

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247936 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **441819**

(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

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Marek Bury, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Urządzenie do wytwarzania proszków metali i stopów metali

PL 247936 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do wytwarzania proszków metali i stopów metali.

Rozwój technologii wytwarzania wykorzystujących materiały proszkowe, m.in. wytwarzania addytywnych, czy spiekania, jak i procesów inżynierii powierzchni, m.in. natryskiwania cieplnego, czy napaiania, powoduje konieczność podniesienia jakości w zakresie ich produkcji, zwiększenia różnorodności i dostępności materiałów proszkowych, czy rozwoju procesów wytwarzania „na żądanie”. Niniejszy wynalazek jest odpowiedzią na powyższe wymagania rynku proszków metali i stopów metali.

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 sposoby i opisy w zakresie wytwarzania materiałów proszków metali znane są od kilkudziesięciu lat, głównie z amerykańskich dokumentów patentowych. W opisie US2892215A poruszono kwestię możliwości produkcji proszków metali, głównie żelaza w procesie atomizacji ciekłego metalu strugą wody podawanej pod odpowiednim 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 US4120758A opisano wytwarzanie proszków metali i stopów metali w procesie osadzania galwaniczne oraz przedstawiono zamysł urządzenia, w którym możliwe jest wytwarzanie szerokiej gamy materiałów, w tym złożonych kompozycji multimateriałowych, 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 głównym 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 US4988464A opisano proces i urządzenie do klasycznej atomizacji gazowej, to jest produkcję proszków metali i stopów poprzez atomizację 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 dokumencie CN105618773A opisano proces i urządzenie wykorzystujące zwielokrotniony, potrójny układ atomizacji gazowej ciekłego metalu, co podnosi powtarzalność i stabilność procesu atomizacji oraz zwiększa możliwość kontroli wielkości wytwarzanych proszków.

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.

Niniejsze zgłoszenie dotyczy wtórnej atomizacji rozdrobnionych z użyciem znanego z rozwiązania WO97/36692 urządzenia do natryskiwania łukowego cząstek ciekłego metalu, za pomocą ultradźwiękowego narzędzia roboczego zasilanego ultradźwiękowym generatorem mocy, znanym z opisów patentowych, na przykład: US 9.622.749 B2 czy US 8.659.208 B1.

Atomizacja cieczy za pomocą narzędzi ultradźwiękowych rozwijana jest od lat i znana jest między innymi z patentów: US 8.944.344B2, US 8.979.000B2, WO2021/033128A1, czy WO2004/048001 A1.

W opisie patentowym PL237649B1 przedstawiono sposób wytwarzania sonotrod zwilżalnych przez ciekłe metale. Zastosowano w nim obróbkę dyfuzyjną, przeprowadzaną za pomocą źródła plazmowego lub laserowego z jednoczesnym chłodzeniem sonotrody. Sonotroda wykonana w ten sposób posiada końcówkę roboczą wykonaną z materiału o temperaturze topnienia powyżej 2200 K.

Patent europejski EP0308933B1 prezentuje możliwość zatomizowania strugi ciekłego metalu z wykorzystaniem zjawiska fali stojącej, propagowanej w ośrodku gazowym. Struga ciekłego metalu topionego w tyglu, skierowana jest precyzyjnie w węzeł fali stojącej (generowanej między prostopadłe skierowanymi płytami), w którym panuje wysokie ciśnienie powodujące zjawisko atomizacji i rozdrabniania opisywanej strugi materiału.

Zgłoszenie patentowe EP3766611A3 dotyczy sposobu wytwarzania proszków metali ciężkich za pomocą atomizacji ultradźwiękowej. Materiał wsadowy (z którego wytwarzany jest proszek) topiony jest w łuku elektrycznym, a następnie atomizowany przez sonotrodę, która jednocześnie stanowi jedną z elektrod, pomiędzy którymi jarzy się łuk elektryczny.

Rozwiązanie zarejestrowane pod numerem WO2019/092641A1 przedstawia urządzenie do wytwarzania sferycznych proszków metali z użyciem atomizacji ultradźwiękowej. Urządzenie składa się z układu topienia, komory roboczej, przetwornika piezoelektrycznego zakończonego chłodzoną sonotrodą.

W zgłoszeniu patentowym P_ 429907 (Urząd Patentowy RP) opisano sonotrodę do pracy z ciekłymi metalami, oraz sposób obróbki ciekłych metali. Rozwiązanie umożliwia atomizację oraz stopowanie metali.

Problemem jaki rozwiązuje przedmiotowy wynalazek jest możliwość produkcji proszków metali o wysokiej jakości i określonej charakterystyce (m.in. kontrolowana średnia wielkość, wąski rozkład wielkości, kształt, znikoma porowatość wewnętrzna, niski stopień utlenienia) w urządzeniu o kompaktowej wielkości. Ponadto, zarówno proponowany proces jak i urządzenie adresowane są do produkcji mało- oraz średniowolumenowej, co znacznie zwiększa możliwości rozwoju nowych kompozycji materiałów oraz możliwość szybkiego uruchomienia produkcji, w tym na żądanie, bez konieczności utrzymywania dużych stanów magazynowych materiałów proszkowych.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest urządzenie do wytwarzania proszków metali i stopów metali znamienne tym, że zbudowane jest z komory, która stanowi jednocześnie układ pozycjonujący główne elementy układu atomizacji, a w jej górnej części zamocowany jest układ topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego, a poniżej układu topienia i wstępnego rozpylania łukowego, w jego osi znajduje się układ rozpylania ultradźwiękowego. Co najmniej jeden z układów, ma zapewnioną ruchliwość, o co najmniej dwóch stopniach swobody. Do dolnej części komory doprowadzony jest układ separacji połączony z układem filtracji, który z kolei połączony jest z układem recyrkulacji, natomiast do układu topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego doprowadzone jest źródło zasilające, a do układu rozpylania ultradźwiękowego doprowadzony jest układ stabilizacji temperatury, układ sterowania oraz generator ultradźwiękowy.

Korzystnie układ topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego umieszczony jest w pokrywie lub dowolnej ścianie komory, oraz składa się z co najmniej dwóch elektrod topliwych, które jednocześnie są materiałami wsadowymi, układu podawania elektrod oraz dyszy gazu osłonowo-rozpylającego.

Korzystnie układ rozpylania ultradźwiękowego składa się z powierzchni drgającej połączonej z sonotrodą sprzężoną z falowodem wprawianym w drgania przez przetwornik ultradźwiękowy.

Korzystnie to układ ultradźwiękowy ma zapewnioną ruchliwość w dwóch stopniach swobody.

Przedmiot wynalazku został bliżej przedstawiony w przykładzie jego wykonania oraz na rysunkach, na których Fig. 1 przedstawia urządzenie do wytwarzania proszków metali i stopów metali, Fig. 2 przedstawia układ topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego, Fig. 3 przedstawia układ rozpylania ultradźwiękowego.

Przykład

Urządzenie do wytwarzania proszków metali i stopów metali charakteryzujące się tym, że zbudowane jest z komory 1, która stanowi jednocześnie układ pozycjonujący główne elementy układu atomizacji, a w jej górnej części zamocowany jest układ topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego 2, który jest osiowo zorientowany względem układu rozpylania ultradźwiękowego 3, przy czym co najmniej jeden z układów, korzystnie układ ultradźwiękowy 3 powinien mieć zapewnioną ruchliwość, o co najmniej dwóch stopniach swobody, natomiast do dolnej części komory 1 doprowadzony jest układ filtracji 4, układ separacji 5 i układ recyrkulacji 6. Układ topienia i wstępnego rozpylania łukowego 2 umieszczony

jest w pokrywie lub dowolnej ścianie komory 1, oraz składa się z co najmniej dwóch elektrod topliwych 11, które jednocześnie są materiałami wsadowymi, układu podawania elektrod 12 oraz dyszy gazu osłonowo-rozpylającego 13. Układ rozpylania ultradźwiękowego składa się z powierzchni drgającej 17 połączonej z sonotrodą 18 sprzężonej z falowodem 19 który jest wprawiany w drgania przez przetwornik ultradźwiękowy 20.

Proces produkcji proszku rozpoczyna się poprzez podanie materiałów wsadowych, które mogą być w formie drutów lub prętów o średnicy w przedziale od 0,8 mm do 5 mm. Niezbędne jest równoczesne podanie dwóch materiałów. Materiały podawane są poprzez niezależny, sterowany układ podający, a elementami roboczymi tego układu są rolki (układ jedno- lub dwuroolkowy) dociskane do materiału. Układ ten może być pchający, ciągnący lub pchająco-ciągnący, wówczas jest zintegrowany z układem topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego 2. Prędkość podawania materiałów, dobierana w zależności od średnicy materiału i oczekiwanej ilości topionego materiału, może przyjmować wartość w zakresie od 0,1 m/min do 10 m/min. Materiały podawane są niezależnymi przewodami 14 do układu topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego 2 oraz zasilane są prądem stałym o różnej polaryzacji. W momencie uruchomienia układu podającego, końcówki obu materiałów zbliżają się, co skutkuje zajarzeniem pomiędzy nimi łuku elektrycznego 15. Łuk ten jest nośnikiem energii i jest bezpośrednio odpowiedzialny za topienie podawanych materiałów. W zależności od rodzaju materiału, średnicy oraz prędkości podawania, parametry prądowe niezbędne do efektywnego i całkowitego stopienia materiałów mogą być w zakresie: napięcie 10 V – 50 V oraz natężenie prądu 50 A – 400 A. Układ topienia i wstępnego rozpylania łukowego charakteryzuje się również tym, że w głowicy 16 jest niezależny kanał, którym doprowadzany jest do strefy topienia materiału sprężony gaz 13. Zostaje on doprowadzony przez niezależną dyszę i powoduje wstępną atomizację topionych materiałów. Ze względu na aspekty ekonomiczne, jak również ze względu na finalne właściwości kropelek uzyskiwanych po wstępnej atomizacji, w tym wielkość czy stopień utlenienia, możliwe jest wykorzystanie jako gazów atomizujących m.in. powietrza, argonu, czy azotu. W celu uzyskania zjawiska atomizacji konieczne jest doprowadzenie sprężonego gazu pod ciśnieniem w zakresie 0,5 bara – 10 barów oraz zapewnienie natężenia przepływu sprężonego gazu w zakresie 100 l/min – 2500 l/min. Wstępnie zatomizowana struga charakteryzuje się według wynalazku tym, że materiał jest w pełni stopiony i uformowany jest strumień niezależnych kropelek metalu lub stopu metalu. Geometria strumienia przyjmuje stożek, a kąt wierzchołkowy może być sterowany poprzez zmianę parametrów prądowych, parametrów doprowadzanego gazu, jak i poprzez samą konstrukcję układu rozpylającego (średnica i kształt dyszy gazowej, sposób doprowadzenia strumienia sprężonego gazu: osiowo lub promieniowo). Kąt ten może zostać również dobrany z uwzględnieniem średnicy tarczy w układzie wtórnej atomizacji, ponadto możliwa jest efektywna nastawa kąta w oparciu o dobór wymienionych parametrów, w zakresie 8 do 20 stopni.

Stopiony materiał wsadowy, w formie odpowiednio ukształtowanej i wstępnie zatomizowanej strugi, kierowany jest na ultradźwiękowy układ atomizacji wtórnej. Niezbędne jest zapewnienie odpowiedniej odległości pomiędzy układem pierwotnej i wtórnej atomizacji. Doprowadzany materiał do momentu kontaktu z układem rozpylania ultradźwiękowego 3 pozostaje w postaci ciekłej. W zależności od zastosowanych materiałów oraz parametrów rozpylenia wstępnego, możliwe jest zachowanie odległości w zakresie 50 mm do 300 mm pomiędzy wylotem z dyszy układu rozpylającego, a powierzchnią narzędzia roboczego kończącego ultradźwiękowy układ atomizacji wtórnej. Układ ultradźwiękowego rozpylania 3 składa się z powierzchni drgającej 17 (np. w postaci tarczy) o amplitudzie drgań normalnych do powierzchni od 20 do 130 μm , 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 oraz wzmocnienie amplitudy drgań, falowodu (boostera) 19 zapewniającego sprzężenie sonotrody 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. Układ rozpylania ultradźwiękowego 3 jest ponadto wyposażony w układ stabilizacji temperatury 7 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 7 może być zrealizowany za pomocą nadmuchu dowolnego gazu o odpowiedniej temperaturze, opływu/przepłykiwania cieczą o odpowiedniej temperaturze, nagrzewania indukcyjnego, rezystancyjnego, mikrofalowego,

wego i innych. Całość 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 wstępnej atomizacji łukowej 10.

Atomizacja wtórna przebiega od strony fizyczno-mechanicznej jak opisano poniżej. Przetwornik ultradźwiękowy 20 pobudza do drgań narzędzie robocze 17 w powierzchnię którego uderzają rozdrobnione wstępnie przez układ topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego 2 krople materiału. Przetwornik przekształca energię elektryczną na energię drgań ultradźwiękowych. Doprowadzona przez falowód akustyczny energia fal ultradźwiękowych, wywołuje na powierzchni narzędzia roboczego zjawiska kapilarno-kawitacyjne, 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 tworzą proszek metalu o strukturze sferycznej.

Wytwarzany opisywanym sposobem oraz urządzeniem według wynalazku, materiał proszkowy charakteryzuje się kulistym lub zbliżonym do kulistego kształtem. Sterowanie parametrami oraz kontrola procesu wstępnej i wtórnej atomizacji umożliwia zawężenie finalnego rozkładu wielkości produkowanych proszków oraz uzyskanie monomodalnego rozkładu wielkości produkowanych proszków. Poprzez zapewnienie odpowiedniego gazu rozpylającego i odpowiedniej atmosfery gazowej w komorze roboczej, możliwe jest ponadto znaczne ograniczenie stopnia utlenienia produkowanego proszku. Układ rozpylania ultradźwiękowego 3 charakteryzuje się tym, że zapewniona jest jego ruchliwość umożliwiająca pozycjonowanie układu względem wstępnie rozpylonej strugi. Ruchliwość może być zapewniona we wszystkich osiach układu kartezjańskiego (X, Y, Z), w tym pochyły względem tych osi. Minimalnie wymagane są dwa stopnie swobody – ruchliwość względem osi Z oraz obrót w płaszczyźnie X lub Y.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do wytwarzania proszków metali i stopów metali **znamiennie tym**, że zbudowane jest z komory (1), która stanowi jednocześnie układ pozycjonujący główne elementy układu atomizacji, a w jej górnej części zamocowany jest układ topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego (2), a poniżej układu topienia i wstępnego rozpylania łukowego (2), na jego osi znajduje się układ rozpylania ultradźwiękowego (3), przy czym co najmniej jeden z tych układów, ma zapewnioną ruchliwość, o co najmniej dwóch stopniach swobody, natomiast 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 i wstępnego rozpylania łukowego (2) doprowadzone jest źródło zasilające (10), a do układu rozpylania ultradźwiękowego (3) doprowadzony jest układ stabilizacji temperatury (7), układ sterowania (8) oraz generator ultradźwiękowy (9).
2. Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że układ topienia, i wstępnego rozpylania, łukowego (2) umieszczony jest w pokrywie lub dowolnej ścianie komory (1), oraz składa się z co najmniej dwóch elektrod topliwych (11), które jednocześnie są materiałami wsadowymi, układu podawania elektrod (12) oraz dyszy gazu osłonowo-rozpylającego (13).
3. Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że układ rozpylania ultradźwiękowego składa się z powierzchni drgającej (17) połączonej z sonotrodą (18) sprzężoną z falowodem (19), który jest wprawiany w drgania przez przetwornik ultradźwiękowy (20).
4. Urządzenie według dowolnego z zastrz. od 1 do 3, **znamiennie tym**, że układ ultradźwiękowy (3) ma zapewnioną ruchliwość w dwóch stopniach swobody.

Rysunki

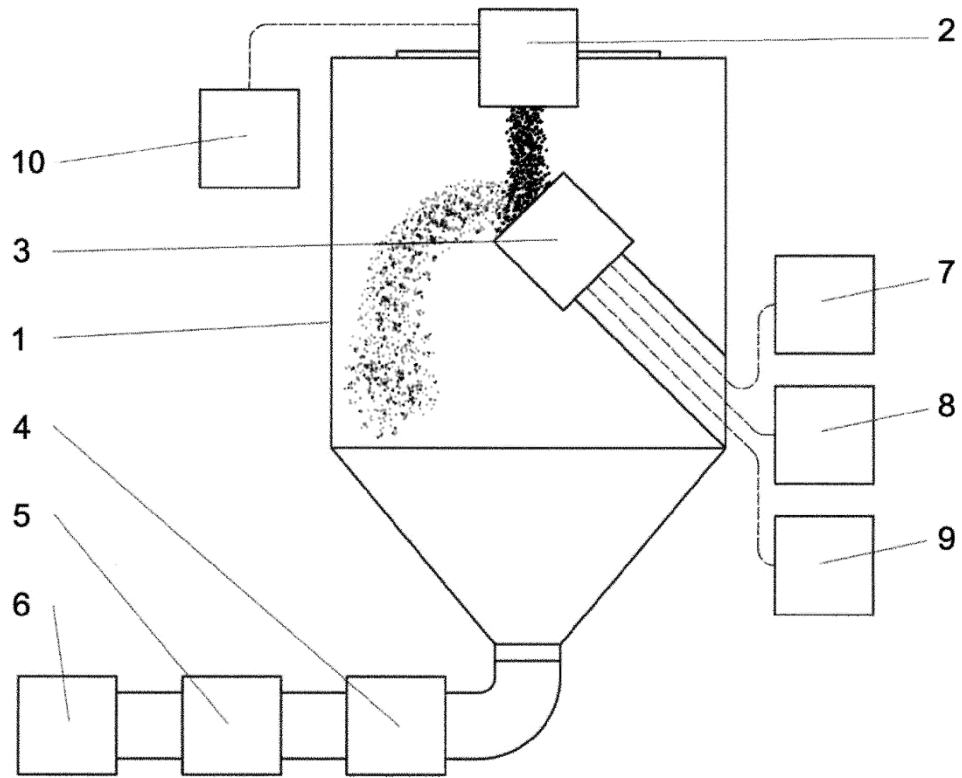


Fig. 1.

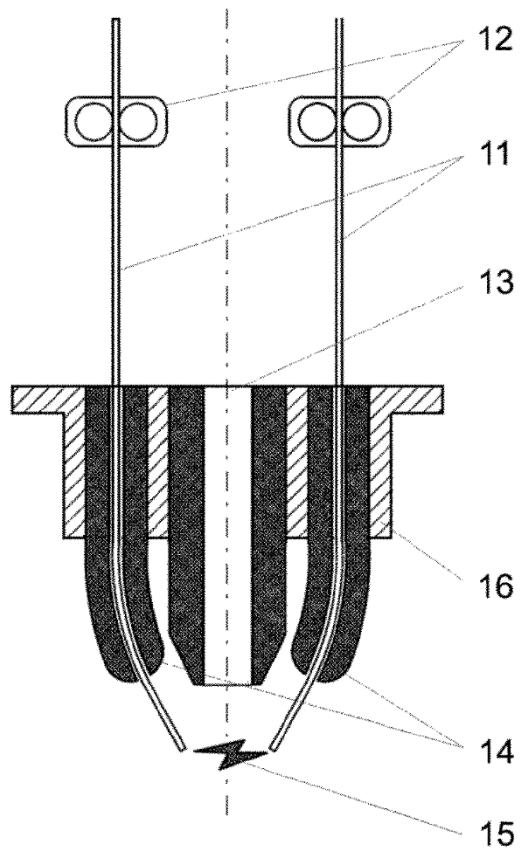


Fig. 2.

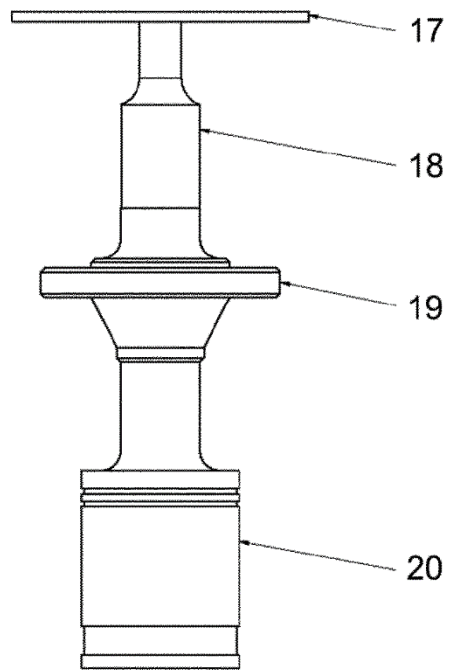


Fig. 3