

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 243972 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **435568**

(22) Data zgłoszenia: **2020.10.01**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.04.04 BUP 14/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.11.13 WUP 46/2023**

(51) MKP:

**B05B 7/14 (2006.01)**

**B05D 1/06 (2006.01)**

(73) Uprawniony z patentu:

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ – POZNAŃSKI  
INSTYTUT TECHNOLOGICZNY, Poznań, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**VOLF LESHCHYNSKY, Windsor, CA**

**JANUSZ MAGDA, Poznań, PL**

**DARIUSZ GARBIEC, Poznań, PL**

**TOMASZ WIŚNIEWSKI, Poznań, PL**

**GRZEGORZ KUBICKI, Słupca, PL**

**JOANNA SULEJ-CHOJNACKA, Łubowo, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Robert Lewicki, Poznań, PL**

(54) Tytuł:

**Sposób niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych  
i układ do niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych**

**PL 243972 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych i układ do niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych, gdzie w atmosferze próżni na częściach maszyn, produktach medycznych itp. elementach, natryskiwane są powłoki o dowolnej grubości z materiałów metalicznych i ceramicznych, co ma szczególne zastosowanie w medycynie, motoryzacji, elektronice, lotnictwie i technologiach kosmicznych.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US 5302414 (A) sposób nanoszenia powłok na powierzchnię produktu wykonanego z materiału wybranego z grupy obejmującej metale, stopy i dielektryki, polegający: na wprowadzeniu do strumienia gazu proszku z pierwszego materiału wybranego z grupy składającej się z metali, stopów, dielektryków lub ich mechanicznych mieszanin do wytworzenia mieszaniny gazowo-proszkowej, która jest skierowana na powierzchnię produktu, przy czym zgodnie z wynalazkiem zastosowano proszek o granulacji mieszczącej się w przedziale od 1 do 50  $\mu\text{m}$ ; formowaniu gazu i cząstek w naddźwiękowy strumień o temperaturze dostatecznie niskiej, aby zapobiec termicznemu zmiękczeniu pierwszego materiału i prędkości uderzenia proszku o podłoże od 300 do 1200 m/s; następnie kierowaniu strumienia na podłoże z drugiego materiału wybranego z grupy obejmującej metal, stop i dielektryk, pokrywając produkt cząstkami tworzącymi proszkową powłokę, np. antykorozyjną, na powierzchni produktu.

W sposobie wg wynalazku gazem może być powietrze, hel oraz mieszanina powietrza i helu.

Według Patentu europejskiego EP 1152067 B1, wynalazek dotyczy ulepszenia gazodynamicznego procesu natryskiwania na zimno, w którym następuje rozpylanie gazu nośnego zawierającego cząstki stałe w postaci proszku na podłoże, celem pokrycia podłoża w komorze natryskowej, przy czym proces obejmuje usuwanie cząstek stałych, jakie zawiera gaz nośny z komory rozpylającej, poprzez kierowanie zużytego gazu nośnego zawierającego cząstki stałe do wysokotemperaturowego filtra ceramicznego, który oddziela gaz nośny od cząstek stałych, po czym następuje usuwanie pozbawionego cząstek stałych gazu nośnego i cząstek stałych z filtra ceramicznego, następnie dokonuje się analizy czystości gazu pozbawionego cząstek stałych i kierowanie go do zespołu wielozaworowego. W zależności od czystości gazu jest on korzystnie kierowany z powrotem do komory natryskowej w celu ponownego użycia lub kierowany do jednostki oczyszczania gazu.

W innym dokumencie patentowym US 6,759,085 B2 ze stanu techniki przedstawiono proces gazodynamicznego natryskiwania na zimno, służący do formowania powłoki z cząstek proszku rozpylanych w gazie, zasadniczo w temperaturze otoczenia, na przedmiocie obrabianym. Proces ten prowadzi się w obszarze niskiego ciśnienia otoczenia, w którym ciśnienie jest znacznie niższe niż ciśnienie atmosferyczne i wynosi poniżej 1 atmosfery do 0,00001 atmosfery. W środowisku niskiego ciśnienia następuje znaczne przyspieszenie natryskiwania cząstek proszku, tworząc w ten sposób ulepszoną powłokę z cząstek stałych na obrabianym przedmiocie. Środowisko o niskim ciśnieniu otoczenia zapewnia zbiornik próżniowy połączony z pompą próżniową, w którym znajduje się zarówno przedmiot obrabiany, jak i pistolet do natryskiwania na zimno. Pistolet do natryskiwania na zimno jest połączony ze źródłem gazu obojętnego pod ciśnieniem, a także z podajnikiem zapewniającym przepływ proszku do natryskiwania. Sprężarka gazu umiejscowiona za pompą próżniową spręża gaz ze zbiornika próżniowego w celu zawrócenia go do źródła gazu obojętnego pod ciśnieniem. Źródło sprężonego gazu jest połączone z pistoletem do natryskiwania na zimno, gdzie można go podgrzać, prowadząc przez wężownicę grzejną połączoną ze źródłem energii elektrycznej, zanim zostanie rozpylony z dyszy na obrabiany przedmiot. Układ zaworów i otworów wtryskowych umożliwia wprowadzanie przez wybrany otwór strumienia proszku wzdłuż wężownicy grzejnej i dyszy na przedmiot obrabiany.

W amerykańskim dokumencie patentowym US 9527069 B2 wynalazek ukazuje sposób gazodynamicznego natryskiwania na zimno, w którym proszek natryskowy zawierający fotokatalitycznie aktywne cząstki natrysku jest przyspieszany za pomocą gazu nośnego w dyszy i tworzy powłokę po uderzeniu w podłoże. Zgodnie z wynalazkiem sposób charakteryzuje się tym, że co najmniej jedna część fotokatalitycznie aktywnych cząstek natrysku składa się z aglomeratów nanokrystalicznych o powierzchni właściwej od 200 do 800  $\text{m}^2/\text{g}$ , przy czym powierzchnię właściwą określa się za pomocą analizatora powierzchni właściwej BET i struktury porowatej ciał stałych metodą niskotemperaturowej sorpcji azotu. Nanokrystaliczne aglomeraty zostały spiekane do uzyskania twardości od 0,1 do 4 GPa, a szczególnie korzystnie od 0,2 do 2 GPa, przy czym twardość określano przez nanoindentację. Twardość tego rzędu jest zarówno wystarczająca, aby aglomeraty nanokrystaliczne mogły być stosowane do natryskiwania zimnym

gazem oraz dostatecznie niska, aby uzyskać wymaganą porowatość o bardzo otwartych porach. Ponadto nanokrystaliczne aglomeraty zawierają związek wybrany z grupy obejmującej ditlenek tytanu ( $\text{TiO}_2$ ), tritlenek wolframu ( $\text{WO}_3$ ), tytanian strontu ( $\text{SrTiO}_3$ ), ditlenek cyny ( $\text{SnO}_2$ ), węgiel krzemu. ( $\text{SiC}$ ), tlenek cynku ( $\text{ZnO}$ ), tlenek alfa-żelazowy ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), wanadan bizmutu ( $\text{BiVO}_4$ ), tlenoazotek tantalu ( $\text{TaON}$ ) itp. Tym sposobem wytwarza się powłoki wykazujące aktywność fotokatafityczną w świetle widzialnym. Powłoka ma grubość co najmniej 80  $\mu\text{m}$ , a korzystnie co najmniej 100  $\mu\text{m}$ .

Według niemieckiego zgłoszenia patentowego DE 102012212682 A1 natryskiwanie zimnym gazem jest procesem, w którym cząstki przeznaczone do powlekania są przyspieszane do prędkości naddźwiękowej za pomocą dyszy zbieżno-rozbieżnej, tak aby przylegały do powlekannej powierzchni. W tym przypadku wykorzystuje się energię kinetyczną cząstek, co prowadzi do ich odkształcenia plastycznego, w którym cząstki powłoki topią się przy uderzeniu tylko w powierzchnię natrykiwaną. Metoda ta jest określana jako natryskiwanie zimnym gazem, ponieważ przeprowadza się ją w stosunkowo niskich temperaturach, w których cząstki powłoki pozostają zasadniczo nieruchome. Mieszanina gazu formującego wytwarzana jest w urządzeniu i używana jest również jako gaz transportujący proszek. Zgodnie z wynalazkiem gaz formujący w stosunku 95/5 o zawartości azotu 95% mol i wodoru 5% mol jest stosowany jako gaz nośny dla strumienia zimnego gazu. Dzięki temu można uzyskać dużą prędkość strumienia (1500 m/s) i uniknąć wysokich kosztów związanych ze stosowaniem helu jako gazu nośnego. Stosunek mieszaniny gazu formującego również pozwala na jego stosowanie bez oddzielnych środków ostrożności, które byłyby wymagane, gdyby wodór został wybrany jako gaz nośny bez dodawania innych gazów. Proces według wynalazku prowadzony w temperaturze 800–1200°C, korzystnie 1000°C i pod ciśnieniem 30–60 bar, korzystnie 50 bar daje w efekcie prędkość gazu powyżej 1500 m/s.

Znany jest z kanadyjskiego zgłoszenia patentowego CA 30541112 A1 wynalazek, który dotyczy ulepszonych urządzeń do gazodynamicznego natrykiwania na zimno gazu, systemu i sposobu osadzania szerokiej gamy materiałów powłokowych na podłożach o różnych kształtach i typach. Osadzanie odbywa się za pomocą stałych cząstek uderzających zarówno w metaliczne, jak i niemetaliczne podłoża z bardzo dużymi prędkościami i jest realizowane przez urządzenie składające się z panelu sterowania, który jest połączony z pistoletem natrykowym wyposażonym w zbieżno-rozbieżną dyszę, dzięki której realizowane są prędkości naddźwiękowe strumienia gazu nośnego, takiego jak: powietrze, azot lub hel, powodujące osadzanie się materiału przy ogólnie optymalnej mocy i zużyciu gazu bez zastosowania jakiegokolwiek podgrzewacza proszku czy regulatorów przepływu. Doprowadzenie sprężonego gazu do panelu sterowania odbywa się za pomocą elastycznego węża pneumatycznego. Natomiast inny pneumatyczny elastyczny wąż przenoszący gaz łączy panel sterowania, pistolet natrykowy i podajnik proszku. Podajnik proszku dostarcza proszek do pistoletu za pomocą gazu nośnego przez pneumatyczny wąż i rurkę podającą proszek.

W chińskim opisie zgłoszeniowym CN 108581392 A wynalazek ujawnia sposób wytwarzania i zastosowania drobnoziarnistej warstwy kompozytu powierzchniowego ze stopu magnezu ulegającego degradacji biomedycznej. Sposób obejmuje etapy, w których podłoże ze stopu magnezu poddaje się obróbce szlifierskiej i czyszczeniu chemicznemu; nanometryczny proszek hydroksyapatytu jest natrykiwany na powierzchnię podłoża ze stopu magnezu metodą natrykiwania na zimno i otrzymuje się nanometryczną powłokę hydroksyapatytu; następnie powierzchnia podłoża ze stopu magnezu z nanometryczną powłoką hydroksyapatytu jest poddawana obróbce poprzez mieszanie tarciove, a nanometryczną strukturę kompozytu w postaci hydroksyapatytu drobnoziarnistego jest formowana na powierzchni stopu magnezu. Metoda oparta jest na wysokowydajnej technice szybkiego natrysku na zimno oraz technice obróbki z mieszaniem tarciowym.

Znane jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US 20060121187 A1 sposób i urządzenie do natrykiwania na zimno w próżni warstw metalicznych, w którym natryskiwanie polega na umieszczeniu podłoża w komorze próżniowej, a natrykiwany proszek nakłada się bez topienia sproszkowanego materiału.

Znany jest sposób natrykiwania proszku ceramicznego w postaci aerozolu, przedstawiony w zgłoszeniu patentowym KR 101230241 B1. Sprężony gaz nośny przechodzi przez dyszę zwężająco-rozszerzającą, dzięki czemu proszek zawarty w aerozolu zostaje rozpędzony do wysokich prędkości i uderza o podłoże z dużą energią kinetyczną. Proces prowadzony jest w temperaturze pokojowej.

Hanft D. i inni podjęli temat modyfikacji metody natrykiwania proszków, przedstawionej w publikacji „The Aerosol Deposition Method: A Modified Aerosol Generation Unit to Improve Coating Quality.” *Materials (Basel)* – 2018 Sep; 11(9): 1572. Modyfikacja skupia się na metodzie wytwarzania aerozolu za pomocą procesu fluidyzacji.

Zhe Wang i inni w publikacji „Superhydrophobic nanocoatings prepared by a novel vacuum cold spray process”, Surface and Coatings Technology, Volume 325, 2017, s. 52–57, podjęli temat natryskiwania warstw ceramicznych o rozmiarze nanometrycznym w temperaturze pokojowej, z użyciem gazu inertnego jako gazu nośnego.

Celem wynalazku było opracowanie sposobu niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków metalicznych i/lub ceramicznych na obrabiane powierzchnie o różnym kształcie i wielkości, który to sposób realizowany w układzie według wynalazku będzie zapewniał zwiększenie wytrzymałości, odporności na ścieranie i korozję elementów maszyn, narzędzi, implantów ortopedycznych, itp.

Istotą wynalazku jest sposób niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych, w procesie niskociśnieniowego natryskiwania na zimno w atmosferze próżni, przy wykorzystaniu pistoletu natryskowego z nagrzewnicą, wyposażonego w dyszę natryskową, gdzie natryskiwane cząstki łączą się z podłożem poprzez wykorzystanie wysokiej energii kinetycznej podczas uderzenia, który polega na tym, że proszek cząstek stałych z ziarnami o rozmiarach 0,1–50  $\mu\text{m}$  wprowadza się na powierzchnię dolnej masy porowatej, umieszczonej na dnie komory fluidyzacyjnej podłączonej do elektrowibratora, do której pierwszym przewodem doprowadzania gazu ze źródła sprężonego gazu, pod ciśnieniem, korzystnie 2 bar, gaz wprowadza się i przepuszcza przez dolną masę porowatą, gdzie w wibrującej komorze fluidyzacyjnej tworzy się złożo fluidalne z cząstek proszku w strumieniu gazu, które to cząstki proszku znajdują się w stałym ruchu i wypełniają całą objętość komory, tworząc aerosol. Nadmiar gazu przepuszcza się przez górną masę porowatą, która zatrzymuje cząstki we wnętrzu komory fluidyzacyjnej, a wstępnie oczyszczony gaz, tworzący aerosol pod pokrywą komory fluidyzacyjnej, przesyła się odprowadzającym przewodem do otoczenia poprzez filtr. Jednocześnie przez pokrywą komory fluidyzacyjnej, przewodem dostarczania aerosolu, przesyła się aerosol, wykorzystując różnicę ciśnień wytworzonych przez nagłe przewężenia przekroju przepływu aerosolu oraz zjawisko zasysania inżektorowego, z komory fluidyzacyjnej do dyszy natryskowej niskociśnieniowego pistoletu natryskowego z nagrzewnicą, który to pistolet z dyszą natryskową umieszcza się na stałe w adapterze osadzonym w komorze próżniowej. Ponadto strumień gazu ze źródła sprężonego gazu doprowadza się drugim przewodem doprowadzającym gaz o temperaturze i ciśnieniu regulowanym przez panel sterowania i wprowadza się do dyszy natryskowej pistoletu natryskowego, natomiast osobnym przewodem dostarczania aerosolu, przez wlot w dyszy natryskowej radialnie wprowadza się aerosol, który w dyszy pistoletu natryskowego zostaje zasysany oraz przyspieszony dzięki strumieniowi gazu pod ciśnieniem, korzystnie 8 bar i kieruje się go na powierzchnię natryskiwanego elementu, który zamocowuje się w uchwycie układu ruchu, wewnątrz komory próżniowej, realizującym poruszanie się natryskiwanego elementu w płaszczyźnie X – Y na prowadnicy pionowej i poziomej oraz ruchem obrotowym względem pistoletu natryskowego, po czym następuje łączenie się natryskiwanych cząstek z podłożem i między sobą, gdzie prędkość cząstek proszku uderzających o powierzchnię podłoża natryskiwanego elementu wynosi 300–1200 m/s, a temperatura cząstek podczas uderzenia mieści się w przedziale 21–600°C. Po zderzeniu z powierzchnią natryskiwanego elementu cząstki ulegają deformacji i wiążą się z powierzchnią podłoża natryskiwanego elementu, tworząc powłokę. Następnie pompą próżniową, poprzez elektrozawór zasysa się obecny w komorze próżniowej, nieosadzony aerosol do komory odzysku proszku, który osadza się na umiejscowionym w niej filtrze, natomiast ze źródła sprężonego gazu, poprzez elektrozawór przesyła się gaz pierwszym przewodem doprowadzającym i przewodem rozdzielającym do filtra, z którego proszek wydmuchuje się do komory odzysku proszku, skąd poprzez elektrozawór cząstki proszku w stanie stałym opadają do puszek filtra w celu ich ponownego wykorzystania.

Korzystnie jest, jeżeli do komory fluidyzacyjnej wprowadza się proszek metaliczny.

Korzystnie jest, jeżeli do komory fluidyzacyjnej wprowadza się proszek miedzi.

Korzystnie jest również, jeżeli do komory fluidyzacyjnej 1 wprowadza się proszek ceramiczny.

Także korzystnie jest, jeżeli do komory fluidyzacyjnej 1 wprowadza się proszek hydroksyapatytu.

Ponadto korzystnie jest, jeżeli do komory fluidyzacyjnej 1 wprowadza się mieszaninę proszków ceramicznych z metalicznymi.

Również korzystnie jest, jeżeli do komory fluidyzacyjnej 1 wprowadza się mieszaninę proszku hydroksyapatytu z nanocząsteczkami miedzi.

Korzystnie jest także, jeżeli do komory fluidyzacyjnej 1 wprowadza się mieszaninę proszku  $\text{Al}_2\text{O}_3$  z proszkami metali.

Dodatkowo korzystnie jest, jeżeli prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem powietrza.

Dalej korzystnie jest, jeżeli prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem helu.

Nadal korzystnie jest, jeżeli prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem azotu.

Korzystnie jest również, jeżeli prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem mieszaniny powietrza i helu.

Korzystnie jest także, jeżeli prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem mieszaniny powietrza, helu i azotu.

Sposób ten realizowany jest w układzie do niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych, zawierający komorę fluidyzacyjną, komorę próżniową, w której umieszczony jest pistolet natryskowy z nagrzewnicą i dyszą natryskową, układ zamocowania próbki oraz pompę próżniową, który charakteryzuje się tym, że komora fluidyzacyjna wewnątrz ma masę porowatą dolną ułożoną na powierzchni dna i górną pod pokrywą. W dolnej części na zewnątrz komory załączony jest elektrowibrator, a wewnątrz, w części środkowej dna komory umiejscowiony jest, poniżej dolnej masy porowatej, wylot pierwszego przewodu doprowadzającego gaz, który łączy źródło sprężonego gazu z komorą fluidyzacyjną. Natomiast w pokrywie komory fluidyzacyjnej, powyżej górnej masy porowatej usytuowany jest wlot przewodu odprowadzającego na zewnątrz nadmiar gazu z komory do otoczenia poprzez filtr, a poniżej górnej masy porowatej umieszczony jest wlot przewodu dostarczania aerozolu, który przebiega wzdłuż nagrzewnicy centralnie usytuowanej wewnątrz niskociśnieniowego pistoletu natryskowego. Wylot przewodu dostarczania aerozolu ma wlot w dyszy natryskowej pistoletu natryskowego, umocowanego na stałe w adapterze osadzonym w komorze próżniowej, do którego ze źródła sprężonego gazu doprowadzony jest drugim przewodem doprowadzającym gaz o temperaturze i ciśnieniu regulowanym przez panel sterowania. Niskociśnieniowy pistolet natryskowy jest osadzony w komorze próżniowej naprzeciwko natryskiwanego elementu, zamocowanego w uchwycie połączonym z układem ruchu na prowadnicy pionowej i poziomej, w osi X-Y i w ruchu obrotowym względem pistoletu natryskowego. Układ ruchu, zewnętrznie sterowany manipulatorem nie pokazanym na rysunku, jest trwale zamocowany do ścian w komorze próżniowej, połączonej z pompą próżniową poprzez układ odzysku proszku, mający elektrozawór oraz komorę odzysku proszku z wypukłym na zewnątrz dnem i umieszczonym wewnątrz filtrem, połączonym przewodem rozdzielającym poprzez elektrozawór z pompą próżniową. Ponadto, do przewodu rozdzielającego, między filtrem a pompą próżniową 18, podłączony jest pierwszy przewód doprowadzający gaz ze źródła sprężonego gazu poprzez elektrozawór do komory odzysku proszku. Natomiast komora odzysku proszku od strony jej wypukłego na zewnątrz dna, poprzez elektrozawór jest połączona z filtrem odzysku proszku.

Korzystnie jest, jeżeli niskociśnieniowy pistolet natryskowy ma zbieżno-rozbieżną dyszę.

Korzystnie jest także, jeżeli niskociśnieniowy pistolet natryskowy ma dyszę o przekroju stałym okrągłym.

Również korzystnie jest, jeżeli niskociśnieniowy pistolet natryskowy ma dyszę o przekroju stałym prostokątnym.

Dzięki zastosowaniu rozwiązania według wynalazku uzyskano następujące efekty techniczno-użytkowe:

- zastosowanie zimnego natrysku aerozolu i gazu na obrabiany przedmiot, gdzie występuje znikomy lub brak wpływu ciepła zarówno na materiał podłoża, jak i powłoki, zapobiega utlenianiu metali podczas obróbki;
- użycie powietrza, jako gazu nośnego, pozwala zmniejszyć koszty prowadzenia procesu;
- wysoka kontrola procesu fluidyzacji, poprzez elektroniczne sterowanie doborem parametrów, a tym samym wydatkowaniem ilości proszku cząstek stałych, daje duże oszczędności ekonomiczne;
- możliwość fluidyzacji materiału proszkowego z użyciem wysokich ciśnień (do 2 bar), przez co osiąga się bardzo dobre wymieszanie materiału złoża (proszku cząstek stałych) z gazem;
- zastosowanie dyszy de Laval umożliwia uzyskiwanie prędkości cząstek stałych do 1200 m/s, bez konieczności zastosowania wysokociśnieniowego układu podawania gazów;
- automatyczna, za pomocą sprzętu elektronicznego regulacja ciśnienia oraz temperatury podawanego gazu, daje możliwość regulacji natrysku, w wyniku którego uzyskuje się równomierne pokrywanie również większych elementów i większych obszarów obrabianych elementów;
- zastosowanie masy porowatej w komorze fluidyzacyjnej zapewnia równomierność strumienia gazu fluidyzacyjnego;
- metoda osadzania aerozolu proszku ceramicznego i/lub metalicznego pozwala na wytwarzanie warstw ceramicznych i/lub metalicznych w zakresie temperatur 21–600°C poprzez dostarczanie jednolitego aerozolu z komory aerozolowej do dyszy natryskowej niskociśnieniowego pistoletu natryskowego;
- wykorzystanie innowacyjnej technologii niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z mieszaniny cząstek hydroksyapatytu i/lub nanocząstek miedzi na powierzchniach, m.in.: implantu stawu

kolanowego, implantu do stabilizacji piszczeli, implantu do stabilizacji kręgosłupa, gwoździ sródszpikowych ryglowanych, tworząc nowej generacji implanty oraz na powierzchniach narzędzi chirurgicznych, gdzie uzyskuje się jednorodność struktury powierzchni o dużej wytrzymałości mechanicznej i właściwościach antybakteryjnych, co w dużym stopniu poprawia jakość narzędzi chirurgicznych, natomiast w przypadku implantacji kości uzyskuje się również biokompatybilność powłoki z tkanką kostną, co wpływa na poprawę właściwości użytkowych całego implantu.

Przedmiot wynalazku, w przykładowym, lecz nieograniczającym wykonaniu, uwidocznił na rysunku, który przedstawia schemat ideowy układu do natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych, gdzie pokazano poszczególne elementy układu i sposób ich wzajemnego połączenia.

W przykładowym wykonaniu sposób niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłoki z proszku hydroksyapatytu realizowany jest w atmosferze próżni, przy wykorzystaniu niskociśnieniowego pistoletu natryskowego **11** z nagrzewnicą **10**, wyposażonego w dyszę de Lavalą **13**. Proszek cząstek hydroksyapatytu z ziarnami o rozmiarach 2,5 µm zostaje wprowadzony na powierzchnię dolnej masy porowatej **2**, umieszczonej na dnie komory fluidyzacyjnej **1** podłączonej do elektrowibratora **3**. Pierwszym przewodem **5** doprowadzania powietrza ze źródła **4** filtrowanego sprężonego powietrza, pod ciśnieniem 1,6 bar powietrze wprowadzane jest i przepuszczane przez dolną masę porowatą **2**, gdzie w wibrującej komorze fluidyzacyjnej **1** tworzy się złożę fluidalne z cząstek proszku hydroksyapatytu w strumieniu powietrza, które znajdują się w stałym ruchu i wypełniają całą objętość komory **1**. Ruch cząstek proszku wzmożony jest ruchem wibracyjnym komory **1**, podłączonej do elektrowibratora **3**, zabezpieczającym przed ich osadzaniem na ściankach, tworzy aerozol **9**. Nadmiar powietrza przechodzi przez górną masę porowatą **2**, która zatrzymuje cząstki we wnętrzu komory fluidyzacyjnej **1**. Wstępnie oczyszczone z cząstek proszku hydroksyapatytu powietrze, tworzące aerozol pod pokrywą komory fluidyzacyjnej **1**, przesyłane jest, umieszczonym w pokrywie przewodem odprowadzającym **6**, do otoczenia poprzez filtr **7**. Jednocześnie przez pokrywę komory fluidyzacyjnej **1**, przewodem **8** dostarczania aerozolu, którego wlot umieszcza się poniżej górnej masy porowatej **2**, przesyłany jest aerozol **9** z komory fluidyzacyjnej **1** do dyszy de Lavalą **13** niskociśnieniowego pistoletu natryskowego **11** z nagrzewnicą **10**, wykorzystując różnicę ciśnień wytworzonych przez nagłe przewężenia przekroju przepływu aerozolu oraz zjawisko zasysania inżektorowego. Pistolet **11** z dyszą de Lavalą **13** zostaje umocowany na stałe w adapterze **14** osadzonym w komorze próżniowej **15**, w której ciśnienie podczas procesu wynosi 4 mbar. Ponadto strumień powietrza, ze źródła **4** filtrowanego sprężonego powietrza, drugim przewodem **16** doprowadzającym powietrze o temperaturze i ciśnieniu na bieżąco regulowanym przez panel sterowania **17** zostaje wprowadzony do dyszy de Lavalą **13** pistoletu natryskowego **11**. Natomiast osobnym przewodem **8** dostarczania aerozolu, przez wlot **12** w dyszy de Lavalą **13** radialnie wprowadza się aerozol **9**, który w dyszy de Lavalą **13** pistoletu natryskowego **11** zostaje zasysany oraz przyspieszony dzięki strumieniowi powietrza pod ciśnieniem 7 bar i skierowany na powierzchnię natryskiwanego elementu **19**, usytuowanego w odległości 10 mm od wylotu dyszy de Lavalą **13**. Natryskiwany element **19** zamocowany jest w uchwycie **20**, połączonym z układem ruchu **21** wewnątrz komory próżniowej **15**, realizującym poruszanie się natryskiwanego elementu **19** w płaszczyźnie X – Y na prowadnicy pionowej **22** i poziomej **23** z prędkością przesuwu tawersy 5 mm/s względem pistoletu natryskowego **11**. Ciśnienie w komorze próżniowej **15** podczas procesu wynosi 4 milibary. Natryskiwane cząstki proszku hydroksyapatytu łączą się z podłożem i między sobą, poprzez wykorzystanie wysokiej energii kinetycznej podczas uderzenia, gdzie temperatura nagrzewania powietrza jako gazu nośnego dla cząstek proszku hydroksyapatytu w pistolecie natryskowym **11** wynosi 600°C. Po zderzeniu z powierzchnią natryskiwanego elementu **19** cząstki hydroksyapatytu ulegają deformacji i wiążą się z powierzchnią podłoża natryskiwanego elementu **19**, tworząc powłokę. Następnie pompa próżniowa **18**, poprzez elektrozawór **25** zasysa obecny w komorze **15**, nieosadzony aerozol do komory **26** odzysku proszku, który osadza się na umiejscowionym w niej filtrze **27**. Ponadto ze źródła **4** filtrowanego sprężonego powietrza, poprzez elektrozawór **29**, pierwszym przewodem **5** doprowadzania powietrza jest ono przesyłane przewodem rozdzielającym **24** do filtra **27**, z którego proszek hydroksyapatytu jest wydmuchiwany do komory **26** odzysku proszku, skąd poprzez elektrozawór **30** cząstki proszku hydroksyapatytu opadają do puszek filtra **31** w celu ich ponownego wykorzystania.

W przykładowym wykonaniu układ do niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek hydroksyapatytu zawiera komorę fluidyzacyjną **1**, komorę próżniową **15**, w której umieszczony jest pistolet natryskowy **11** z nagrzewnicą **10** i dyszą de Lavalą **13**, układ zamocowania próbki oraz pompę próżniową **18**. Komora fluidyzacyjna **1** wewnątrz ma masę porowatą **2** dolną ułożoną

na powierzchni dna i górną pod pokrywą. W dolnej części na zewnątrz komory 1 załączony jest elektrowibrator 3, a wewnątrz, w części środkowej dna komory 1 umiejscowiony jest, poniżej dolnej masy porowatej 2, wylot pierwszego przewodu 5 doprowadzania powietrza, który łączy źródło 4 filtrowanego sprężonego powietrza z komorą fluidyzacyjną 1. Natomiast w pokrywie komory fluidyzacyjnej 1, powyżej górnej masy porowatej 2 usytuowany jest wlot przewodu 6 odprowadzającego na zewnątrz nadmiar powietrza z komory 1 do otoczenia poprzez filtr 7, a poniżej górnej masy porowatej 2 umieszczony jest wlot przewodu 8 dostarczania aerozolu, który przebiega wzdłuż nagrzewnicy 10 centralnie usytuowanej wewnątrz niskociśnieniowego pistoletu natryskowego 11. Wylot przewodu 8 ma wlot 12 w dyszy de Laval 13 pistoletu natryskowego 11, umocowanego na stałe w adapterze 14 osadzonym w ścianie komory próżniowej 15, do którego ze źródła 4 filtrowanego sprężonego powietrza doprowadzony jest drugim przewodem 16 doprowadzającym powietrze o temperaturze i ciśnieniu regulowanym przez panel sterowania 17. Niskociśnieniowy pistolet natryskowy 11 jest osadzony w komorze próżniowej 15 naprzeciwko natryskiwanego elementu 19, zamocowanego w uchwycie 20 połączonym z układem ruchu 21 na prowadnicy pionowej 22 i poziomej 23, w osi X-Y względem pistoletu natryskowego 11. Układ ruchu 21, zewnętrznie sterowany manipulatorem niepokazanym na rysunku, jest trwale zamocowany do ścian w komorze próżniowej 15, połączonej z pompą próżniową 18 poprzez układ odzysku proszku, mający elektrozawór 25 oraz komorę 26 odzysku proszku z wypukłym na zewnątrz dnem i umieszczonym wewnątrz filtrem 27, połączonym przewodem rozdzielającym 24 poprzez zawór 28 z pompą próżniową 18. Ponadto do przewodu rozdzielającego 24, między filtrem 27 a pompą próżniową 18, podłączony jest pierwszy przewód 5 doprowadzania powietrza ze źródła 4 filtrowanego sprężonego powietrza poprzez elektrozawór 29 do komory 26 odzysku proszku. Natomiast komora 26 odzysku proszku od strony jej wypukłego na zewnątrz dna poprzez elektrozawór 30 jest połączona z filtrem 31 odzysku proszku.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych, w procesie niskociśnieniowego natryskiwania na zimno w atmosferze próżni przy wykorzystaniu pistoletu natryskowego z nagrzewnicą wyposażonego w dyszę natryskową, gdzie natryskiwane cząstki łączą się z podłożem poprzez wykorzystanie wysokiej energii kinetycznej podczas uderzenia, **znamienny tym**, że proszek cząstek stałych z ziarnami o rozmiarach 0,1–50 µm wprowadza się na powierzchnię dolnej masy porowatej (2) umieszczonej na dnie komory fluidyzacyjnej (1) podłączonej do elektrowibratora (3), do której pierwszym przewodem (5) doprowadzania gazu ze źródła (4) sprężonego gazu, pod ciśnieniem, korzystnie 2 bar, gaz wprowadza się i przepuszcza przez dolną masę porowatą (2), gdzie w wibrującej komorze fluidyzacyjnej (1) tworzy się złożone fluidalne z cząstek proszku w strumieniu gazu, które to cząstki proszku, znajdują się w stałym ruchu i wypełniają całą objętość komory (1), tworząc aerosol (9), przy czym nadmiar gazu przepuszcza się przez górną masę porowatą (2), która zatrzymuje cząstki we wnętrzu komory fluidyzacyjnej (1), a wstępnie oczyszczony gaz, tworzący aerosol pod pokrywą komory fluidyzacyjnej (1), przesyła się odprowadzającym przewodem (6) do otoczenia poprzez filtr (7), jednocześnie przez pokrywę komory fluidyzacyjnej (1) przewodem (8) dostarczania aerozolu, przesyła się aerosol (9), wykorzystując różnicę ciśnień wytworzonych przez nagłe przewężenia przekroju przepływu aerozolu (9) oraz zjawisko zasysania inżektorowego, z komory fluidyzacyjnej (1) do dyszy natryskowej (13) niskociśnieniowego pistoletu natryskowego (11) z nagrzewnicą (10), który to pistolet (11) z dyszą natryskową (13) umieszcza się na stałe w adapterze (14) osadzonym w komorze próżniowej (15), ponadto strumień gazu, ze źródła (4) sprężonego gazu doprowadza się drugim przewodem doprowadzającym (16) gaz o temperaturze i ciśnieniu regulowanym przez panel sterowania (17) i wprowadza się do dyszy natryskowej (13) pistoletu natryskowego (11), natomiast osobnym przewodem (8) przez wlot (12) w dyszy natryskowej (13) radialnie wprowadza się aerosol (9), który w dyszy (13) pistoletu natryskowego (11) zostaje zasysany oraz przyspieszony dzięki strumieniowi gazu pod ciśnieniem, korzystnie 8 bar i kieruje się go na powierzchnię natryskiwanego elementu (19), który zamocowuje się w uchwycie (20) układu ruchu (21), wewnątrz komory próżniowej (15), realizującym poruszanie się natryskiwanego elementu (19) w płaszczyźnie X – Y na prowadnicy pionowej (22) i poziomej (23) oraz ruchem obrotowym względem

pistoletu natryskowego (11), po czym następuje łączenie się natryskiwanych cząstek z podłożem i między sobą, gdzie prędkość cząstek proszku uderzających o powierzchnię podłoża natryskiwanego elementu (19) wynosi 300–1200 m/s, a temperatura cząstek podczas uderzenia mieści się w przedziale 21–600°C, przy czym po zderzeniu z powierzchnią natryskiwanego elementu (19) cząstki ulegają deformacji i wiążą się z powierzchnią podłoża natryskiwanego elementu (19), tworząc powłokę, następnie pompą próżniową (18), poprzez elektrozawór (25) zasysa się obecny w komorze (15), nieosadzony aerozol (9) do komory (26) odzysku proszku, który osadza się na umiejscowionym w niej filtrze (27), natomiast ze źródła (4) sprężonego gazu, poprzez elektrozawór (29) przesyła się gaz pierwszym przewodem doprowadzającym (5) i przewodem rozdzielającym (24) do filtra (27), z którego proszek wydmuchuje się do komory (26) odzysku proszku, skąd poprzez elektrozawór (30) cząstki proszku w stanie stałym opadają do puszkii filtra (31) w celu ich ponownego wykorzystania.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że do komory fluidyzacyjnej (1) wprowadza się proszek metaliczny.
3. Sposób według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że do komory fluidyzacyjnej (1) wprowadza się proszek miedzi.
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że do komory fluidyzacyjnej (1) wprowadza się proszek ceramiczny.
5. Sposób według zastrz. 1 albo 4, **znamienny tym**, że do komory fluidyzacyjnej (1) wprowadza się proszek hydroksyapatytu.
6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że do komory fluidyzacyjnej (1) wprowadza się mieszaninę proszków ceramicznych z metalicznymi.
7. Sposób według zastrz. 1 albo 6, **znamienny tym**, że do komory fluidyzacyjnej (1) wprowadza się mieszaninę proszku hydroksyapatytu z nanocząsteczkami miedzi.
8. Sposób według zastrz. 1 albo 6, **znamienny tym**, że do komory fluidyzacyjnej (1) wprowadza się mieszaninę proszku  $Al_2O_3$  z proszkami metali.
9. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem powietrza.
10. Sposób według zastrz. 1 albo 9, **znamienny tym**, że prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem helu.
11. Sposób według zastrz. 1 albo 9, **znamienny tym**, że prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem azotu.
12. Sposób według zastrz. 1 albo 9, **znamienny tym**, że prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem mieszaniny powietrza i helu.
13. Sposób według zastrz. 1 albo 11 albo 12, **znamienny tym**, że prowadzi się proces natryskiwania na zimno z użyciem mieszaniny powietrza, helu i azotu.
14. Układ do niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków o stałym stanie skupienia zawierający komorę fluidyzacyjną, komorę próżniową, w której umieszczony jest pistolet natryskowy z nagrzewnicą i dyszą natryskową, układ zamocowania próbki oraz pompę próżniową, **znamienny tym**, że komora fluidyzacyjna (1) wewnątrz ma masę porowatą (2) dolną ułożoną na powierzchni dna i górną pod pokrywą, przy czym w dolnej części na zewnątrz komory fluidyzacyjnej (1) załączony jest elektrowibrator (3), a wewnątrz, w części środkowej dna komory (1) umiejscowiony jest, poniżej dolnej masy porowatej (2), wylot pierwszego przewodu (5) doprowadzającego gaz, który łączy źródło (4) sprężonego gazu z komorą fluidyzacyjną (1), natomiast w pokrywie komory fluidyzacyjnej (1), powyżej górnej masy porowatej (2) usytuowany jest wlot przewodu (6) odprowadzającego na zewnątrz nadmiar gazu z komory (1) do otoczenia poprzez filtr (7), a poniżej górnej masy porowatej (2) umieszczony jest wlot przewodu (8) dostarczania aerozolu, który przebiega wzdłuż nagrzewnicy (10) centralnie usytuowanej wewnątrz niskociśnieniowego pistoletu natryskowego (11), przy czym wylot przewodu (8) ma wlot (12) w dyszy natryskowej (13) pistoletu natryskowego (11), umocowanego na stałe w adapterze (14) osadzonym w komorze próżniowej (15), do którego ze źródła (4) sprężonego gazu doprowadzony jest drugim przewodem doprowadzającym (16) gaz o temperaturze i ciśnieniu regulowanym przez panel sterowania (17), ponadto niskociśnieniowy pistolet natryskowy (11) jest osadzony w komorze próżniowej (15) naprzeciwko natryskiwanego elementu (19), zamocowanego w uchwycie (20) połączonym z układem ruchu (21) na prowadnicy

pionowej (22) i poziomej (23), w osi X-Y i w ruchu obrotowym względem pistoletu natryskowego (11), który to układ ruchu (21), zewnętrznie sterowany manipulatorem nie pokazanym na rysunku, jest trwale zamocowany do ścian w komorze próżniowej (15), połączonej z pompą próżniową (18) poprzez układ odzysku proszku, mający elektrozawór (25) oraz komorę (26) odzysku proszku z wypukłym na zewnątrz dnem i umieszczonym wewnątrz filtrem (27) połączonym przewodem rozdzielającym (24) poprzez elektrozawór (28) z pompą próżniową (18), ponadto do przewodu rozdzielającego (24) między filtrem (27) a pompą próżniową (18) podłączony jest pierwszy przewód (5) doprowadzający gaz ze źródła (4) sprężonego gazu poprzez elektrozawór (29) do komory (26) odzysku proszku, natomiast komora (26) odzysku proszku od strony jej wypukłego na zewnątrz dna poprzez elektrozawór (30) jest połączona z filtrem (31) odzysku proszku.

15. Układ według zastrz. 14, **znamienny tym**, że niskociśnieniowy pistolet natryskowy (11) ma zbieżno-rozbieżną dyszę (13).
16. Układ według zastrz. 14, **znamienny tym**, że niskociśnieniowy pistolet natryskowy (11) ma dyszę (13) o przekroju stałym okrągłym.
17. Układ według zastrz. 14, **znamienny tym**, że niskociśnieniowy pistolet natryskowy (11) ma dyszę (13) o przekroju stałym prostokątnym.

