



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130714** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)
C21B 15/00
C25C 1/06 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2024 03588	(72) Винахідник(и):	Лавелен де Мобеж Ерве (FR)
(22) Дата подання заявки:	15.12.2021	(73) Володілець (володільці):	АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	23.04.2026	(74) Представник:	Слободянюк Оксана Олександрівна, реєстр. №216
(41) Публікація відомостей про заявку:	11.09.2024, Бюл.№ 37	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	US 4058441 A, 15.11.1977 WO 2009/114925 A1, 24.09.2009 RU 2149921 C1, 27.05.2000 US 2013140171 A1, 06.06.2013 WO 2018/152628 A1, 30.08.2018 LAVELAINE DE MAUBEUGE HERVE. Development of new methodologies for Industrial CO2-free steel production by electrowinning. 2018. P. 1-23
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	22.04.2026, Бюл.№ 16		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	РСТ/IB2021/061736, 15.12.2021		

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛЕВОГО ЗАЛІЗА ШЛЯХОМ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

(57) Реферат:

Пристрій (1) для виробництва металевого заліза шляхом відновлення залізної руди з допомогою реакції електролізу, причому пристрій містить пристрій (30) відновлення електроліту, включаючи насосний пристрій (22), розташований на одному кінці корпусу (4) і на принаймні перший зворотний клапан (31А), розташований в камері (6) для електроліту камері, і другий зворотний клапан (31В), розташований у вузлі (8) відновлення газу, зазначений пристрій (30) відновлення електроліту призначений для відкачування електроліту (5) з електролітної камери (6) або для повернення електроліту (5) назад у вузол (8) відновлення газу, коли активується привод (28).

UA 130714 C2

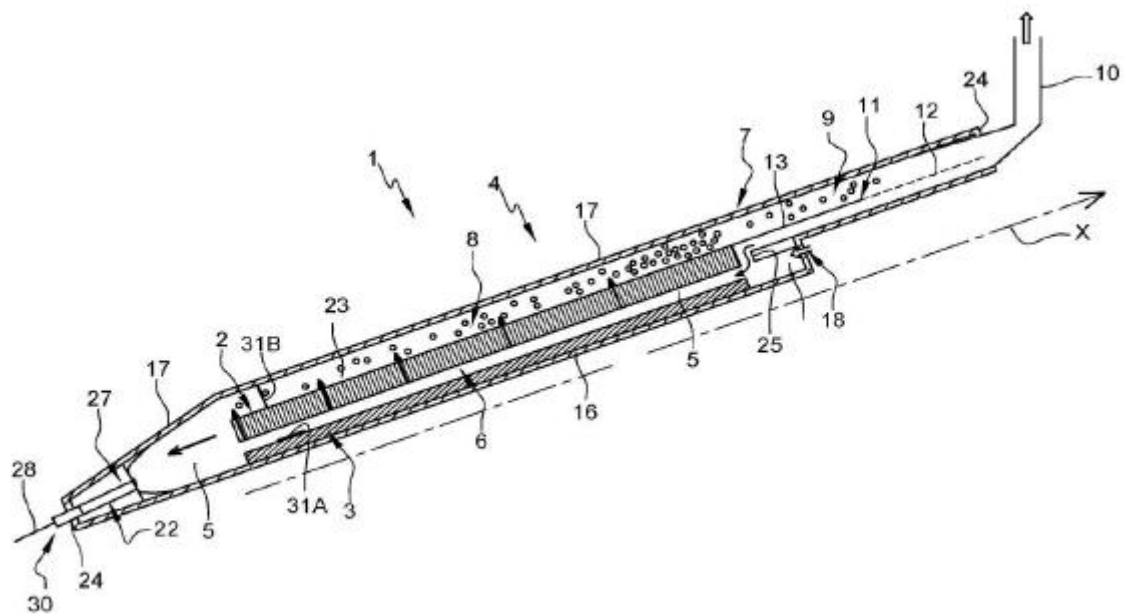


Fig. 1A

Винахід відноситься до пристрою для одержання металевого заліза з оксидів заліза з допомогою процесу електролізу.

Зараз сталь можна виробляти у промислових масштабах за двома основними технологічними маршрутами. Зараз найбільш часто використовуваний технологічний маршрут полягає у виробництві чавуну в доменній печі з використанням відновника, головним чином коксу, для відновлення оксидів заліза. В цьому методі приблизно 450-600 кг коксу споживається на вироблення метричної тонни чавуну; цей метод як при виробництві коксу з вугілля на коксохімічному заводі, так і у виробництві чавуну вивільняє значні кількості CO₂.

Другий основний технологічний маршрут застосовує так звані "способи прямого відновлення". Серед них способи брендів MIDREX, FINMET, ENERGIRON/HYL, COREX, FINEX та ін., в яких губчасте залізо виготовляється у вигляді HDRI (Залізо Гарячого Прямого Відновлення), CDRI (Залізо Холодного Прямого Відновлення) або HBI (ГарячеБрикетоване Залізо) шляхом прямого відновлення носіїв оксиду заліза. Губчасте залізо у вигляді HDRI, CDRI і HBI зазвичай піддається подальшій обробці в електродугових печах. Навіть якщо цей другий маршрут викидає менше CO₂, ніж попередній, він все ще викидає деяку кількість і, крім того, використовує вуглецеве викопне паливо.

Отже, поточні розробки зосереджені на способах, які дозволяють виробляти залізо, і виділяють менше або навіть не виділяють CO₂ і які має нульовий баланс викидів вуглецю.

Відомий альтернативний спосіб виробництва сталі із залізної руди, виготовленої з оксидів заліза, заснований на електрохімічних методах. В таких технологіях залізо виробляється з оксиду заліза з допомогою електролізера, який складається з двох електродів, - анода і катода, з'єднаних з джерелом електричного струму, контуром електроліту і входом оксиду заліза в електролізер. Анод і катод постійно занурені в циркулюючий електроліт, щоб забезпечити хорошу електропровідність між зазначеними електродами. Електролітична реакція виробляє чисте залізо на пластинах на катоді і газоподібний кисень на аноді. Одержані в такий спосіб залізні пластини можна потім розплавити з іншими елементами, такими як-от джерела вуглецю і брутхт, в електричних печах для виробництва сталі.

Щоб обмежити вплив процесу на довкілля, електроліт відновлюють всередині комірки, щоб обмежити потребу в свіжому електроліті. Зараз для цього між входом і виходом електроліту з електролізера використовуються зовнішні насоси. Ці насоси споживають енергію і спричиняють втрати тепла, що робить процес дуже енерговитратним з високими експлуатаційними витратами, що ускладнює його масштабування з високою продуктивністю.

Таким чином, метою цього винаходу є усунення недоліків попереднього рівня техніки шляхом створення системи для електрохімічного виробництва заліза з покращеною енергоефективністю.

З цією метою винахід відноситься до пристрою для виробництва металевого заліза шляхом відновлення залізної руди за допомоги реакції електролізу, цей пристрій містить корпус, який включає газопроникну анодну пластину, катодну пластину, обидві звернені одна до одної і розділені з допомогою камери для електроліту, причому корпус забезпечений засобами для подачі електроліту всередину камери і засобами для подачі залізної руди до зазначеної камери, причому корпус додатково містить блок дегазації, який містить вузол відновлення газу, який проходить вздовж протилежного боку анодної пластини до камери і вузла відновлення електроліту, який безперервно проходить від вузла відновлення газу до вихідного отвору для газу і сполучається через рідину з камерою, причому пристрій додатково містить пристрій відновлення електроліту, який містить насосний пристрій, розташований на одному кінці корпусу щонайменше, перший запірний пристрій, розташований в камері для електроліту і другий запірний пристрій, розташований у вузлі відновлення газу, причому зазначений пристрій циркуляції електроліту призначений для відкачування електроліту з камери для електроліту або для повернення назад електроліту у вузол відновлення газу коли активується привод.

Пристрій може також включати наступні додаткові ознаки, які розглядаються окремо або відповідно до всіх можливих комбінацій методів:

- насосний пристрій розташований в кінці корпусу навпроти засобів подачі електроліту,
- насосний пристрій розташований поза корпусом, але сполучений з ним через рідину,
- насосний пристрій розташований частково всередині корпусу,
- зворотні пристрої це еластичні мембрани з електроізоляційного матеріалу,
- еластичні мембрани виготовлені з етиленпропілендієнового мономеру,
- зворотні пристрої це механічні клапани з електроізоляційного матеріалу,
- приводом є гідравлічний привод,
- пристрій живиться відновлюваною енергією.

Інші характеристики і переваги винаходу будуть очевидні з наведеного нижче опису, як ознаки і жодним чином не є обмежувальними, з посиланнями на додані фігури, на яких:

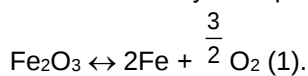
- Фіг. 1А, яка представляє вид поздовжнього перерізу пристрою винаходу, в якому пристрій відновлення електроліту знаходиться в режимі відкачування,

- Фіг. 1В, яка представляє вид поздовжнього перерізу пристрою винаходу, в якому пристрій відновлення електроліту знаходиться в режимі повернення назад.

По-перше, зазначається, що на фігурах однакові посилання позначають ті самі елементи, незалежно від фігури, на якій вони представлені, і незалежно від форми цих елементів. Подібним чином, якщо на одній з фігур немає конкретних посилань на елементи, їх посилання можна легко знайти, посилаючись на іншу фігуру.

Слід також зазначити, що фігури представляють переважно один варіант здійснення об'єкта винаходу, але можуть існувати і інші варіанти здійснення, які відповідають визначенню винаходу. Елементи на фігурах є ілюстраціями і можуть бути зображені не в масштабі.

Винахід відноситься до пристрою 1, призначеного для виробництва металевого заліза (Fe) шляхом відновлення залізної руди, яка містить, зокрема, гематит (Fe_2O_3) та інші оксиди або гідроксиди заліза, шляхом реакції електролізу. Зазначена хімічна реакція добре відома і може бути описана наступним рівнянням (1):



Отже, виявляється, що в цій реакції електролізу виділяються газу, головним чином кисень, які мають бути видалені з пристрою 1.

Посилаючись на Фіг. 1А і 1В, пристрій 1 або електролізна комірка містить корпус 4, який проходить вздовж поздовжньої осі Х, в якому відбувається реакція електролізу. Зазначений корпус 4 обмежений основною пластиною 16, кришкою 17 і двома бічними пластинами 24. Крім того, корпус містить газопроникну анодну пластину 2, призначену для повного занурення в електроліт 5, і катодну пластину 3, обидві пластини звернені одна до одної і утримуються на необхідній відстані за допомоги кріпильних засобів (не зображені). Корпус 4 також містить камеру 6 для електроліту, яка проходить поздовжньо між анодною пластиною 2 і катодною пластиною 3 до камери 27 вивантаження. Пристрій 1, нарешті, містить джерело електричної енергії (не зображене), яке з'єднане з анодною пластиною 2 і катодною пластиною 3.

Щоб одержати металеве залізо в результаті реакції електролізу, електроліт 5, - переважно розчин на водній основі, як-от водний розчин гідроксиду натрію, який протікає через корпус 4 всередині камери 6 для електроліту, при роботі пристрою 1. Таким чином, пристрій 1 містить вхідний отвір 18, виконаний в корпусі 4 і сполучений через рідину з камерою 6 для електроліту. Залізна руда переважно подається в пристрій 1 у вигляді суспензії порошку в електроліті 5 через впускний отвір 18.

Під час реакції електролізу окис заліза відновлюється до заліза відповідно до реакції (1) і відновлене залізо осідає на катодній пластині 3, при цьому генерується газоподібний кисень. Як показано вище, газу утворюються всередині корпусу 4. Оскільки ці газу є електричними ізоляторами, вони перешкоджають нормальному протіканню реакції електролізу і, таким чином, постійно виводяться за межі корпусу 4.

Для цього корпус 4 містить дегазаційний блок 7, який містить вузол 8 відновлення газу, який проходить вздовж протилежної сторони 23 анодної пластини 2 до камери 6 для електроліту. Цей вузол 8 відновлення газу являє собою відсік, призначений для заповнення електролітом 5 і розташований між анодною пластиною 2 і кришкою 17. Таким чином, зазначений вузол 8 відновлення газу призначений для відновлення газів (діоксигену і дигідрогену), які виходять через анодну пластину 2.

Як показано на Фіг. 1А і 1В, дегазаційний блок 7 також містить вузол 9 відновлення електроліту, який проходить безперервно разом з вузлом 8 відновлення газу до вихідного отвору 10 для газу, зробленому в корпусі 4. Забезпечується, щоб вузол 9 відновлення електроліту принаймні частково був заповнений електролітом 5. Крім того, зазначений вузол 9 відновлення електроліту сполучений через рідину з камерою 6 для електроліту. Коли пристрій 1 працює, вузол 9 відновлення електроліту дозволяє електроліту 5, який витікає з вузла 8 відновлення газу, перенаправлятися до камери 6 для електроліту, переважно, через колінчасту трубу 25 вузла 9 відновлення електроліту, яка примикає до анодної пластини 2 і сполучена через рідину з камерою 6 для електроліту. Цей вузол 9 відновлення електроліту переважно містить засіб розділення газ-рідини (не показаний), який дозволяє покращити розділення між газами, які відводяться через впускний отвір 10 для газу, і електролітом, який підлягає відновленню в камері 6 для електроліту. Цей засіб розділення газ-рідини може бути, наприклад,

суцільною пластиною, яка проходить вздовж вузла 9 відновлення, і має перфорації для відділення газу і рідини.

В пристрої 1 відповідно до винаходу, корпус 4 додатково містить пристрій 30 відновлення електроліту, який має насосний пристрій 22, розташований на одному з його кінців, і щонайменше два зворотних клапана 31A, 31B. Розташування на кінці дозволяє використовувати всю ширину пристрою для відкачування і таким чином підвищити ефективність відновлення. Він може бути розташований зовні (не показано) корпусу 4 або, принаймні, частково всередині, як зображено на Фіг. 1A і 1B. Переважно він розташований в нижній частині 27 комірки, навпроти входу 21 для електроліту. Цей насосний пристрій 22 може бути пневматичним мембранним насосом. Він приводиться в дію приводом 24, зазначеним приводом може бути пневматичний циліндр або гідравлічний привод.

Фахівець в цій галузі знає, як визначити розмір насосного пристрою, які швидкість потоку і частота відкачування потрібні відповідно до розміру електролізної комірки, щоб забезпечити хороше відновлення електроліту.

Насосний пристрій 22 сполучений щонайменше з двома зворотними клапанами 31A, 31B, перший 31A розташований в камері 6 для електроліту, а другий 31B розташований у вузлі 8 відновлення газу. Ці зворотні клапани пристрої 31A, 31B можуть бути еластичними мембранами або механічними клапанами. Вони виготовлені з електроізоляційних матеріалів. Якщо це мембрани, вони можуть бути виготовлені з етиленпропілендієнового мономера (EPDM). Вони також можуть бути комбінацією цих різних типів пристроїв.

Тепер буде описана робота пристрою 1 під час реакції електролізу.

Електроліт 5 безперервно циркулює всередині контуру через камеру 6 для електроліту від входу 18 до вихідної камери 27 завдяки насосному пристрою 22 і зворотним клапанам 31A, 31B. Джерело електроенергії, підключене як до анодної пластини 2, так і до катодної пластини 3, вмикається, і в камеру 6 для електроліту регулярно подається залізна руда, яка надходить із засобів 21 подачі залісної руди в пристрій 1. Корпус 4 майже заповнений електролітом 5, як зображено на Фіг. 1A і 1B, і тільки вихідний отвір 10 для газу не містить електроліту. За цих умов може проходити реакція електролізу.

Залізна руда відновлюється, а чисте залізо осідає на катодній поверхні 3, при цьому утворений кисень разом з електролітом протікає через анодну пластину 2 в напрямку вузла 8 відновлення газу дегазаційного блока 7.

Щоб забезпечити циркуляцію газів від вузла 8 відновлення газу до вузла 9 відновлення електроліту і, нарешті, до вихідного отвору 10 для газу, поздовжня вісь X переважно нахилена відносно горизонтального напрямку під кутом від 40° до 60°, переважно 50°. Таким чином, вихідний отвір 10 для газу знаходиться у найвищому положенні корпусу 4, щоб забезпечити виведення газів.

Під час циркуляції через вузол 8 відновлення газу рухомі газу переміщують електроліт 5 від зазначеного вузла 8 відновлення газу до вузла 9 відновлення електроліту. Газу безперервно течуть до вихідного отвору 10 для газу, тоді як електроліт 5 під дією сили тяжіння повертається в камеру 6 для електроліту і відновлюється в контурі 20. Однак, ця циркуляція газів не є достатньою для забезпечення хорошого відновлення електроліту 5. Таким чином, насосний пристрій безперервно відкачує і повертає назад електроліт в середину пристрою.

В режимі відкачування, як показано на Фіг. 1A, перший зворотний клапан 31A, розташований в камері 6 для електроліту, відкритий, тоді як другий зворотний клапан 31B, розташований у вузлі 8 відновлення газу, закритий. Насосний пристрій 22 активується приводом 28 для відкачування електроліту 5 з камери 6 для електроліту.

В режимі повернення назад, як показано на Фіг. 1B, перший зворотний клапан 31A, розташований в камері 6 для електроліту, закритий, тоді як другий зворотний клапан 31B, розташований у вузлі 8 відновлення газу, відкритий. Насосний пристрій 22 активується приводом 28, щоб повернути електроліт 5 назад до вузла 8 відновлення газу. У переважному варіанті здійснення, коли насосний пристрій 22 розташований в нижній частині комірки, потік, який повертається назад додатково накладається на потік, створений підйомною силою газу, який виходить через анод 2.

Тоді можна відновлювати електроліт 5 в камері 6 для електроліту, не викликаючи накопичення газу на рівні катода. Це запобігає необхідності регулярно вводити свіжий потік електроліту в пристрій 1.

У всіх описаних раніше варіантах здійснення пристрій переважно живиться відновлюваною енергією, яка визначається як енергія, зібрана з відновлюваних ресурсів, які природним чином поповнюються в часовому масштабі людини, включаючи такі джерела, як сонячне світло, вітер, дощ, припливи, хвилі і геотермальна енергія, тепло. В деяких варіантах можна використовувати

електроенергію, що надходить з ядерних джерел, оскільки вона не виділяє CO₂ в процесі роботи. Це додатково обмежує викиди CO₂ в процесі виробництва заліза.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

5

1. Пристрій (1) для виробництва металевого заліза шляхом відновлення залізної руди з допомогою реакції електролізу, в якому зазначена реакція електролізу виділяє газ, причому цей пристрій містить корпус (4), який має газопроникну анодну пластину (2), катодну пластину (3), які обидві звернені одна до одної і розділені камерою (6) для електроліту, зазначений корпус (4) забезпечений засобами для подачі електроліту (5) всередину камери (6) для електроліту і засобами для подачі залізної руди в зазначену камеру (6) для електроліту, корпус (4) додатково містить блок (7) дегазації, який містить вузол (8) відновлення газу, який проходить вздовж протилежної сторони (23) анодної пластини (2) до камери (6) для електроліту, і вузол (9) відновлення електроліту, який проходить від вузла (8) відновлення газу до вихідного отвору (10) для газу і сполучений через рідину з камерою (6) для електроліту, пристрій додатково містить пристрій (30) для циркуляції електроліту, включаючи насосний пристрій (22), розташований на одному кінці корпусу (4), і щонайменше перший зворотний клапан (31A), розташований в камері (6) для електроліту, і другий зворотний клапан (31B), розташований у вузлі (8) відновлення газу, причому зазначений пристрій (30) для циркуляції електроліту виконаний з можливістю відкачування електроліту (5) з камери (6) для електроліту або для повернення електроліту (5) назад у вузол (8) відновлення газу, коли активується привод (28).

2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що насосний пристрій (22) розташований на кінці корпусу (4) навпроти засобів для подачі електроліту (5).

3. Пристрій за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що насосний пристрій (22) розташований на одному кінці корпусу (4) та частково поза корпусом (4), але сполучений з ним через рідину.

4. Пристрій за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що насосний пристрій (22) розташований частково всередині корпусу (4).

5. Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що зворотні клапани (31A, 31B) є еластичними мембранами, виготовленими з електроізоляційного матеріалу.

6. Пристрій за п. 5, який **відрізняється** тим, що зазначені еластичні мембрани виготовлені з етиленпропілендієнового мономера.

7. Пристрій за пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що зворотні клапани (31A, 31B) є механічними клапанами, виготовленими з електроізоляційного матеріалу.

8. Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що привод (28) є гідравлічним приводом.

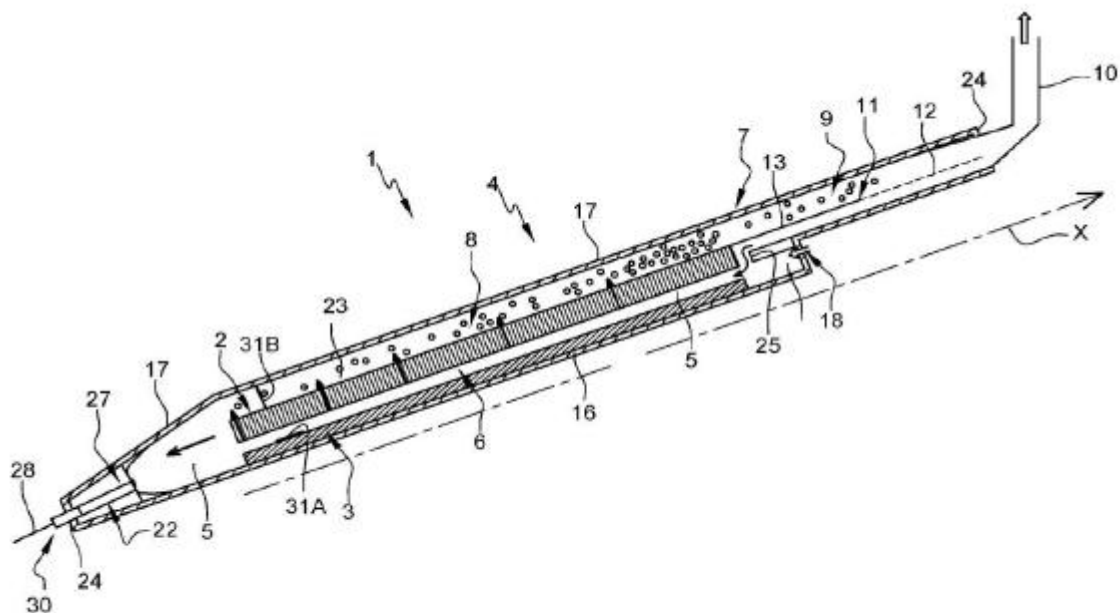


Fig. 1A

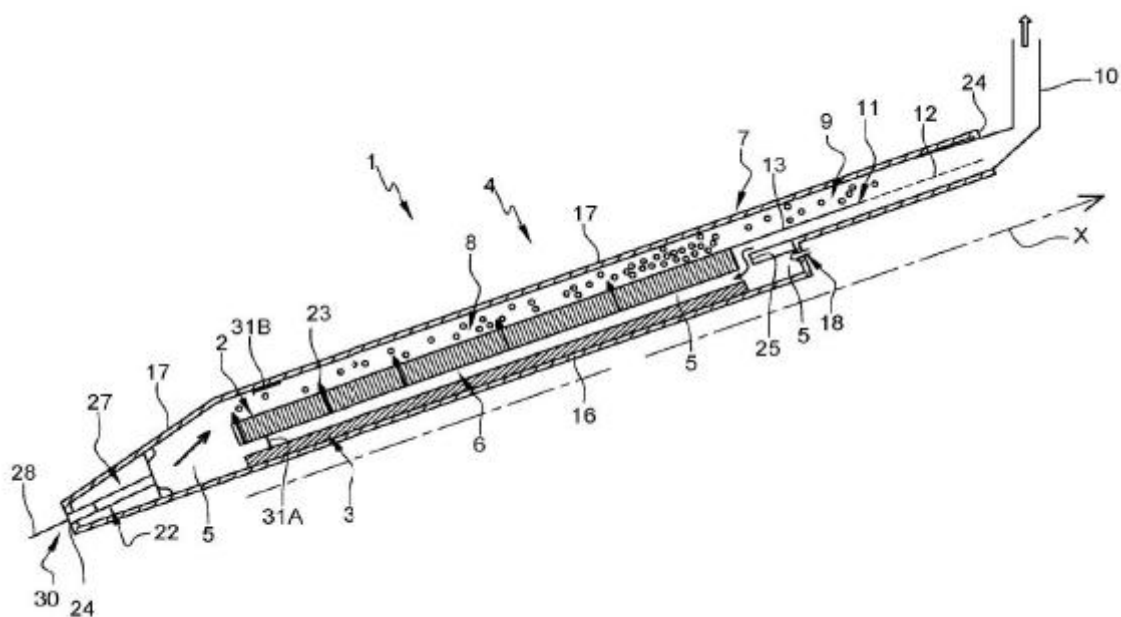


Fig. 1B