

Цей винахід відноситься до газового розпилювача для виробництва металевих порошків і, зокрема, для виробництва сталевих порошків для адитивного виробництва. Цей винахід відноситься до способу виготовлення металевих порошків за допомоги газового розпилення.

Попит на металеві порошки для адитивного виробництва зростає, отже, необхідно адаптувати виробничі процеси.

Зокрема, відомо плавлення металевого матеріалу і заливання розплавленого металу в проміжний ківш, з'єднаний з розпилювачем. Розплавлений метал проштовхується через сопло в камеру з контрольованою атмосферою і піддається дії струменів газу, які розпорошують його на дрібні краплі металу. Останні твердіють у вигляді дрібних частинок, що падають на дно камери і накопичуються там до повного розпилення розплавленого металу. Потім порошок дають охолонути в розпилювачі доки він не досягне температури, при якій може контактувати з повітрям без занадто швидкого окиснення. Потім розпилювач відкривається для збирання порошку. Таке охолодження є тривалим процесом, який несумісний із необхідністю одержувати велику кількість металевих порошків.

Таким чином, завданням цього винаходу є усунення недоліків пристроїв і способів попереднього рівня техніки шляхом забезпечення газового розпилювача, в якому одержаний порошок може швидко охолоджуватися в камері розпилювача.

Крім того, спосіб відповідно до попереднього рівня техніки, описаний вище, є періодичним процесом, який несумісний з необхідністю виробництва великих кількостей металевих порошків у безперервному режимі.

Додатковим завданням цього винаходу є забезпечення газового розпилювача, в якому одержуваний порошок можна вивантажувати з розпилювача камери не перериваючи розпилення.

Виходячи з цього завдання, першим предметом цього винаходу є спосіб виробництва металевих порошків, який включає:

- (i) надання розплавленого металу в камеру газового розпилювача,
- (ii) розпилення розплавленого металу шляхом впорскування газу так, щоб утворювалися частинки металу,
- (iii) охолодження частинок металу в нижній частині камери шляхом впорскування газу з дна камери так, щоб утворювався бульбашковий псевдозріджений шар частинок металу.

Спосіб відповідний винаходу також може мати додаткові ознаки, перелічені нижче, які розглядаються окремо або у поєднанні:

- розплавлений метал є сталлю, одержаною доменним способом,
- розплавлений метал є сталлю, одержаною з допомогою дугової електропечі,
- етапи (ii) і (iii) виконуються одночасно,
- на етапі (iii) частинки металу охолоджуються до температури нижче 300 °C,
- на етапі (iii) впорснутий газ витягується, охолоджується і повторно впорскується,
- газ охолоджується нижче 50 °C,
- спосіб додатково включає етап (iv) безперервного вивантаження частинок металу з камери,
- безперервне вивантаження здійснюється через пересипну трубу,
- спосіб додатково включає етап (v) переміщення вивантажених частинок металу на станцію просіювання,
- частинки металу, які вивантажуються, переміщуються у вигляді псевдозрідженого шару.

Другим предметом винаходу є газовий розпилювач, який містить камеру, газові інжектори, розташовані в нижній частині камери, і регулятор потоку, з'єднаний з газовими інжекторами для псевдозрідження частинок металу, які повинні накопичуватися в нижній частині камери і утворювати бульбашковий псевдозріджений шар.

Газовий розпилювач відповідний винаходу може також мати додаткові ознаки, перелічені нижче, які розглядаються окремо або у поєднанні:

- газові інжектори містять отвори в нижній стінці камери,
- відстань між дном камери і газовими інжекторами, переважно, менше 10 см,
- газові інжектори є барботерами,
- газовий розпилювач додатково містить теплообмінник, розташований в нижній частині камери,
- газовий розпилювач додатково містить пересипну трубу в нижній частині камери,
- пересипна труба є трубою, яка щонайменше частково проходить в нижній частині камери і проходить через нижню стінку камери,
- ділянка пересипної труби зовні камери містить впускний отвір для газу,
- газовий розпилювач додатково містить колектор крупних частинок у нижній частині камери,
- газовий розпилювач додатково містить газовідвід у верхній частині камери,
- газовідвід містить циклонний сепаратор для знепилення газу, який витягується з камери,
- газовідвід з'єднується з газовими інжекторами для рециркуляції газу всередині розпилювача,
- з'єднання між газовідводом і газовими інжекторами містить теплообмінник.

Третім предметом винаходу є установка, яка містить газовий розпилювач у відповідності з винаходом і конвеєр, який містить нижній канал для циркуляції газу, верхній канал для циркуляції порошкового матеріалу і пористу стінку, яка розділяє нижній і верхній канали по суті на всій їх довжині.

Установка, згідно з винаходом, може додатково включати в себе конвеєр, що містить впускний отвір для псевдозріджувального газу і регулятор потоку, з'єднаний з впускним отвором для газу з метою псевдозрідження частинок металу, які вивантажуються з газового розпилювача, і формування псевдозрідженого шару частинок металу в верхньому каналі.

Очевидно, що винахід заснований на використанні технології псевдозрідженого шару для ефективного охолодження порошку, що накопичується на дні камери розпилювача. У разі коли в нижній частині розпилювача додається пересипна труба, псевдозріджений порошок може безперервно вивантажуватися з розпилювача, не перериваючи процес розпилення.

Інші характеристики і переваги винаходу будуть більш докладно описані в наступному описі.

Винахід буде зрозумілішим після прочитання подальшого опису, який наводиться виключно з метою пояснення і аж ніяк не є обмежувальним, з посиланням на:

- Фіг. 1, на якій ілюструється газовий розпилювач згідно з варіантом винаходу,
- Фіг. 2, на якій ілюструються можливі режими псевдозрідження,
- Фіг. 3, на якій ілюструється установка, що містить два розпилювачі і конвеєр, згідно з першим варіантом винаходу,
- Фіг. 4, на якій ілюструється установка, що містить два розпилювачі і конвеєр, згідно з другим варіантом винаходу.

Слід зазначити, що терміни "нижче", "на нижній стороні", "всередину", "всередині", "назовні", "зовні", "вище за течією", "нижче за течією" тощо, які використовуються в цій заявці, відносяться до положень і орієнтації різних складових елементів пристрою, коли останній встановлений на підприємстві.

Показаний на Фіг. 1 газовий розпилювач 1 є пристроєм, призначеним для розпилення потоку рідкого металу на дрібні краплі металу шляхом дії на потік високошвидкісним газовим потоком. Газовий розпилювач 1 в основному складається з закритої камери 2, в якій підтримується захисна атмосфера. Камера має верхню частину, нижню частину, верх і дно.

Верхня частина камери містить отвір і сопло 3, зазвичай розташовані в центрі верхньої частини камери, через яке подається потік розплавленого металу. Сопло оточене газовою форсункою 4 для впорскування газу з високою швидкістю потоку рідкого металу. Газова форсунка, переважно, є кільцеподібним вирізом, через який протікає газ під тиском. Газова форсунка, переважно, з'єднується з регулятором газу 5 для управління потоком і/або тиском газу перед його впорскуванням. Регулятором газу може бути компресор, вентилятор, насос, редуктор перерізу труби або будь-яке відповідне обладнання.

Нижня частина камери в основному є приймачем для збирання частинок металу, що падають із верхньої частини камери. Зазвичай вона проектується для полегшення збирання і вивантаження порошку через впускний отвір, розташований в нижній частині камери. Таким чином, зазвичай вона має форму перевернутого конуса або перевернутого зрізаного конуса.

Газовий розпилювач містить газові інжектори 6, розташовані в нижній частині камери, які здатні здійснювати псевдозрідження частинок металу, які накопичуються в нижній частині камери, і здатні утворювати бульбашковий псевдозріджений шар частинок металу. Завдяки цьому псевдозрідженому шару частинки металу ефективно охолоджуються нижче їх інтервалу температур окиснення за допомоги інтенсивної теплопередачі між газом і частинками. Частинки металу, накопичені в нижній частині камери, зберігаються холодними, а гарячі частинки, що падають з верхньої частини камери, дуже швидко змішуються в псевдозрідженому шарі і охолоджуються. Крім того, оскільки охолодження здійснюється безпосередньо всередині камери, в якій підтримується захисна атмосфера, частинки металу не окиснюються при охолодженні.

Як показано на Фіг. 2 існує кілька режимів псевдозрідження. Псевдозрідження є процесом, в якому тверді частинки переводяться в стан подібний до рідкого шляхом зависання в газі або рідині. Залежно від швидкості текучого середовища поведінка частинок є різною. В системах газ-тверда речовина, таких як-от система відповідна винаходу, в міру збільшення швидкості потоку шар частинок переходить від нерухомого шару до мінімального псевдозрідження і, до бульбашкового псевдозрідження і до утворення пробок, при якому перемішування стає сильнішим, а рух твердих частинок стає більш інтенсивним. Зокрема, при збільшенні швидкості потоку вище мінімального псевдозрідження спостерігаються нестабільності з утворенням бульбашок і газових каналів. На цій стадії псевдозріджений шар знаходиться в бульбашковому режимі, який є режимом, необхідним для винаходу, для забезпечення хорошої циркуляції твердих частинок всередині шару, швидке охолодження і рівномірну температуру псевдозрідженого шару. Швидкість газу, яку слід застосовувати для досягнення заданого режиму і бажаної температури псевдозрідженого шару, залежить від кількох параметрів, таких як-от тип використовуваного газу, розмір і щільність частинок, падіння тиску газу, створюване газовими інжекторами, або розмір камери. З цим може легко впоратися фахівець в цій

галузі техніки. Крім того, в бульбашковому режимі шар не сильно розширюється за межі твердого об'єму, що допомагає підтримувати розумні розміри установки. Концепція бульбашкового псевдозрідженого шару пояснюється в книзі Дайзо Куні і Октава Левеншпіля "Техніка псевдозрідження" ("Fluidization Engineering" by Daizo Kunii and Octave Levenspiel), друге видання, 1991 р., зокрема, на сторінках 1 і 2 Вступу.

Завдяки бульбашковому псевдозрідженому шару, на відміну від інших режимів псевдозрідженого шару, частинки металу дуже швидко і дуже ефективно охолоджуються до робочої температури псевдозрідженого шару, зберігаючи при цьому рівномірний розподіл розмірів частинок всередині шару. Отже, немає необхідності використовувати охолоджувальні порошкоподібні рідини для охолодження частинок металу.

В контексті винаходу термін "розташований внизу камери" означає, що газові інжектори 6 розташовуються досить близько до дна камери 7, в нижній частині камери, так, що по суті всі частинки, що утворюються в розпилювачі, піддаються псевдозрідженню. Затверділі бризки, які утворюються з вихідного нерозпиленого потоку металу і/або крупні частинки, можуть не піддаватися псевдозрідженню і можуть опускатися нижче газових інжекторів, тобто нижче псевдозрідженого шару. Відстань між дном камери і газовими інжекторами переважно становить менше 10 см, більш переважно менше 4 см, більш переважно 1-3 см.

Газові інжектори 6 впорскують газ знизу камери в напрямку до її верху, так, що частинки на дні камери піднімаються вгору і утворюється псевдозріджений шар.

Газові інжектори можуть містити отвори в нижній стінці камери. Газ може впорскуватися через ці отвори для того, щоб здійснювати псевдозрідження шару порошку.

Газові інжектори можуть містити труби 8, які проходять через бічну стінку камери. Ділянка газових інжекторів, розташована всередині камери, може повторювати форму нижньої стінки на близькій відстані, як показано на прикладі, показаному на Фіг. 1.

Газові інжектори можуть містити металеві пористі пластини, спечені металеві пластини або брезент. Газові інжектори переважно містять барботери, які являють собою деталі, такі як труби, пронизані множиною невеличких отворів для забезпечення розсіювання впорскуваного газу. Барботери є переважними при швидкості газу вище 10 см/с, оскільки вони забезпечують достатню втрату тиску. Барботери, переважно, є пористими барботерами. Цей тип барботерів гарантує розподіл газу в шарі частинок металу за допомоги тисяч дрібних пір.

Кожен барботер може містити ущільнювальну втулку (компресійний фітинг), яка дозволяє вставляти барботер в розпилювач і виймати його з розпилювача під час функціонування розпилювача.

Газові інжектори з'єднуються з регулятором потоку 9. Останній регулює потік впорскуваного газу через газові інжектори, і, таким чином, швидкість газу в камері, оскільки перетин камери відомий. Таким чином, потік газу можна регулювати так, щоб частинки металу піддавалися псевдозрідженню і одержаний псевдозріджений шар підтримувався в бульбашковому режимі. Регулятор газу може виконуватись у вигляді вентилятора. Швидкість вентилятора регулюється для керування потоком газу впорскуваного через газові інжектори. Регулятор потоку підключається до джерела газу. Джерелом газу може бути впускний отвір 10 для газу, призначений для подачі свіжого газу, і/або газівідвід, що забезпечує рециркуляцію газу, як описано нижче.

Газовий розпилювач 1 переважно містить газівідвід 11 для компенсації впорскування газу через газові інжектори 6 і газову форсунку 4. Газівідвід переважно розташовується у верхній частині камери так, щоб він не створював перешкоди псевдозрідженому шару і/або так, щоб частинки, які опинилися над псевдозрідженим шаром через розбризкування бульбашок, падали назад у шар під дією сили тяжіння, перш ніж досягнуть областей з високими швидкостями газу, що могло би втягнути їх у газівідвід. Газівідвід може виконуватись у вигляді однієї труби або множини трубок, з'єднаних з одного боку з камерою, а з іншого боку із засобом знепилення. Засіб знепилення видаляє найдрібніші частинки з виведеного газу. Він може містити електрофільтр, рукавний фільтр або циклонний сепаратор. Переважним є циклонний сепаратор, оскільки він має відносно низькі перепади тиску і не має рухомих частин.

Переважно газівідвід 11 конструюється так, щоб впорскуваний в камеру газ, який витягується через газівідвід, міг рециркулюватися. Тому, споживання газу зводиться до мінімуму. Відповідно, газівідвід переважно з'єднується з газовими інжекторами 6, з газовою форсункою 4 або з ними обома. Зокрема, засіб 12 знепилення, з'єднаний з одного боку з камерою, з іншого боку з'єднаний з регулятором газу 5, з'єднаним з газовою форсункою 4, або з регулятором 9 потоку, з'єднаним з газовими інжекторами 6, або з ними обома.

У прикладі, показаному на Фіг. 1, один засіб знепилення 12 у вигляді циклонного сепаратора з'єднується з регулятором 5 газу для впорскування газу в потік металу так, що впорскуваний в камеру газ для розпилення металу, рециркулюється. Інший засіб 12 знепилення у вигляді циклонного сепаратора з'єднується з регулятором газу 5 для впорскування газу в нижню частину камери так, що використовуваний для псевдозрідження шару порошку газ рециркулюється. В обох випадках можна

додавати фільтри для очищення рециркулюючого газу. Зрозуміло, можливі інші варіанти рециркуляції газу.

З'єднання між газовідводом 11 і газовими інжекторами 6 переважно містить теплообмінник 13. Отже, газ може охолоджуватися до температури, при якій його необхідно впорскувати в камеру, якщо теплові втрати в з'єднанні недостатні для доведення газу до бажаної температури і/або якщо потрібна регенерація тепла.

З'єднання між газовідводом 11 і газовими інжекторами 6 може також містити впускний отвір 10 для газу на випадок, якщо в систему необхідно ввести деяку кількість свіжого газу, зокрема, для компенсації втрат газу.

З'єднання між газовідводом 11 і газовою форсункою 4 переважно містить теплообмінник 13. Отже, газ може охолоджуватися до температури, при якій його необхідно впорскувати в потік розплавленого металу у разі, якщо теплові втрати в з'єднанні недостатні для того, щоб довести газ до бажаної температури і/або якщо потрібна регенерація тепла.

З'єднання між газовідводом 11 і газовою форсункою 4 може також містити впускний отвір 10 газу на випадок, якщо в систему необхідно ввести деяку кількість свіжого газу, зокрема, для компенсації втрат газу.

Відповідно до одного варіанта винаходу газовий розпилювач додатково містить теплообмінник 14, розташований в нижній частині камери. Він розташовується так, що бульбашковий псевдозріджений шар 15, утворений в камері, контактує з теплообмінником. Теплообмінник може розташовуватися щонайменше частково всередині камери, або він може являти собою охолоджувальну оболонку, навколо нижньої частини камери. Тверді частинки, які приходять в рух при впорскуванні газу через газові інжектори 6, вступають в контакт з теплообмінником, де вони віддають захоплене тепло передавальному середовищу, яке циркулює всередині. Швидкість потоку середовища всередині теплообмінника можна регулювати так, щоб контролювати швидкість охолодження. Такий теплообмінник сприяє охолодженню частинок у псевдозрідженому шарі і утриманню їх при заданій температурі. Теплообмінник може зменшувати потік газу, необхідний для охолодження або підтримки частинок при бажаній температурі.

Відповідно до одного варіанта винаходу, газовий розпилювач 1 додатково містить колектор 16 для крупних частинок під дном камери. Як сказано вище, затверділі бризки, що утворюються з вихідного нерозпиленого потоку металу, і/або великі частинки, можуть не піддаватися псевдозрідженню і можуть опускатися нижче за газові інжектори, тобто нижче псевдозрідженого шару, на дно камери. Колектор крупних частинок дозволяє вивантажувати ці небажані частинки з розпилювача, не перериваючи розпилення. Колектор крупних частинок переважно містить клапан 17 і камеру 18 колектора. Камера колектора може з'єднуватися зі знімною камерою через другий клапан. Таким чином, знімну камеру можна замінювати без втрати тиску в камері.

Відповідно до одного варіанта винаходу, після того, як частинки металу вироблені і охолоджені псевдозрідженим шаром, вони вивантажуються через впускний отвір, розташований в нижній частині камери. Це можна зробити після розпилення партії розплавленого металу або без переривання розпилення залежно від технології розвантажувального отвору.

Відповідно до іншого варіанта винаходу газовий розпилювач містить пересипну трубу 19 в нижній частині камери. Її призначення полягає у розвантаженні порошку з камери 2. Зокрема, псевдозріджений порошок в нижній частині камери може вивантажуватися з газового розпилювача у безперервному режимі, тільки-но рівень псевдозрідженого шару досягне верху пересипної труби 19. Таким чином, розпилювач може функціонувати безперервно.

Пересипна труба 19 переважно проходить щонайменше частково в нижній частині камери і проходить через нижню стінку камери 7. Вона може мати форму зливного стакану. Більш переважно вона є трубою. Її переріз переважно адаптується до потоку порошку, який виходить із камери. Зокрема, її переріз адаптується до потоку розплавленого металу, який виходить із сопла, так, щоб в нижній частині камери з часом не відбувалося скупчування порошку. У разі, коли крупні частинки, що утворюються в розпилювачі, будуть збиратися на дні камери, переріз пересипної труби переважно адаптується до потоку розплавленого металу, який виходить із сопла, а більш крупні частинки відводяться в бік. Перетин труби переважно є незмінним, тобто без скорочень вздовж труби або на її верхньому кінці, щоб сприяти рівномірному виходу металевого порошку і уникнути засмічування. В одному варіанті винаходу пересипна труба або трубка, за можливості, містить клапан регулювання потоку порошку, який підлягає випусканню з камери. В одному з варіантів винаходу нижній кінець пересипної труби має зменшений переріз для додаткового обмеження потоку газу зовні розпилювача всередину.

Висота пересипної труби визначається як відстань по вертикалі між верхом пересипної труби і дном камери, тобто як вертикальна довжина ділянки пересипної труби, що проходить через камеру. Висоту пересипної труби переважно встановлюють так, щоб об'єм псевдозрідженого шару був достатньо великим для охолодження металевого порошку до бажаної температури. Об'єм псевдозрідженого шару дійсно визначається по суті перерізом нижньої частини камери і висотою

пересипної труби. Якщо висота пересипної труби недостатня, то об'єм псевдозрідженого шару є малим і час перебування частинок в псевдозрідженому шарі не є достатнім. Отже, частинки, що вивантажуються, все ще будуть гарячі. Якщо висота пересипної труби дуже велика, об'єм псевдозрідженого шару є великим і час перебування частинок у псевдозрідженому шарі є теж великим. Отже, вивантажені частинки є холодними. Ґрунтуючись на цих принципах, фахівець у цій галузі техніки може вибрати висоту пересипної труби в залежності від розмірів камери і бажаної температури вивантажених частинок. В одному варіанті винаходу пересипна труба або трубка, якщо це можливо, містить засіб регулювання висоти, такий, що висоту пересипної труби можна регулювати безпосередньо, зокрема, для регулювання охолодження порошку і, отже, температури вивантаженого з камери порошку.

Завдяки пересипній трубі час перебування частинок в псевдозрідженому шарі є рівномірним незалежно від розміру частинок, на відміну від інших рішень, таких як-от клапани або трубки в нижній частині камери, при застосуванні яких крупніші частинки вивантажувалися б першими, тобто перед охолодженням псевдозрідженого шару до робочої температури. Більш того, оскільки кількість газу, що виходить з камери через пересипну трубу, невелика, основна частина впорскуваного газу, використовується для псевдозрідження шару, що сприяє утворенню дуже стабільного псевдозрідженого шару. Крім того, пересипна труба не є механічною частиною, термін служби якої обмежується через зношення частинками.

Відповідно до одного варіанта винаходу над пересипною трубою 19 нависає ковпак 20. Отже, гарячий металевий порошок, що падає з верхньої частини камери, не потрапляє безпосередньо в пересипну трубу. Ковпак розташований досить високо над верхньою частиною пересипної труби для того, щоб не порушувати потік порошку, вивантаженого через пересипну трубу. Ковпак і верхня частина пересипної труби можуть розташовуватися по суті вертикально по відношенню до сопла 3, а ковпак може містити ударну подушку. В цій конфігурації потік розплавленого металу, який не розпорошується на початку процесу розпилення, вдаряється об ударну подушку і розсіюється на дрібні частинки, які не шкодять процесу.

Відповідно до одного варіанта винаходу пересипна труба 19, а, переважно, ділянка пересипної труби зовні камери, додатково містить впускний отвір 21 для газу. Отже, газ, а переважно газ, який використовується для псевдозрідження порошку всередині камери, може впорскуватися в пересипну трубу. Це допомагає зберігати вивантажений порошок у псевдозрідженій формі і запобігає попаданню атмосферного повітря в камеру нижче за потоком відносно пересипної труби.

Порошок, що вивантажується з камери через пересипну трубу, може збиратися в камері, контейнері або конвеєром 22. Конвеєр є частиною установки, яка містить газовий розпилювач 1. Переважно, він переміщує порошок на станцію 23 просіювання і/або на станцію пакування. Конвеєр може, зокрема, бути вакуумним пневматичним конвеєром, напірним конвеєром або всмоктувальним напірним конвеєром.

Згідно з одним варіантом винаходу, показаним на Фіг. 3 і 4, порошок, що вивантажується з камери 2, переміщається у вигляді псевдозрідженого шару 24, переважно бульбашкового псевдозрідженого шару. Перевага такого виду переміщення полягає в тому, що він вимагає мінімальної потужності вентиляції, і дозволяє відвертати викиди пилу і забезпечує безперервне функціонування.

Конвеєр 22 переважно містить нижній канал 25 для циркуляції псевдозріджувального газу, верхній канал 26 для циркуляції порошку і пористу стінку 27, яка розділяє нижній і верхній канали, по суті, на всій їх довжині.

Пориста стінка дозволяє псевдозріджувальному газу проходити через неї. Така пориста стінка конструюється так, що при проходженні пористою стінкою газу спостерігається достатній перепад тиску для забезпечення рівномірного розподілу газу по всьому поперечному перерізу верхнього каналу. Пориста стінка може бути багатошаровим полотном або пористим вогнетривким матеріалом.

В нижній канал подається псевдозріджувальний газ через впускний отвір 29 для псевдозріджувального газу, з'єднаний з регулятором потоку 28. Впускний отвір для псевдозріджувального газу може виконуватися у вигляді впускного трубопроводу для псевдозріджувального газу, а регулятор потоку може бути у вигляді вентилятора. Регулятор потоку регулює потік впорскуваного в нижній канал газу, і таким чином швидкість газу у верхньому каналі, оскільки поверхня пористої стінки відома. Таким чином, потік газу можна регулювати так, щоб металеві частинки у верхньому каналі піддавалися псевдозрідженню. Коли регулятор потоку є вентилятором, його швидкість регулюється для управління потоком псевдозріджувального газу, впорскуваного в нижній канал. Регулятор потоку підключається до джерела газу. Джерелом газу може бути впускний отвір для газу, призначений для подачі свіжого газу, і/або трубопровід для подачі рециркульованого газу.

Завдяки такому рівномірному розподілу газу по всьому поперечному перерізу верхнього каналу можна використовувати лише один регулятор потоку 28 на весь конвеєр. Це спрощує установку і її обслуговування.

Конвеєр 22 містить у верхній частині верхнього каналу 26 щонайменше один клапан 30 тиску, так, що тиск псевдозріджувального газу у верхньому каналі можна регулювати. Клапан тиску переважно з'єднується з верхнім каналом через циклон 31, розташований у кожусі 32 циклону. Таким чином, псевдозріджувальний газ, що виходить із верхнього каналу через клапан тиску, фільтрується, тобто частинки шару, які захоплюються потоком псевдозріджувального газу, відокремлюються від газу і потрапляють назад у псевдозріджений шар. Кожух циклону переважно розташовується вище рівня верхньої частини верхнього каналу для того, щоб мінімізувати затягування частинок в циклон.

Переважно конвеєр 22 містить множину клапанів 30 тиску, розподілених по довжині верхнього каналу. Це обмежує горизонтальну циркуляцію псевдозріджувального газу над псевдозрідженим шаром і таким чином додатково стабілізує псевдозріджений шар. Більш переважно, множина клапанів тиску поєднується з перегородками 33 для газу. Кожна перегородка розташовується поперечно у верхній частині верхнього каналу і між двома послідовними клапанами 30 тиску. Ці перегородки для газу додатково обмежують горизонтальну циркуляцію псевдозріджувального газу над псевдозрідженим шаром.

Конвеєр 22 містить на одному зі своїх кінців пересипну трубу 34 конвеєра для вивантаження порошку на станцію 23 просіювання і/або на станцію пакування. Пересипна труба конвеєра може забезпечуватися в кінцевій частині верхнього каналу, як показано на Фіг. 3. В цьому випадку, тільки-но рівень псевдозрідженого шару досягає рівня пересипної труби конвеєра, порошок починає надходити на станцію просіювання і/або на станцію пакування. Пересипна труба конвеєра може розташовуватися над кінцем конвеєра, як показано на Фіг. 4. В цьому випадку вона з'єднується з верхнім каналом через висхідну трубу 35. Спосіб вивантаження порошку з конвеєра в цьому випадку описується далі. Ця конфігурація дуже зручна для подачі на станцію просіювання і/або станцію пакування, яка не може повністю розташовуватися нижче конвеєра.

Конвеєр 22 з'єднується, переважно на іншому кінці, з пересипною трубою 19 розпилювача. Зокрема, нижній кінець пересипної труби з'єднується з верхнім каналом 26. Конвеєр може з'єднуватися з множиною пересипних труб і, таким чином, з множиною розпилювачів. В цьому випадку пересипні труби розподіляються по всій довжині конвеєра. У разі наявності множини клапанів тиску вони переважно розміщуються між пересипними трубами, а потенційні перегородки для газу переважно розміщуються поряд з пересипними трубами і вище потоку відносно них.

Конвеєр 22 переважно є закритим пристроєм, сполученим із зовнішнім середовищем лише за допомоги пересипної труби розпилювача і пересипної труби конвеєра, якщо йдеться про порошок, і лише за допомоги впускного трубопроводу, переважно одиночного, і клапанів тиску, якщо йдеться про псевдозріджувальний газ.

Конвеєр 22 є переважно горизонтальним. Він також може виконуватися із різних ділянок. Ці ділянки можуть розміщуватися на різних рівнях. В такий спосіб, рух можна легко адаптувати до топографії ділянки.

Для функціонування конвеєра 22 псевдозріджувальний газ вводиться із заданою швидкістю нижче пористої стінки 27, яка розділяє нижній канал 25 і верхній канал 26 конвеєра.

Псевдозріджувальний газ протікає через пористу стінку і потім проходить між частинками, що лежать у верхньому каналі і утворюють шар, який має піддаватися псевдозрідженню. Тільки-но швидкість псевдозріджувального газу в проміжному просторі, який існує між частинками, стає досить високою, частинки починають рухатися і потім піднімаються, при цьому кожна частинка втрачає точки постійного контакту з сусідніми частинками. Таким чином, у верхньому каналі утворюється псевдозріджений шар 24.

Порошок, що вивантажується з камери 2 через пересипну трубу 19 у верхній канал 26, підтримується в псевдозрідженій формі на конвеєрі. Оскільки він поводить себе як текуче середовище, він залишається у верхньому каналі на одному рівні, і вздовж конвеєра утворюється безперервний потік порошку завдяки вивантаженню псевдозрідженого шару через пересипну трубу 34 конвеєра з конвеєра на станцію просіювання і/або на станцію пакування. У разі коли пересипна труба конвеєра забезпечується на кінцевій ділянці верхнього каналу, формується безперервний потік, тільки-но рівень псевдозрідженого шару досягає рівня пересипної труби конвеєра. У разі, коли пересипна труба конвеєра з'єднується з верхнім каналом через висхідну трубу 35, тиск псевдозріджувального газу у верхньому каналі встановлюється трохи вище атмосферного тиску, так, що псевдозріджений шар піднімається вгору по висхідній трубі до рівня пересипної труби конвеєра. Наприклад, у разі сталевих частинок надлишковий тиск по відношенню до атмосферного тиску може встановлюватися в межах 200-600 мбар на метр висхідної труби.

У разі припинення подачі порошку через пересипну трубу розпилювача рівень псевдозрідженого шару у конвеєрі буде знижуватися доки не досягне рівня пересипної труби конвеєра. В цей момент потік через пересипну трубу конвеєра припиняється. І навпаки, якщо з якоїсь причини пересипну трубу конвеєра доведеться тимчасово закрити, рівень псевдозрідженого шару в конвеєрі буде підвищуватися. В цьому випадку подача порошку через пересипну трубу розпилювача може

припинитися лише в тому випадку, якщо рівень псевдозрідженого шару досягне верхньої частини верхнього каналу.

Крім того, переміщення порошку з допомогою цього конвеєра можна дуже легко вмикати і вимикати. Необхідно просто вмикати і вимикати впускання псевдозріджувального газу.

Псевдозріджувальним газом може бути повітря, якщо порошок достатньо охолоджений і не окиснюється при контакті з повітрям. За необхідності захищати порошок від впливу атмосфери, псевдозрідження може здійснюватися інертним газом, наприклад, аргоном або азотом. В цьому випадку інертний газ переважно рециркулюється.

З технологічної точки зору охолодження порошку всередині камери 2 розпилювача уможливорюється завдяки способу виробництва металевих порошків, який включає:

- (i) надання розплавленого металу в камеру 2 газового розпилювача 1,
- (ii) розпилення розплавленого металу шляхом впорскування газу так, що утворюються частинки металу,
- (iii) охолодження частинок металу в нижній частині камери шляхом впорскування газу з дна камери так, щоб утворювався бульбашковий псевдозріджений шар 15 частинок металу.

Переважно, цей процес призначений для безперервного виробництва металевих порошків, як це буде описано більш докладно нижче.

Розпилюваним металом може бути, зокрема, сталь, алюміній, мідь, нікель, цинк, залізо і сплави. Сталь включає, зокрема, вуглецеві сталі, леговані сталі і нержавіючі сталі.

Метал може подаватися в розпилювач в твердому стані і розплавлятися в проміжному ковші, з'єднаному з розпилювачем через сопло. Він також може розплавлятися на попередньому етапі і виливатися в проміжний ківш.

Згідно з одним варіантом винаходу розпорошений розплавлений метал є сталлю, одержаною доменним способом. В цьому випадку чавун випускається з доменної печі і переміщається в конвертер (основну сталеплавильну піч з подачею кисню, BOF), за не обов'язковим вибором після відправлення на станцію десульфурації чавуну. Розплавлений чавун переробляється в конвертері з утворенням розплавленої сталі. Потім розплавлена сталь з конвертера випускається в ківш для рекуперації і передається переважно в ковшову металургійну піч (LMF). Таким чином, розплавлена сталь може очищатися в ковшовій металургійній печі, зокрема шляхом розкиснення, а первинне легування розплавленої сталі може здійснюватися шляхом додавання феросплавів або силіцидних сплавів, або нітридних сплавів, або чистих металів, або їх сумішей. В деяких випадках, коли необхідно одержувати складні порошкові композиції, розплавлена сталь може оброблятися у вакуумному дегазаторі (VTD), в апараті вакуумно-кисневого зневуглицювання (VOD) або у вакуумно-дуговому дегазаторі (VAD). Це обладнання дозволяє додатково обмежувати вміст водню, азоту, сірки і/або вуглецю.

Очищена розплавлена сталь потім розливається в множину індукційних печей. Кожна індукційна піч може працювати незалежно від інших індукційних печей. Зокрема, її можна відключати для технічного обслуговування або ремонту, доки інші індукційні печі ще функціонують. До неї також можна подавати феросплави, брут, залізо прямого відновлення (DRI), силіцидні сплави, нітридні сплави або чисті елементи у кількостях, які різняться у різних індукційних печах.

Кількість індукційних печей адаптується до потоку розплавленої сталі, яка надходить з конвертера, або очищеної розплавленої сталі, яка надходить з металургійної ковшової печі, і/або до бажаного потоку сталевих порошків в нижній частині розпилювачів.

В кожній індукційній печі легування розплавленої сталі здійснюється шляхом додавання феросплавів або силіцидних сплавів, або нітридних сплавів, або чистих металів, або їх суміші для того, щоб приводити склад сталі у відповідність до складу бажаного сталевих порошків.

Потім, для кожної індукційної печі, розплавлена сталь бажаного складу заливається в спеціальний резервуар, з'єднаний щонайменше з одним газовим розпилювачем. Під словом "спеціальний" мається на увазі, що резервуар з'єднується з даною індукційною піччю. Проте до однієї індукційної печі може приєднуватися кілька резервуарів. В порядку уточнення кожна індукційна піч має свій власний виробничий потік щонайменше з одним резервуаром, з'єднаним щонайменше з одним газовим розпилювачем. Завдяки таким паралельним і незалежним виробничим потокам спосіб виробництва сталевих порошків є універсальним і його можна легко зробити безперервним.

Резервуар являє собою головним чином резервуар для зберігання, в якому може контролюватись атмосфера, і який здатний нагрівати розплавлену сталь і перебувати під тиском.

Атмосфера в кожному із спеціальних резервуарів переважно складається з аргону, азоту або їх суміші для того, щоб уникнути окиснення розплавленої сталі.

Сталевий склад, залитий в кожен резервуар, нагрівається вище температури ліквідусу і підтримується при цій температурі. Завдяки такому перегріванню відвертається засмічення сопла 3 розпилювача. Також зниження в'язкості розплавленого складу сприяє одержанню порошку високої сферичності без сателітів з правильним гранулометричним складом.

Нарешті, коли спеціальний резервуар перебуває під тиском, розплавлена сталь може перетікати з резервуара щонайменше в один з газових розпилювачів, з'єднаних із резервуаром.

Згідно з іншим варіантом винаходу розпилюваний метал являє собою сталь, одержану за допомоги електродугової печі. В цьому випадку сировина, така як-от брухт, металеві мінерали і/або металеві порошки, подається в електродугову піч (ЕАФ) і переплавляється на нагрітий рідкий метал при контрольованій температурі з видаленням домішок і включень у вигляді окремого шару рідкого шлаку. Рідкий нагрітий метал видаляється з електродугової печі в ківш, переважно в ківш з пасивним підігрівом, і переміщається на станцію очищення, де його переважно поміщають в резервуар для очищення з індуктивним нагріванням. Там виконується етап очищення, такий як вакуумне кисневе зневуглицювання, для видалення вуглецю, водню, кисню, азоту і інших небажаних домішок з рідкого металу. Ківш з очищеним рідким металом може потім переміщатися над закритою камерою з контрольованим вакуумом і інертною атмосферою, яку містить нагрітий проміжний ківш розпилювача. Ківш з'єднується з живильним трубопроводом, і потім в нагрітий проміжний ківш подається очищений рідкий метал через живильний трубопровід.

Як альтернативний варіант, ківш з очищеним рідким металом передається зі станції очищення в інший резервуар тримача розпилювача з індуктивним нагріванням, розташований біля дверей розпилювальної станції, яка містить зону розливання під контрольованим вакуумом і інертною атмосферою з нагрітим проміжним ковшем газового розпилювача. Потім резервуар тримача розпилювача з індуктивним нагріванням вводиться в зону, в якій вакуум і атмосфера доводяться до рівня зони розливання. Потім посудина вводиться в зону розливання, рідкий метал виливається в нагрітий проміжний ківш з контрольованою швидкістю і розпорошується з допомогою розпилювача.

В обох варіантах розплавлений метал підтримується при температурі розпилення в проміжному ковші доки він не буде витиснений через сопло 3 в камеру 2 з контрольованою атмосферою (етап (i)) і не зазнає впливу струменів газу, які розпорошують його на дрібні краплі металу (етап (ii)).

На етапі (ii) газ, впорскуваний через газову форсунку 4 для розпилення потоку металу переважно є аргоном або азотом. Обидва збільшують в'язкість розплаву повільніше, ніж інші гази, наприклад гелій, який сприяє утворенню частинок меншого розміру. Вони також полегшують контроль хімічної чистоти, уникаючи небажаних домішок, і відіграють роль в хорошій морфології порошку. З аргоном можна одержувати більш дрібні частинки, ніж азотом, оскільки молярна маса азоту становить 14,01 г/моль порівняно з 39,95 г/моль аргону. З іншого боку, питома теплоємність азоту становить 1,04 Дж/(г·К) порівняно з 0,52 Дж/(г·К) у аргону. Тому азот збільшує швидкість охолодження частинок.

Потік газу впливає на розподіл розмірів частинок і мікроструктуру металевого порошку. Зокрема, що вищий потік, то вища швидкість охолодження. Отже, відношення газу до металу, яке визначається як співвідношення між витратою газу ( $\text{м}^3/\text{год.}$ ) і витратою металу ( $\text{кг}/\text{год.}$ ), переважно підтримується в межах від 1 до 5, переважно, між 1,5 і 3.

Після того, як частинки металу були одержані в результаті розпилення розплавленого металу в камері, одержаний порошок охолоджується в нижній частині камери шляхом впорскування газу з dna камери так, щоб сформувати бульбашковий псевдозріджений шар 15 частинок металу (етап (iii)). Цей етап переважно виконується одночасно з етапом розпилення. Більш переважно це виконувати безперервно і одночасно з етапом розпилення. Таким чином, розпилювач може функціонувати безперервно.

На цьому етапі частинки металу переважно охолоджуються нижче вікна окиснення. У разі сталевого порошку частинки металу переважно охолоджуються до температури нижче 300 °С, переважно нижче 260 °С, ще більш переважно до 150-260 °С. При такому охолодженні порошком можна маніпулювати на повітрі на подальших етапах способу. В залежності від чутливості складу сталі до окиснення і/або чистоти газу охолодження може регулюватися. Порошок переважно не охолоджується занадто сильно, наприклад нижче 150 °С, щоб обмежувати потік газу, необхідний для охолодження порошку. У безперервному режимі потік газу регулюється так, щоб у псевдозрідженому шарі підтримувалася постійна температура, і при цьому частина часток безперервно вивантажувалася з камери і безперервно до шару додавалися нові гарячі частинки. В цьому випадку температуру псевдозрідженого шару підтримують нижче 300 °С, переважно нижче 260 °С, ще більш переважно в інтервалі 150-260 °С.

Газ, впорскуваний через газові інжектори 6 для псевдозрідження шару порошку, переважно є аргоном або азотом, а більш переважно тим самим газом, що використовується для розпилення потоку розплавленого металу. Переважно він впорскується зі швидкістю 1-80 см/с, що вимагає низької потужності вентиляції і, отже, зменшеного споживання енергії. Потік газу переважно регулюється регулятором потоку 9, таким як вентилятор.

Газ переважно вводиться при температурі 10-50 °С. Це додатково покращує охолодження частинок металу.

Впорскуваний газ, переважно витягується з камери для підтримки постійного тиску в камері. Потік газу в газовідводі 11 регулюється відповідним чином. Тиск камери 2 переважно встановлюється в межах 5-100 мбар.

Впорскуваний газ переважно рециркулюється. В цьому випадку переважно охолоджувати його після вилучення з камери. Переважно, він охолоджується до температури нижче 50 °С, а більш переважно 10-50 °С.

На етапі (iii) охолодження частинок металу може додатково посилюватись завдяки контакту псевдозрідженого шару з теплообмінником 14.

Спосіб згідно з винаходом може додатково включати етап (iv) безперервного вивантаження охолоджених частинок металу з камери. Цей етап переважно виконується одночасно з етапом розпилення і етапом охолодження. Безперервне вивантаження може здійснюватися через пересипну трубу 19, як описано раніше.

Спосіб згідно винаходу може додатково включати етап (v) переміщення вивантажених частинок металу на станцію 23 просіювання і/або на станцію пакування. Цей етап переважно виконується одночасно з етапом розпилення, етапом охолодження і етапом вивантаження.

Вивантажені частинки металу можуть переміщатися у вигляді псевдозрідненого шару 24. Переважно це бульбашковий псевдозріднений шар.

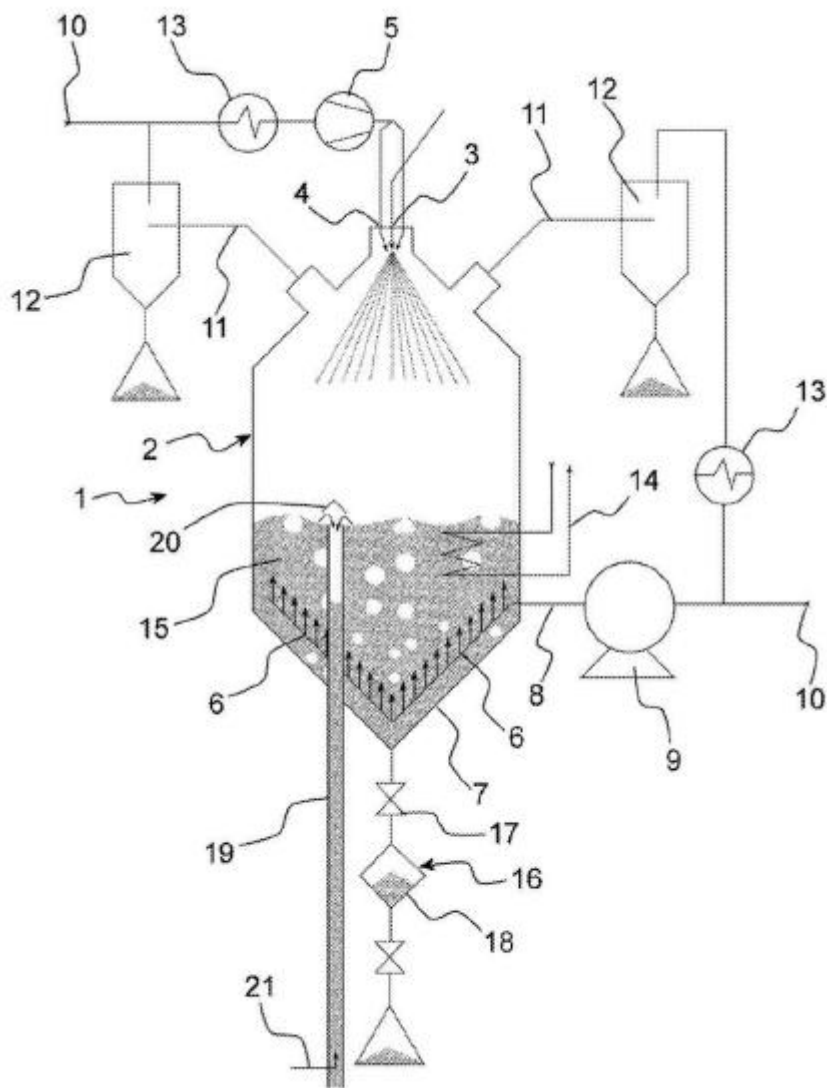
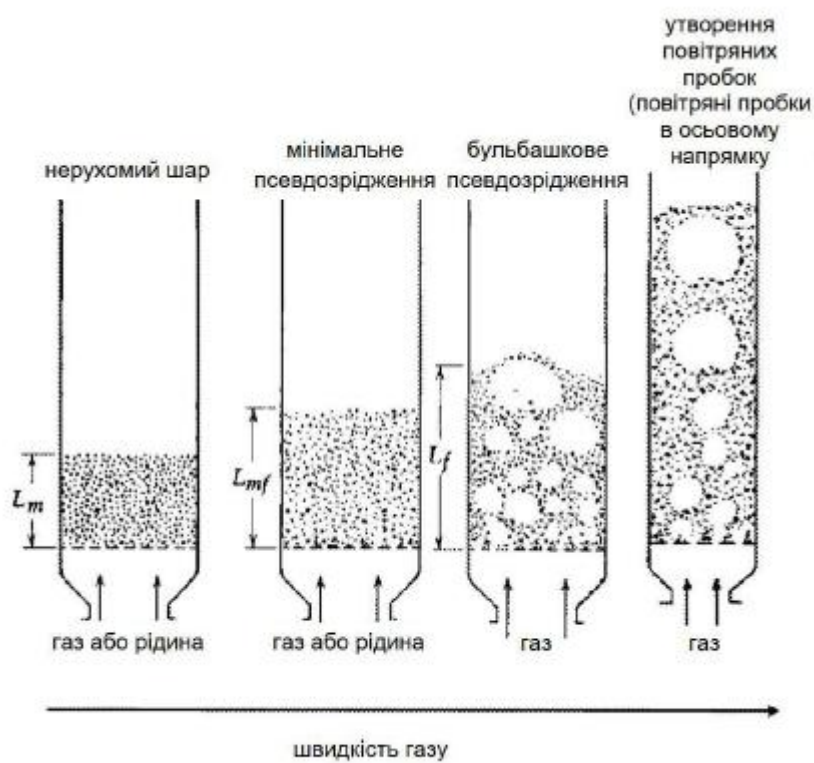
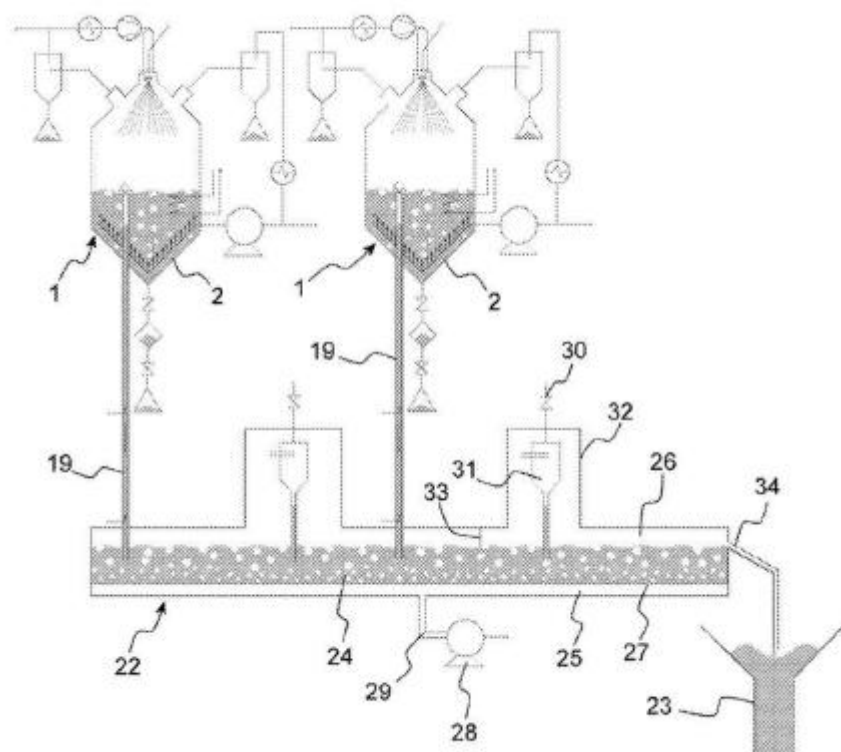


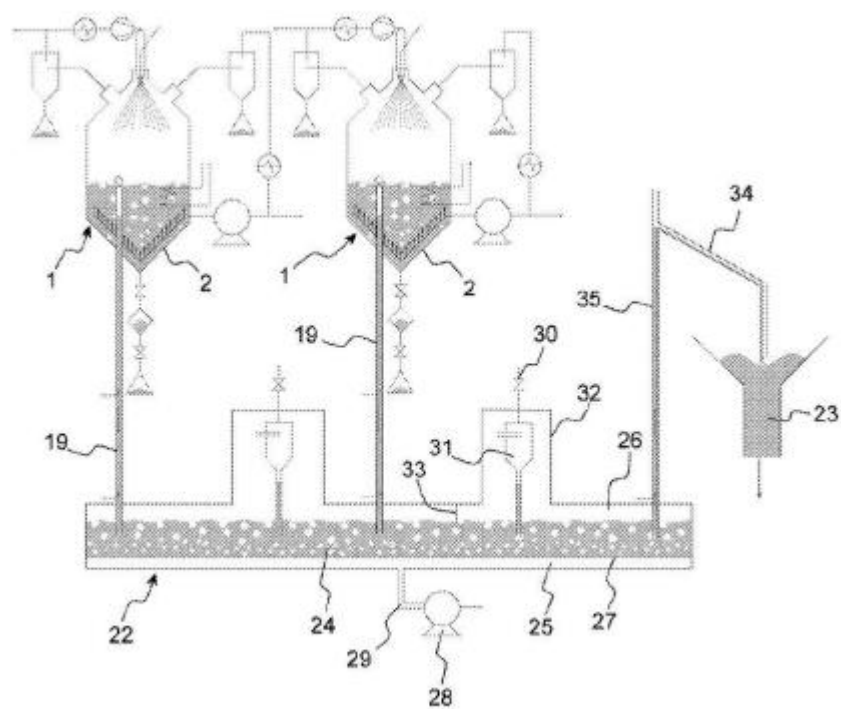
Fig. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Φir. 4