugą cieczy, opisywana w US4080126A. Z kolei w dokumencie US4401609A opisano proces, w którym stopiony metal uderza w strumienie cieczy pod wysokim ciśnieniem. Amerykański wynalazek US4988464A opisuje zaś proces oraz urządzenia do klasycznej atomizacji gazowej, czyli produkcję proszków metali i stopów metali za pomocą atomizacji strugi ciekłego metalu sprężonym gazem.

Od tego czasu powstało wiele procesów rozwijających wspomniane koncepcje. W dokumencie PL/EP3116636 opisano proces i urządzenie do topienia plazmowego materiału o kształcie podłużnym, a następnie zaproponowano poddanie go atomizacji gazowej. W DE4005696A1 pokazano możliwości wykorzystania obu rodzajów atomizacji, gdzie materiał jest w pierwszej kolejności poddawany atomizacji gazowej, a następnie atomizacji strugą cieczy.

Znane są również inne sposoby atomizacji w kontekście wytwarzania proszków, m.in. w dokumencie US4731517A opisano możliwość uzyskania atomizacji uzyskanej na skutek uderzenia przyspieszonej strugi cząstek w powierzchnię napędzanej taśmy bądź dysku. Natomiast w WO2015110668A2 oraz US3720737A opisano możliwość produkcji proszków metali i stopów na skutek atomizacji wywołanej siłą odśrodkową, gdzie ciekły metal kierowany jest na odpowiednio ukształtowaną, wirującą tarczę. W amerykańskim wynalazku US3009205A opisano wytwarzanie proszku metalicznego, gdzie opadający strumień stopionego metalu jest poddawany rozpylaniu strumieniami cieczy. Strumienie cieczy rozpylającej są zasadniczo tak ukierunkowane, aby zbiegały się ze wspomnianym strumieniem w tym samym kierunku, choć w zależności od konstrukcji dyszy rozpylającej mogą być podawane m.in. pod różnymi kątami.

Badania nad atomizacją płynnego metalu poprzez użycie narzędzi ultradźwiękowych trwają już od lat, a rozwiązanie to opisują między innymi patenty:

WO2004/048001A1, WO2021/033128A1, US 8.944.344B2 oraz US 8.979.000B2. Opis patentowy PL237649B1 przedstawia natomiast sposób wytwarzania sonotrod zwilżanych przez ciekłe metale. Zastosowana obróbka dyfuzyjna, przeprowadzana jest za pomocą źródła plazmowego lub laserowego

z jednoczesnym chłodzeniem sonotrody. Taki sposób wykonania sonotrody skutkuje tym, że materiał z jakiego wykonana jest końcówka robocza takiej sonotrody ma temperaturę topnienia powyżej 2200 K.

W europejskim patencie EP0308933B1 znajdują się informacje na temat atomizacji strugi ciekłego metalu za pomocą fali stojącej, propagowanej w ośrodku gazowym. Metal topiony jest w tyglu, następnie stopiony metal formowany jest w cienką strugę skierowaną precyzyjnie w węzeł fali stojącej. Następnie wysokie ciśnienie tam panujące powoduje zjawisko atomizacji i rozdrabniania opisywanej strugi materiału.

Patent EP3766611A3 przedstawia sposób wytwarzania proszków metali ciężkich z użyciem atomizacji ultradźwiękowej. Materiał, z którego wytwarzany jest proszek topi się w obszarze łuku elektrycznego, a następnie ulega procesowi atomizacji w obszarze sonotrody ultradźwiękowej, która jednocześnie jest jedną z elektrod, pomiędzy którymi jarzy się łuk elektryczny.

Rozwiązanie oznaczone numerem WO2019/092641A1 opisuje urządzenie wytwarzające sferyczne proszki metali z użyciem atomizacji ultradźwiękowej. Urządzenie składa się z układu topienia, komory roboczej, przetwornika piezoelektrycznego zakończonego chłodzoną sonotrodą.

Patent PL429907 przedstawia sonotrodę do pracy z ciekłymi metalami oraz sposób obróbki ciekłych metali. Rozwiązanie umożliwia atomizację oraz stopowanie metali.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest układ do ultradźwiękowej atomizacji proszków metali i stopów charakteryzujący się tym, że w górnej części komory umocowany jest układ topienia indukcyjnego, a poniżej układu topienia indukcyjnego, na jego osi znajduje się układ atomizacji ultradźwiękowej, który ma zapewnioną ruchliwość na co najmniej dwóch stopniach swobody względem układu topienia indukcyjnego umożliwiającą zmianę odległości pomiędzy tymi dwoma układami oraz ich położenia kątownego. Ruchliwość tego układu nadal zapewnia położenie na osi układu topienia indukcyjnego, przy czym do dolnej części komory doprowadzony jest układ separacji połączony z układem filtracji, który z kolei połączony jest z układem recyrkulacji, natomiast do układu topienia indukcyjnego doprowadzone jest źródło zasilające, a do układu atomizacji ultradźwiękowej doprowadzony jest układ stabilizacji temperatury, układ sterowania oraz generator ultradźwiękowy.

Korzystnie układ topienia indukcyjnego składa się z dedykowanego i sterowalnego układu podającego materiał przeznaczony do atomizacji, którego zadaniem jest stabilne przesunięcie materiału w obszar cewki indukcyjnej, przy czym w układzie zastosowany jest dodatkowy niemetalowy i odporny na wysoką temperaturę element prowadzący materiał.

Korzystnie ultradźwiękowy układ rozpylania jest tak skonstruowany, że narzędzie robocze może mieć różną geometrię: prostokątną, kołową i kształty zbliżone oraz stosunkowo małą powierzchnię począwszy już od ok. 20 mm średnicy dla narzędzia o kształcie kołowym, adekwatnie w przypadku innych kształtów.

Przedmiot wynalazku przedstawiono w przykładzie jego wykonania oraz na rysunkach, na których Fig. 1 przedstawia układ do atomizacji proszków metali i stopów, Fig. 2 przedstawia układ topienia indukcyjnego, Fig. 3 przedstawia układ rozpylania dźwiękowego.

Przykład

W układzie do ultradźwiękowej atomizacji proszków metali i stopów realizowane jest połączenie procesu topienia indukcyjnego materiału wsadowego oraz późniejszej ultradźwiękowej atomizacji w celu wytwarzania proszków metali oraz stopów metali o pożądanej charakterystyce. Pierwszy etap procesu polega na stopieniu i wstępnym uformowaniu materiału w wąską strugę kropel za pomocą nagrzewnicy indukcyjnej. Następnie stopiony materiał poddany jest dalszej atomizacji ultradźwiękowej. Proces charakteryzuje się tym, że realizowany jest w komorze 1, która zapewnia możliwość pozycjonowania głównych układów roboczych, czyli układu topienia indukcyjnego 2 oraz układu atomizacji ultradźwiękowego 3, a także umożliwia bezpieczne przeprowadzenie procesu w kontrolowanej atmosferze. Układy robocze powinny być odpowiednio usytuowane względem siebie, to jest osiowo, jak i względem komory. Co najmniej jeden z układów powinien mieć zapewnioną ruchliwość, o co najmniej dwóch stopniach swobody, w tym przypadku układ ultradźwiękowy. Ponadto komora wyposażona jest w układ recyrkulacji gazu 4 oraz filtracji 5 i separacji 6 wytworzonego proszku metalu lub stopu metalu od gazu roboczego. W celu zapewnienia ciągłego i stabilnego procesu atomizacji proszków wybrane elementy robocze układu ultradźwiękowego są chłodzone 7. Praca układu atomizacji jest kontrolowana poprzez mikroprocesorowy układ sterowania 8, zapewniający synchronizację oraz zadawanie parametrów procesów składowych, w tym sterowany jest generator ultradźwiękowy 9 oraz źródło prądowe zasilające układ topienia indukcyjnego 10. Układ topienia indukcyjnego 2 umieszczony jest w górnej części komory i dostosowany jest do ciągłego topienia drutów i prętów metali lub stopów metali o średnicy od 0,8 mm do

5 mm i składa się ze źródła prądu przemiennego, układu dopasowującego, tj. transformatora wraz z cewką indukcyjną 13, oraz wymiennikowego układu chłodzenia wodnego. W urządzeniu zachodzi przetworzenie energii elektrycznej w energię pola magnetycznego a następnie w energię cieplną, wydzielaną w podawanym automatycznie drucie lub pręcie wskutek przepływu prądów wirowych o dużej gęstości i częstotliwości. Prądy te indukowane są przez odpowiednio ukształtowaną cewkę indukcyjną i generowane pole elektromagnetyczne. Kształt cewki (jej rozmiar i ilość zwojów) jest dopasowany do średnicy materiału wsadowego, a także założonej prędkości podawania/topienia materiału wsadowego.

Opisywany proces produkcji proszku rozpoczyna się poprzez podanie materiału wsadowego, który może być w formie drutu lub pręta o średnicy w przedziale od 0,8 mm do 5 mm 11. Materiał podawany jest poprzez dedykowany i sterowalny układ podający 12, którego zadaniem jest stabilne przesunięcie materiału w obszar pola magnetycznego, do cewki indukcyjnej 13, gdzie wskutek oddziaływania prądów wirowych następuje proces topienia. Przeniesienie ruchu pomiędzy układem napędowym w podajniku a materiałem wsadowym realizowane jest przez rolki podające (zwyczajowo dwie lub cztery). Układ ten może być pchający, ciągnący lub pchająco-ciągnący. Prędkość podawania materiału dobierana jest w zależności od średnicy materiału, mocy elektrycznej i konstrukcji układu indukcyjnego, a także oczekiwanej ilości topionego materiału. Może przyjmować wartość w zakresie od 0,1 m/min do 8 m/min. Materiały podawane są dedykowanym pakietem do układu topienia. W momencie uruchomienia układu podającego, końcówka materiału zostaje wprowadzona w światło cewki indukcyjnej, gdzie jest nagrzewana do temperatury topienia. W celu zapewnienia dokładnego pozycjonowania materiału w cewce indukcyjnej oraz uniknięcia ryzyka zwarcia materiału wsadowego i zwojów cewki, zastosowana jest dodatkowa niemetalowa i odporna na wysoką temperaturę (np. ceramiczna) tuleja prowadząca materiał 14. Cewka indukcyjna 13 zamocowana na pewnym dystansie od korpusu 15 nagrzewnicy indukcyjnej zasilana jest poprzez układ dopasowujący (transformator) z generatora 16. Układ ten zapewnia uzyskanie optymalnego dopasowania źródła zasilania do obciążenia (materiału wsadowego), zmniejszenia strat w liniach przesyłowych, złagodzenia skutków zwarć międzyzwojowych. Ze względu na duże obciążenie prądowe i cieplne cewka indukcyjna jest ponadto stale wewnętrznie chłodzona cieczą. Sterowanie mocą wyjściową urządzenia odbywa się pośrednio poprzez zadawanie i regulowanie napięcia falownika, który jest przemiennikiem częstotliwości.

Stopiony materiał wsadowy w formie odpowiednio ukształtowanej strugi kropeł metalu kierowany jest na układ atomizacji ultradźwiękowej. Niezbędne jest zapewnienie odpowiedniej odległości pomiędzy układem topienia i układem atomizacji, ponieważ rozpylany materiał do momentu kontaktu z układem ultradźwiękowym powinien pozostać w postaci ciekłej. W zależności od zastosowanych materiałów oraz parametrów topienia, możliwe jest zachowanie odległości w zakresie 50 mm do 300 mm pomiędzy wylotem z cewki indukcyjnej, a powierzchnią drgającej sonotrody, tj. narzędzia roboczego kończącego ultradźwiękowy układ atomizacji.

Ultradźwiękowy układ atomizacji składa się z powierzchni drgającej 17 (np. w postaci tarczy) o amplitudzie drgań normalnych do powierzchni od 20 do 130 μm , i średnicy roboczej od 20 – 150 mm, wykonanej z materiałów pozwalających na pracę w wysokich temperaturach (powyżej 300°C) jak tytan, stale stopowe, ceramiki, oraz dowolne materiały z izolującymi powłokami ochronnymi. Powłoki mają zapobiegać przegrzaniu elementów drgających oraz osadzania na nich cząstek materiału rozpylanego. Ponadto układ składa się z sonotrody 18 zapewniającej odpowiednie sprzężenie powierzchni drgającej z układem ultradźwiękowym 3 oraz wzmocnienie amplitudy drgań, falowodu (boostera) 19 zapewniającego sprzężenie sonotrody 18 z układem drgającym oraz mocowanie i pozycjonowanie całego układu drgającego, a także przetwornika ultradźwiękowego 20 o modulowanej mocy znamionowej w zakresie od 0,1 do 4 kW i częstotliwości rezonansowej od 10 kHz do 150 kHz. Ultradźwiękowy układ atomizacji 3 jest ponadto wyposażony w układ stabilizacji temperatury w trakcie i po procesie, pozwalający na chłodzenie przetwornika 20, falowodu 19 oraz sonotrody 18 jak również chłodzenie/podgrzewanie powierzchni drgającej 17. Układ stabilizacji temperatury może być zrealizowany za pomocą nadmuchu dowolnego gazu o odpowiedniej temperaturze, opływu/przepłykiwania cieczą o odpowiedniej temperaturze, nagrzewania indukcyjnego, rezystancyjnego, mikrofalowego i innych.

Atomizacja ultradźwiękowa przebiega od strony fizyczno-mechanicznej jak opisano poniżej. Przetwornik ultradźwiękowy 20 pobudza do drgań element roboczy układu 17 w powierzchnię którego uderzają krople stopionego, przez układ indukcyjny, metalu lub stopu metalu. Przetwornik przekształca energię elektryczną na energię drgań ultradźwiękowych. Doprowadzona przez falowód akustyczny energia fal ultradźwiękowych, wywołuje na powierzchni narzędzia roboczego zjawiska kapilarno-kawi-

tacyjne, w wyniku czego następuje dezintegracja ciekłych lub wysoce uplastycznionych kropeł padającego materiału na mniejsze. Następnie, rozdrobnione krople, opadając grawitacyjnie na dno komory roboczej krzepną i głównie na skutek sił napięcia powierzchniowego tworzą proszek metalu o kulistym kształcie. Zjawiska zachodzące na powierzchni narzędzia tłumaczone są kilkoma hipotezami. Jedną z nich, która wyjaśnia zjawisko atomizacji ultradźwiękowej jest obecność tzw. „ciśnienia promieniowania” wywieranego przez czoło fali akustycznej występującej w ośrodku (falowodzie) lub na powierzchni rozgraniczającej dwa ośrodki o różnych impedancjach akustycznych (w przypadku atomizacji ultradźwiękowej dwa ośrodki tworzą: narzędzie do atomizacji oraz ciekła, wstępnie rozdrobiona cząstka). Ciśnienie promieniowania jest równe średniej wartości w czasie ciśnienia akustycznego fali bieżącej i równe jest średniej wartości gęstości energii przenoszonej przez falę. Odpowiada ono za wiele zjawisk związanych z zastosowaniem ultradźwięków o dużych mocach do zastosowań czynnych: np. za powstanie tzw. fontanny ultradźwiękowej czy wiatru akustycznego.

Wytwarzany opisywanym sposobem realizowanym przez układ według wynalazku materiał proszkowy charakteryzuje się kulistym lub zbliżonym do kulistego kształtem. Sterowanie parametrami oraz kontrola procesu topienia i atomizacji umożliwia kontrolowanie finalnego rozkładu wielkości produkowanych proszków oraz zawężenie rozkładu produkowanego proszku, a poprzez zapewnienie odpowiedniej atmosfery gazowej w komorze roboczej, możliwe jest znaczne ograniczenie stopnia utlenienia produkowanego proszku.

Zaletą układu do ultradźwiękowej atomizacji jest to, że możliwe jest uzyskiwanie znacznych wychyleń na powierzchni sonotrody, które intensyfikują zjawiska atomizacji/ na jej powierzchni. Jest to możliwe z uwagi na zastosowanie układu indukcyjnego topienia materiału wsadowego w postaci pręta lub drutu, dzięki czemu wytworzona struga jest naturalnie zawężona, dzięki czemu średnica tarczy drgającej może być zminimalizowana.

Układ do ultradźwiękowej atomizacji proszków metali i stopów metali to zintegrowane dwa układy. Pierwszy to układ topienia indukcyjnego 2 materiałów, który odpowiedzialny jest za efektywne stopienie materiałów w postaci drutów lub prętów i pierwotne, zgrubne, uformowanie strugi kropeł materiału. Drugi to układ atomizacji ultradźwiękowej 3, który jest odpowiedzialny za zmniejszenie wielkości padających kropeł metalu, a dobór parametrów pracy tego układu umożliwia efektywną kontrolę rozkładu wielkości wytwarzanych materiałów proszkowych. Ponadto, układy te zintegrowane są w komorze do rozpylania proszków, w której możliwe jest wygenerowanie odpowiedniej atmosfery gazowej do przeprowadzenia procesu i która zapewnia również możliwość instalacji dodatkowych urządzeń diagnostycznych oraz podzespołów do sterowania procesem, a także zapewnia możliwość przeprowadzenia procesu w kontrolowanych i bezpiecznych warunkach.

W układzie materiał wsadowy 11 jest w postaci pręta lub drutu o średnicy w zakresie 0,8 mm do 5 mm i poprzez odpowiednią konstrukcję układu podawania i topienia indukcyjnego 2 materiału (w tym głównie odpowiednią budowę cewki indukcyjnej) możliwe jest zapewnienie ciągłego procesu topienia materiału. W zależności od prędkości podawania materiałów (w zakresie 0,1 m/min do 8 m/min) i zadanych parametrów prądowych, stopiony materiał przyjmuje postać pojedynczych kropeł bądź też ciągłej strugi metalu lub stopu metalu.

Ponadto indukcyjnie stopiony drut/pręt w postaci kropeł bądź strugi metalu/stopu metalu kierowany jest na powierzchnię drgającej sonotrody 17. Następnie, na skutek działania fali ultradźwiękowej, dochodzi do atomizacji i znacznego rozdrobnienia kropeł materiału rozpylonego i w efekcie, uzyskanie proszku metalu/stopu metalu o pożądanej charakterystyce oraz wysoce kulistym kształcie.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do ultradźwiękowej atomizacji proszków metali i stopów **znamienny tym**, że w górnej części komory (1) umocowany jest układ topienia indukcyjnego (2), a poniżej układu topienia indukcyjnego (2), na jego osi znajduje się układ atomizacji ultradźwiękowej (3), który ma zapewnioną ruchliwość na co najmniej dwóch stopniach swobody względem układu topienia indukcyjnego (2), umożliwiającą zmianę odległości pomiędzy tymi dwoma układami oraz ich położenia kątownego, przy czym ruchliwość ta nadal zapewnia położenie na osi układu topienia indukcyjnego (2), przy czym do dolnej części komory (1) doprowadzony jest układ separacji (6) połączony z układem filtracji (5), który z kolei połączony jest z układem recyrkulacji (4), natomiast do układu topienia indukcyjnego (2) doprowadzone jest źródło zasilające (10), a do

- układu atomizacji ultradźwiękowej (3) doprowadzony jest układ stabilizacji temperatury (7), układ sterowania (8) oraz generator ultradźwiękowy (9).
2. Układ według zastrz. 1 **znamienny tym**, że układ topnienia indukcyjnego (2) składa się z dedykowanego i sterowalnego układu podającego (12) materiał przeznaczony do atomizacji, którego zadaniem jest stabilne przesunięcie materiału w obszar cewki indukcyjnej (13), przy czym w układzie zastosowany jest dodatkowy niemetalowy i odporny na wysoką temperaturę element przewodzący materiał (14).
3. Układ według zastrz. 1 **znamienny tym**, że ultradźwiękowy układ rozpylania (3) jest tak skonstruowany, że narzędzie robocze (17) może mieć różną geometrię: prostokątną, kołową i kształty zbliżone oraz stosunkowo małą powierzchnię począwszy już od ok. 20 mm średnicy dla narzędzia o kształcie kołowym, adekwatnie w przypadku innych kształtów.

Rysunki

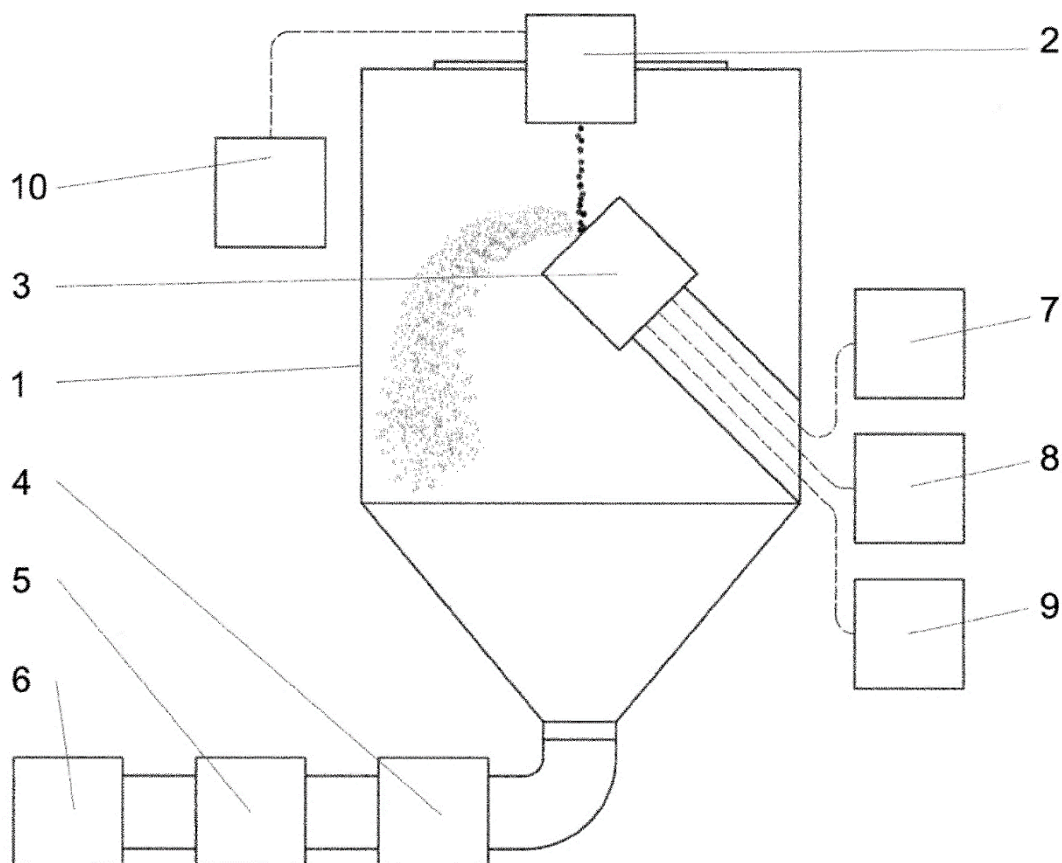


Fig. 1

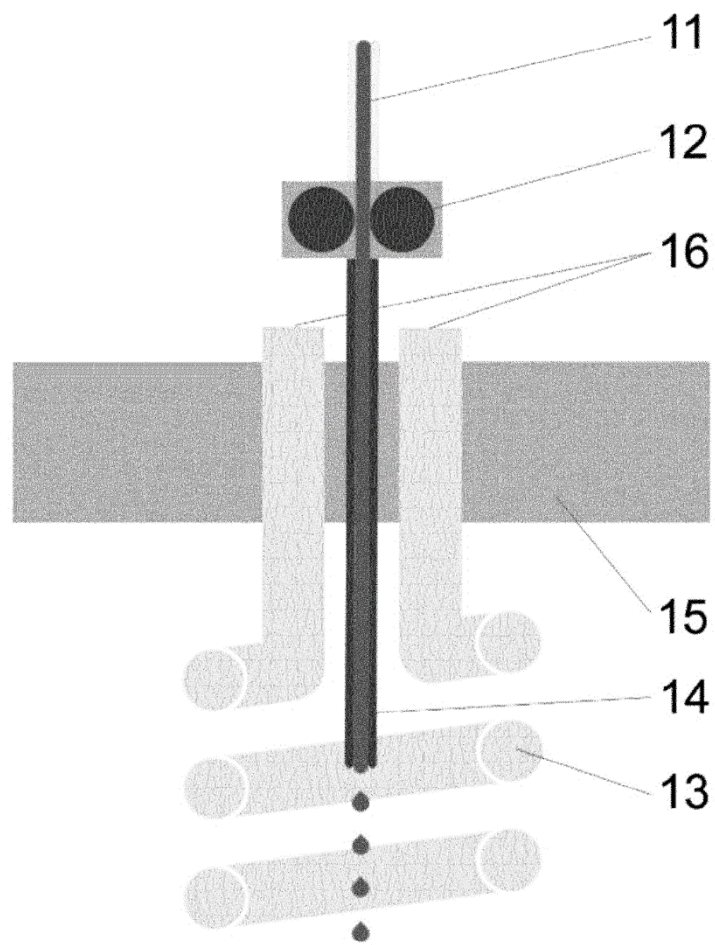


Fig. 2

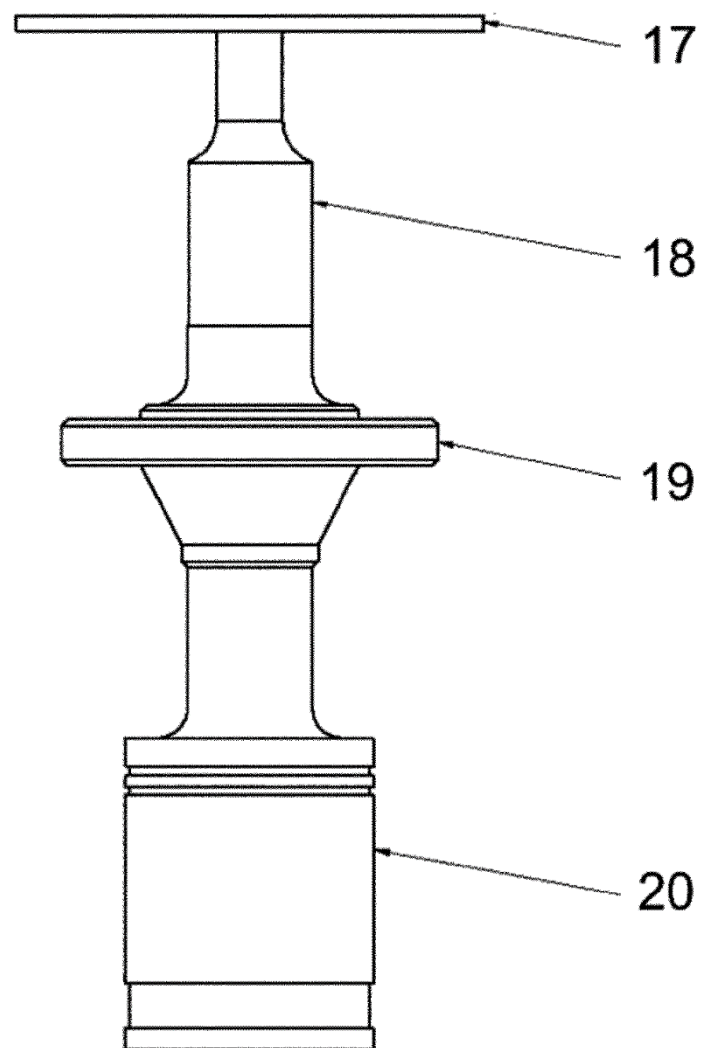


Fig. 3