



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 71545

(13) C2

(51) 7 B24C1/04,5/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ПОТОКУ ЧАСТИНОК І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ (ВАРІАНТИ)

1

(21) 2000020754
(22) 10.07.1998
(24) 15.12.2004
(86) PCT/US98/14305, 10.07.1998
(31) 08/891,667
(32) 11.07.1997
(33) US
(31) 09/113,975
(32) 09.07.1998
(33) US
(46) 15.12.2004, Бюл. № 12, 2004 р.
(72) Пао Мішель Й.х., US, Мадонна Пітер Л., US, Куган Росс Т., US
(73) ВАТЕРДЖЕТ ТЕХНОЛОДЖІ ІНК., US
(56) EP 0 691 183, 10.01.1996
US 4 545 157, 08.10.1985
US 4 125 969, 21.11.1978
(57) 1. Спосіб одержання потоку частинок, що рухаються з високою швидкістю через камеру, який **відрізняється** тим, що включає наступні операції: прискорення цих частинок до дозвукової швидкості з використанням принаймні одного струменя газу для створення потоку частинок; прискорення цих частинок до більш високої швидкості за допомогою введення в контакт потоку частинок під непрямым кутом з принаймні одним струменем води під надвисоким тиском усередині камери; і надання спіралеподібного руху частинкам за допомогою вприскування принаймні одного струменя текучого середовища.
2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що включає додаткову операцію: посилення спіралеподібного руху частинок за допомогою зменшення внутрішнього радіуса камери.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що вводять принаймні один струмінь текучого середовища за допомогою вприскування текучого середовища під тиском.
4. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що введення принаймні одного струменя текучого середовища виконують за допомогою пасивного всмоктування текучого середовища.
5. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що текучим середовищем є повітря.
6. Спосіб одержання потоку частинок, що рухаються з високою швидкістю через камеру, який **відрізняється** тим, що включає наступні операції: прискорення вказаних частинок до дозвукової

2

швидкості з використанням принаймні одного струменя газу для створення потоку частинок; після цього прискорення частинок до більш високої швидкості за допомогою введення в контакт потоку частинок з принаймні одним струменем води при надвисокому тиску всередині камери; і надання спіралеподібного руху частинкам за допомогою зменшення внутрішнього радіуса камери.
7. Спосіб одержання потоку частинок, що рухаються з високою швидкістю через камеру, який **відрізняється** тим, що включає наступні операції: прискорення численності частинок до дозвукової швидкості з використанням принаймні одного струменя газу для створення потоку частинок; після цього прискорення частинок до більш високої швидкості за допомогою введення в контакт потоку частинок під непрямым кутом з принаймні одним струменем води при надвисокому тиску всередині камери; і після цього надання спіралеподібного руху частинкам за допомогою застосування внутрішньої конфігурації камери.
8. Спосіб за п.7, який **відрізняється** тим, що спіралеподібний рух надають за допомогою численності каналів, що розташовані на внутрішній стінці камери.
9. Спосіб за п.7, який **відрізняється** тим, що спіралеподібний рух надають за допомогою зміни внутрішньої геометрії камери.
10. Спосіб за п.7, який **відрізняється** тим, що включає додаткову операцію: посилення спіралеподібного руху за допомогою зменшення внутрішнього радіуса камери.
11. Спосіб за п.7, який **відрізняється** тим, що включає додаткову операцію: розсіювання потоку за допомогою наступного збільшення внутрішнього радіуса камери.
12. Спосіб за п.7, який **відрізняється** тим, що вказаний потік частинок прискорюють до швидкості близько 182,9м/сек.
13. Пристрій для одержання високошвидкісного текучого струминного потоку з абразивних частинок, який **відрізняється** тим, що містить: змішувальну камеру; впускний засіб для повітря і частинок, розташований на одному кінці змішувальної камери, для подачі потоку з повітря і частинок у змішувальну камеру з дозвуковою швидкістю; принаймні один впускний засіб для рідини при надвисокому тиску, яка подається рідинним способом у змішу-

(13) C2

(11) 71545

(19) UA

вальну камеру для прискорення потоку з повітря і частинок до більш високої швидкості; і принаймні один впускний засіб для повітря, розташований до впускних засобів для води, суміщений з ними або розташований після них, яке подається рідинним способом у змішувальну камеру для надання або посилення радіальної течії у потоці.

14. Спосіб одержання потоку з рідини і абразивного матеріалу під надвисоким тиском, який **відрізняється** тим, що включає: створення стисненого потоку з абразивних частинок і повітря, що надходить у впускний отвір сопла, яке має ближню зону, що звужується, і дальню зону, що розширюється; прискорення стисненого потоку абразивних частинок до першої швидкості, що становить більше за 91,44м/сек, за допомогою пропускання стисненого потоку через сопло, причому стиснений потік абразивних частинок надходить у змішувальну камеру; подачу струменя рідини при надвисокому тиску в змішувальну камеру, при цьому струмінь рідини при надвисокому тиску входить у контакт і прискорює стиснений потік абразивних частинок до другої швидкості, яка перевищує першу швидкість, для одержання потоку з рідини й абразивного матеріалу при надвисокому тиску; і викид потоку рідини й абразивного матеріалу при надвисокому тиску через вихідний отвір.

15. Спосіб за п.14, який **відрізняється** тим, що додатково включає: вибіркове пропускання і припинення потоку абразивних частинок через вхід сопла.

16. Спосіб за п.14, який **відрізняється** тим, що додатково включає: вибіркове пропускання і припинення потоку зі струменя рідини при надвисокому тиску до змішувальної камери.

17. Пристрій для одержання струменя рідини, що містить абразивні частинки, який **відрізняється** тим, що містить: джерело абразивних частинок під тиском газу, що з'єднане зі входом першого сопла для одержання стисненого потоку абразивних частинок, який надходить до входу першого сопла, причому перше сопло має ближню зону, що звужується, з'єднану з дальньою зоною, що розширюється; змішувальну камеру, що сполучається по рідині з виходом першого сопла, яка розташована так, що джерело абразивних частинок прилягає до дальньої зони, що розширюється, першого сопла, причому стиснений потік абразивних частинок проходить через перше сопло і прискорюється ним до швидкості понад 91,44м/сек і викидається у змішувальну камеру; впускний отвір для рідини, що сполучається по рідині зі змішувальною камерою і з джерелом рідини при надвисокому тиску, при цьому струмінь рідини при надвисокому тиску викидається через впускний отвір для рідини з достатньою швидкістю для збільшення і прискорення стисненого потоку абразивних частинок; і випускну трубу зі входом, що сполучається по рідині зі змішувальною камерою, і виходом, через який викидається струмінь рідини при надвисокому тиску, який містить абразивні частинки.

18. Пристрій за п.17, який **відрізняється** тим, що змішувальна камера оснащена першим впускним

отвором, який з'єднаний із джерелом газу для подачі потоку газу в змішувальну камеру для поліпшення розподілу абразивних частинок у струмені рідини при надвисокому тиску.

19. Пристрій за п.18, який **відрізняється** тим, що додатково містить: перший клапан, з'єднаний з першим соплом, для вибіркового пуску і припинення стисненого потоку абразивних частинок у перше сопло; другий клапан, з'єднаний зі впускним отвором для рідини, для вибіркового пуску і припинення потоку рідини при надвисокому тиску до змішувальної камери; і третій клапан, з'єднаний з першим впускним отвором, для вибіркового пуску і припинення потоку газу до змішувальної камери.

20. Пристрій за п.17, який **відрізняється** тим, що впускний отвір для рідини містить жиклер, вирівняний відносно проходу, що простягається від жиклера до отвору у пристрої вздовж траєкторії, по якій струмінь рідини при надвисокому тиску потрапляє до змішувальної камери.

21. Пристрій за п.17, який **відрізняється** тим, що додатково містить живильний кільцевий канал, що сполучається по рідині з численністю впускних отворів для рідини, які, у свою чергу, сполучені по рідині зі змішувальною камерою, при цьому об'єм рідини при надвисокому тиску подається в живильний кільцевий канал і направляється через численність впускних отворів для рідини до змішувальної камери.

22. Пристрій за п.17, який **відрізняється** тим, що змішувальна камера оснащена другим жиклером, що сполучається по рідині з джерелом хімічних матеріалів.

23. Пристрій за п.22, який **відрізняється** тим, що джерело хімічних матеріалів включає уповільнювач корозії.

24. Пристрій для одержання струменя рідини, що містить абразивні частинки, який **відрізняється** тим, що містить: джерело абразивних частинок під тиском газу, що з'єднане зі входом першого сопла для одержання стисненого потоку абразивних частинок, який надходить до входу першого сопла; змішувальну камеру, що сполучена по рідині з виходом першого сопла, яка розташована так, що джерело абразивних частинок прилягає до дальньої зони, що розширюється, першого сопла, причому стиснений потік абразивних частинок проходить через перше сопло і прискорюється ним до швидкості понад 91,44м/сек і викидається у змішувальну камеру; впускний отвір для рідини, що сполучений по рідині зі змішувальною камерою і з джерелом рідини при надвисокому тиску, при цьому струмінь рідини при надвисокому тиску викидається через впускний отвір для рідини з достатньою швидкістю для збільшення і прискорення стисненого потоку абразивних частинок; і випускную трубу зі входом, що сполучається по рідині зі змішувальною камерою, і виходом, через який викидається струмінь рідини при надвисокому тиску, який містить абразивні частинки.

Цей винахід відноситься до способу і пристрою для отримання високошвидкісного потоку частинок, які використовуються у великій кількості варіантів застосування, включаючи підготовку поверхні, різання і фарбування, але не обмежується ними.

Одержання високошвидкісних потоків частинок для підготовки поверхонь, наприклад, для видалення нашарувань, іржі і прокатної окалини з корпусів суден, емностей для зберігання, трубопроводів і т.д., традиційно виконувалось залученням частинок високошвидкісним потоком газу (такого як повітря) і викиданням їх через прискорювальне сопло на об'єкт, що очищується. Звичайно такі пристрої приводяться в дію стисненим повітрям і містять: повітряний компресор, резервуар для вмісту абразивних частинок, вимірювальний засіб для регулювання маси потоку частинок, рукав для подавання потоку з повітря і частинок і сопло, що звужується - пряме, або що звужується-розширюється, для викидання потоку.

Одержання високошвидкісних потоків частинок для різання матеріалів, наприклад, "холодне різання" (в протилежність різанню факелом пальника, плазмового різання і лазерного різання, які є "гарячими" способами, заснованими на застосуванні тепла) сплавів, кераміки, скла і шаруватих матеріалів і т.д., традиційно виконувалося залученням частинок високошвидкісним потоком рідини (такої як вода) і наведенням його через сопло, що фокусує, на об'єкт, що розрізається. Як правило, такі пристрої приводяться в дію водою під високим тиском і містять: водяний насос високого тиску, резервуар для вмісту абразивних частинок, вимірювальний засіб для регулювання маси потоку частинок, рукав для подання частинок, рукав для подання води під високим тиском і сопло, що звужується, в якому формується високошвидкісний потік води для залучення і прискорення потоку частинок, який спрямований на об'єкт, що розрізається.

Якщо потік частинок подається для підготовки поверхні або для різання, механізм його дії, відомий спеціалістам в даній галузі техніки як "мікрообробка", по суті однаковий. Виникають інші ефекти, але вони є тільки другорядними ефектами. Принципові механізми обробки прості. Абразивна частинка, що має кінетичну енергію (I), яка є добутком її маси (m) і її швидкості (v), стикається з поверхнею об'єкту. При ударі зміна кінетичної енергії, що отримується за час ($m \times dv/dt$) утворює силу (F). Така сила, що докладається до малої точки контакту дрібної частинки, дає підвищення локалізованих тисків, напруг і зсувів, що значно перевищують критичні характеристики матеріалу, отже, викликають локалізовані пошкодження матеріалу і його видалення, тобто ефект мікрообробки.

Як стає очевидним з наведеного вище опису, оскільки питомі ваги доступних на ринку абразивних частинок знаходяться у вузькій межі, будь-яке значне збільшення їх очисної або ріжучої здатності повинно відбуватися від збільшення швидкості. По-друге, важлива не тільки швидкість, але, у варіантах застосування для підготовки поверхні, час-

тинки повинні входити в контакт з поверхнею у рівномірно розсіяному порядку, тобто у високому ступені сфокусований потік міг би обробляти лише точечну зону, отже, вимагатися витратити велику кількість людино-годин і велику кількість абразивного матеріалу для обробки заданої поверхні. По-третє, було б ідеально, якби частинки стикалися з поверхнею, що обробляється, але не стикалися одна з одною. Однак для операцій різання необхідний сфокусований потік для руйнування матеріалу об'єкту глибше та глибше і, в деяких випадках, для руйнування його.

Спеціаліст в галузі підготовки поверхні потоком частинок і в галузі абразивного різання, що бажає удосконалити пристрій і спосіб підготовки поверхні або різання, стикається з рядом проблем. По-перше, кількість абразивних частинок, необхідних на площу нашарувань, які видаляються, може бути дуже великою, що в свою чергу, означає не тільки підвищення експлуатаційних витрат, але й підвищення витрат на прибирання та видалення відходів.

По-друге, використання абразивних частинок способом описаного тут звичайного сухого дуття утворює велику кількість пилу, як від самих частинок, так і від матеріалу об'єкту, що подрібнюється, з яким стикаються частинки. Такий пил надто небажаний, оскільки він завдає шкоди здоров'ю та оточуючому середовищу. Це також стосується безпеки і обмежень роботи оточуючих механізмів і обладнання. Для покращення ситуації, в деякі пристрої додають воду під низьким тиском для зволоження частинок безпосередньо перед їх розпиленням з сопла пристрою. Проте вода дає небажаний побічний ефект зменшення швидкості абразивних частинок, що, в свою чергу, знижує ефективність дії частинок за призначенням (тобто по видаленню нашарувань або різці матеріалу). Додавання води дає додатковий небажаний побічний ефект, який викликає тенденцію частинок збиратися в одне ціле і формувати шматки, що також серйозно знижує ефективність їх дії. В промисловості загальною думкою є те, що вода не може бути додана у сухий потік повітря і частинок без зменшення швидкості частинок. Ця думка була підтверджена широким тестуванням. Однак додавання води у потік повітря і частинок дуже важливо для багатьох варіантів застосування для зменшення утворення пилу і, фактично, може бути єдиним засобом, який узгоджується з правилами техніки безпеки, охорони оточуючого середовища і здоров'я.

По-третє, доступні в наш час абразивні пристрої для різання потоком частинок (з використанням абразивних частинок для різання недорогих матеріалів, таких як сталь, бетон, деревина і т.д.) вимагають значно більшої подачі потужності в порівнянні з іншим існуючими способами, такими як, наприклад, різання факелом пальника, плазмового різання, лазерне різання або різання алмазним засобом. Отже, недоліком абразивного різання в порівнянні з іншими способами є не ефективність різання, а скоріше вартість. Абразивне різання з подачею водяного або повітряного струменю ви-

магає великої подачі потужності, що робить її надміру багатовартісною для більшості варіантів застосування, за винятком особливих випадків, що стосуються холодного різання і/або контурного різання теплочутливих матеріалів.

Таким чином, проблемою, що стоїть перед спеціалістом у даній галузі техніки, є створення пристрою або способу, який забезпечує напрямок рівномірно розподіленого розсіяного потоку абразивних частинок на поверхню, що очищується, (або зосередженого потоку абразивних частинок на поверхню, що розрізається) з максимальною швидкістю, при можливо найменшому споживанні потужності й без одержання неприпустимих рівнів утворення завислого пилу.

Найбільш просте рішення, що збільшує швидкість частинок, є проблематичним. Звичайно воно здійснюється за допомогою збільшення частинок у повітрі, незважаючи на те, що повітря є неефективним засобом для прискорення частинок у межах короткої відстані внаслідок його низької відносної щільності й практичних обмежень довжини для підсмоктуючого/прискорюючого сопла, що керується оператором. Тобто частинки, після досягнення певної швидкості, не продовжують прискорюватися і повітрям, а рухаються повільніше повітря в потоці з ковзанням. Швидкість частинок, коли вони рухаються потоком повітря, додатково знижується через те, що часто в потік повітря й частинок повинна вводиться вода для "зволоження" частинок для зменшення утворення завислого пилу. Ця вода, при її збільшеній подачі в потік з частинок і повітря, призводить до додаткового зменшення швидкості потоку, і часто істотного зменшення.

З рівня техніки відомі рішення, якими намагалися вирішити вищевказані проблеми. Зокрема, в патенті США №4,125,969, виданому Easton, описаний спосіб одержання потоку частинок, що рухаються з високою швидкістю через камеру та пристрій для одержання високошвидкісного текучого струминного потоку частинок.

Проте всі вищезгадані проблеми в цьому патенті США №4,125,969, виданому Easton, вирішені не були.

Таким чином, критична потреба в даній галузі техніки може бути задовільнена розробкою способу та пристрою, які забезпечили б рівномірно розподілений розсіяний потік абразивних частинок, який подається на поверхню (що очищається), або зосереджений потік частинок, який подається на поверхню (що розрізається), з максимально можливою швидкістю частинок при максимально низькій потужності, що споживається, і який не створює неприпустимо високі рівні утворення завислого пилу.

Першим завданням цього винаходу є створення способу одержання потоку частинок, що рухаються з високою швидкістю через камеру, за допомогою прискорення частинок до дозвукової швидкості за допомогою одного або більше струменів рідини та надання частинкам радіального руху.

Другим завданням цього винаходу є створення пристрою для одержання струменевого потоку з абразивних частинок.

Згідно з першим аспектом цього винаходу створено спосіб одержання потоку частинок, які рухаються з високою швидкістю через камеру, який згідно з винаходом включає операції прискорення частинок до дозвукової швидкості з використанням принаймні одного струменя газу для отримання вказаного потоку частинок, прискорення вказаних частинок до більш високої швидкості шляхом контакту потоку частинок під непрямым кутом з принаймні одним струменем води при надвисокому тиску всередині камери, та надання спіралеподібного руху частинкам за допомогою вприскування принаймні одного струменя текучого середовища.

Згідно з іншим аспектом даного винаходу створено спосіб одержання потоку частинок, що рухаються з високою швидкістю через камеру, який згідно з винаходом включає операції прискорення вказаних частинок до дозвукової швидкості за використання принаймні одного струменя газу для створення вказаного потоку частинок, потім прискорення вказаних частинок до більш високої швидкості шляхом контакту потоку частинок під непрямым кутом з принаймні одним струменем води при надвисокому тиску всередині камери, та надання спіралеподібного руху частинкам за допомогою зменшення внутрішнього радіусу камери.

Згідно з іще одним аспектом даного винаходу створено спосіб одержання потоку частинок, що рухаються з високою швидкістю через камеру, який, згідно з винаходом, включає операції прискорення численності частинок до дозвукової швидкості за використання принаймні одного струменя газу для створення потоку частинок, потім прискорення вказаних частинок до більш високої швидкості шляхом контакту потоку частинок під непрямым кутом з принаймні одним струменем води при надвисокому тиску всередині камери, і після цього - надання спіралеподібного руху частинкам за допомогою застосування внутрішньої конфігурації камери.

Згідно з іще одним аспектом даного винаходу створено пристрій для одержання високошвидкісного текучого струминного потоку з абразивних частин засіб для повітря і частинок, розташований на одному кінці змішувальної камери, для подачі потоку з повітря і частинок у змішувальну камеру з дозвуковою швидкістю, який згідно з винаходом містить змішувальну камеру, впускний, принаймні одне впускне середовище для рідини при надвисокому тиску, яка подається рідинним способом у змішувальну камеру для прискорення потоку з повітря і частинок до більш високої швидкості, та принаймні один впускний засіб для повітря, розташований до впускних засобів для води, суміщений з ними або розташований після них, яке подається рідинним способом у змішувальну камеру для надання або посилення радіальної течії у потоці.

Згідно з ще одним аспектом даного винаходу створено пристрій для одержання високошвидкісного текучого струминного потоку з абразивних частинок, який містить змішувальну камеру, впускний засіб для повітря і частинок, розташований на одному кінці змішувальної камери, для подачі потоку з повітря і частинок у змішувальну камеру з

дозвуквою швидкістю, принаймні один впускний засіб для рідини при надвисокому тиску, яка подається рідинним способом і під непрямым кутом у змішувальну камеру для прискорення потоку з повітря і частинок до більш високої швидкості, і засіб для створення або посилення спіралеподібної течії в потоці з повітря і частинок.

Згідно з іншим аспектом даного винаходу створено спосіб одержання потоку з рідини під надвисоким тиском і абразивного матеріалу, який згідно з винаходом включає створення стисненого потоку з абразивних частинок і повітря, що надходить у впускний отвір сопла, яке має ближню зону, що звужується, і дальню зону, що розширюється, прискорення стисненого потоку абразивних частинок до першої швидкості, що становить більше 91,44м/сек, за допомогою пропускання стисненого потоку через сопло, причому стиснений потік абразивних частинок надходить у змішувальну камеру, подачу струменя рідини при надвисокому тиску в змішувальну камеру, при цьому струмінь рідини при надвисокому тиску входить у контакт і прискорює стиснений потік абразивних частинок до другої швидкості, яка перевищує першу швидкість, для одержання потоку з рідини й абразивного матеріалу при надвисокому тиску, і викид потоку рідини й абразивного матеріалу при надвисокому тиску через вихідний отвір.

Згідно з іще одним аспектом даного винаходу створено пристрій для одержання струменя рідини, що містить абразивні частинки і який згідно з винаходом містить джерело абразивних частинок під тиском газу, з'єднане зі входом першого сопла для одержання стисненого потоку абразивних частинок, який надходить до входу першого сопла, причому перше сопло має ближню зону, що звужується, з'єднану з дальньою зоною, що розширюється, змішувальну камеру, що сполучається по рідині з виходом першого сопла, яка розташована так, що воно прилягає до дальньої зони, що розширюється, першого сопла, причому стиснений потік абразивних частинок проходить через перше сопло і прискорюється ним до швидкості понад 91,44м/сек і викидається у змішувальну камеру, впускний отвір для рідини, що сполучається по рідині із змішувальною камерою і з джерелом рідини при надвисокому тиску, при цьому струмінь рідини при надвисокому тиску викидається через впускний отвір для рідини з достатньою швидкістю для збільшення і прискорення стисненого потоку абразивних частинок, і випускную трубу зі входом, що сполучається по рідині із змішувальною камерою, і вихід, через який викидається струмінь рідини при надвисокому тиску, який містить абразивні частинки.

Даний пристрій та спосіб мають велику кількість переваг у порівнянні з існуючими на цей час пристроями. Основною проблемою, що стоїть перед спеціалістами в даній галузі техніки, є питання про те, як прискорити частинки до найвищої практично можливої швидкості, використовуючи мінімальну потужність і застосовуючи пристрій практичних розмірів. По-перше, таке завдання досягається у цьому винаході за допомогою збільшення до максимуму швидкості частинок з відносно низкою споживчою потужністю та із застосу-

ванням пристрою практичних розмірів. Абразивні частинки прискорюються, згідно цьому винаходу, до більш високих швидкостей, ніж швидкості, що досягаються з використанням звичайних пристроїв, при цьому потрібна істотно менша споживча потужність у порівнянні із звичайними пристроями.

Друга перевага цього винаходу, що відноситься до варіантів його здійснення, які призначені для підготовки поверхні або видалення нашарувань, полягає в тому, що він забезпечує досягнення рівномірного розсіювання частинок. Це збільшує площу поверхні, яка може оброблятися одиницею кількості абразивних речовин, і приводить до одержання більшої продуктивності та менших витрат на одиницю площі поверхні, що обробляється, і до менших витрат на абразивні речовини, прибирання та видалення відходів. (Витрати на видалення відходів можуть бути істотними у випадку видалення витрачених абразивних речовин, що містять шкідливі відходи).

Ці переваги досягаються, згідно цьому винаходу, за допомогою кількох варіантів його здійснення, в яких створюється і використовується вихровий рух, який надає частинкам радіальний момент, що керується, в додаток до осьового моменту, що направлений вперед. Це приводить до ефекту, що керується, розсіювання частинок, які виходять із змішувальної камери, і, отже, більш широка площа поверхні піддається впливу потоку частинок, що очищують, в результаті чого підвищується продуктивність і зменшуються витрати для варіантів, які застосовуються для підготовки поверхні, і, відповідно, зменшується споживання абразивних матеріалів на одиницю площі, що обробляється.

Третя перевага цього винаходу відноситься до підводного різання і очищення або, в основному, до ситуації, коли високошвидкісний потік частинок, які викидаються з камери, повинен проходити через плинне середовище, що відрізняється від газу або повітря, коли він рухається до заданого об'єкту. Спеціалісту в даній галузі техніки добре відомо, що ефективність очищення і різання за допомогою високошвидкісного струменя води і потоку частинок під водою різко падає при збільшенні відстані до об'єкту, тобто від відстані між виходом із сопла і об'єктом. Причиною є наявність рідкого середовища, такого як вода, яка має щільність, приблизно у 800 разів більшу, ніж повітря, в зоні між виходом з камери і об'єктом. Звичайні високошвидкісні струмені рідини, які повинні пробивати таке середовище для досягнення заданого об'єкту, занурюються в оточуючу воду. В результаті, при такій малій відстані, як 12,7мм, струмені втрачають велику частину їх енергії та ефективності, призначених для очищення і різання. Згідно цьому винаходу, повітря викидається з камери з вихровим рухом, утворюючи обертову і, отже, стабілізовану зону з газу, яка відступає від виходу камери. Між соплом і об'єктом утворюється локалізований повітряний простір у формі, що обертається, стабілізованої повітряної кишені, що утворюється вихровим рухом. Отже, високошвидкісні струмені частинок і води тепер можуть проходити через цю стабілізовану повітряну кишеню, не втрачаючи різальної або очищувальної здатності в умовах "повітряного

простору", що створений під водою.

Четверта перевага цього винаходу полягає в тому, що він усуває утворення пилу і відповідно шкоду оточуючому середовищу, здоров'ю, професійній та виробничій безпеці, які притаманні підготовці поверхні сухим потоком частинок (що звичайно називають піскоструминною обробкою) на відкритому повітрі. Добре відомо, що піскоструминна обробка утворює хмари пилу, які можуть розповсюджуватися на великі відстані та містять достатньо малі частинки, що складають серйозну небезпеку для органів дихання і викликають подразнення очей не тільки оператора, але й оточуючих людей. Цей пил містить не тільки подрібнені абразивні частинки, але може містити частинки матеріалу, видаленого з поверхні, що обробляється. Він може містити пігменти та інші сполуки, що запобігають корозії та обростанню поверхні, такі як окиси важких металів (наприклад, окис свинцю), металлоорганічні сполуки (зокрема, оловоорганічні сполуки) та інші токсичні сполуки, що нанесені на поверхню кілька років тому, і застосування яких давно заборонено. Сухе піскоструминне очищення, що є швидким і економічним і, за виключенням цього винаходу, не має економічної альтернативи, суворо контролюється і регулюється органами захисту оточуючого середовища і захисту здоров'я.

Із застосуванням звичайних пристроїв вирішити цю проблему намагаються за допомогою ізоляції, тобто закриття місця проведення робіт великим пластмасовими листами і створенням всередині отриманої ємності невеликого від'ємного тиску. Це виключно дорого. Наприклад, типова підготовка поверхні піскоструминними пристроями може коштувати біля 5,38 долара США/м², при цьому при ізоляції ця вартість зростає до 21,52 долара США/м².

Цей винахід контролює як утворення пилу, так і вивільнення пилу. По-перше, при використанні водних струменів з надвисокою швидкістю для прискорення абразивних частинок на другому етапі, всі частинки достатньо звожуються, і на виході сопла і на траєкторії польоту частинок до поверхні, що обробляється, по суті не утворюється пил. По-друге, викид частинок супроводжується одержанням тонкого туману з крапельок води, що утворений в результаті розбивання надшвидкісних водних струменів при їх взаємодії з частинками і повітрям у змішувальній камері. Такий туман поглинає на місці будь-які дрібні частинки і пил, що утворені внаслідок зіткнення частинок з об'єктом і їх руйнування або утворені з мікрооброблюваного матеріалу, що видаляється, об'єкту.

П'ятою перевагою цього винаходу є утворення багато меншої віддачі назад, що створюється пристроєм і способом, що відповідають цьому винаходу. Це відбувається в результаті набагато меншої витрати маси частинок на одиницю площі поверхні, що очищується (або розрізається), за допомогою меншої кількості набагато більш швидких частинок. Звідси, робота пристрою викликає меншу стомлюваність оператора і може полегшити умови праці. Крім того, це робить спосіб і пристрій більш пристосованими до змін і сприяє включенню в недорогі автоматизовані пристрої.

Далі цей винахід буде описаний більш докладно в наступному описі переважних варіантів його здійснення з посиланням на креслення і формулу винаходу, що додається.

Вказані вище аспекти і чисельні переваги даного винаходу будуть легше оцінені та стануть більш зрозумілими з посиланням на наступний детальний опис у поєднанні з супровідними кресленнями, на яких:

Фіг.1 зображує вид перерізу, що показує сопло, яке є переважним прикладом здійснення цього винаходу.

Фіг.2 зображує схему перерізу, що показує внутрішню частину сопла, яке показане на Фіг.1, але стилізовану для того, щоб виділити геометрію камери сопла і траєкторію руху абразивних частинок через камеру сопла.

Фіг.4 зображує вигляд поперечного перерізу, який показує сопло, виконане згідно альтернативного варіанту здійснення цього винаходу.

Цей винахід відноситься до способу одержання абразивних частинок за допомогою високошвидкісного потоку рідини для обробки або різання поверхні та пристрою для його здійснення. Спочатку абразивні частинки (наприклад, кварцовий пісок) прискорюються за допомогою залучення їх стисненим газом (таким як повітря) або впуском/всмоктуванням через рукав, що веде до сопла, яке має порожнисту камеру або "змішувальну камеру". В цій точці швидкість абразивних частинок досягає приблизно 182,9-195,0м/сек, що близько до практичної максимальної швидкості. Більш конкретно, повітря є слабким середовищем для прискорення абразивних частинок внаслідок його низької щільності; тобто вище певного рівня подальше збільшення швидкості повітря буде виявляти лише незначний вплив на швидкість частинок. Проте повітря є дуже дешевим і ефективним засобом для прискорення частинок приблизно до цієї швидкості, але не значно вище неї.

Після прискорення частинок до дозвуквої швидкості (відносно швидкості звуку в повітрі), потік з повітря і піску далі проходить через змішувальну камеру, де він зустрічається з одним або більше впускними отворами для подачі надшвидкісних струменів рідини (таких як водяні струмені) в потік з повітря і частинок. Водяний струмінь або струмені, що мають відносну швидкість до 1219,2м/сек відносно швидкості попередньо прискорених струменем газу частинок (які рухаються із швидкістю приблизно до 182,9-195,0м/сек), додатково прискорює частинки за допомогою прямої передачі кількості руху і надання їм більшої швидкості.

Впускні отвори для води, яка рухається з надвисокою швидкістю, розташовані таким чином, що вода стикається з потоком з повітря і частинок під непрямым кутом відносно осі, яка утворена потоком з повітря і частинок. Завдяки конвергенції водяного струменя і потоку з повітря і частинок, або завдяки внутрішній геометрії змішувальної камери, або завдяки комбінації того та іншого, всередині змішувальної камери створюється вир або вихровий рух потоку з повітря, частинок і води. Вихровий рух змушує абразивні частинки рухатися радіально назовні завдяки їх більшій масі (відносно

повітря і води) за рахунок відцентрової сили, створюючи кільцеву зону високої концентрації частинок. Водяні струмені з надвисокою швидкістю спрямовані в цій зоні таким чином, щоб здійснювати ефективну передачу частинкам кількості руху і залучати їх, що призводить до ефективного прискорення і доведення до максимуму швидкості частинок. Отже, введення водяних струменів з надвисокою швидкістю виконує три основні функції: (1) другого етапу прискорення частинок; (2) створення вихрового руху всередині потоку з повітря, частинок і води; і (3) створення зони високої концентрації частинок для переважного і ефективного контакту потоку частинок з водяними струменями з надвисокою швидкістю, що призводить до більш ефективного прискорення і більш високої швидкості частинок.

Крім того, в декількох переважних варіантах здійснення винаходу вихровий рух, що створюється в потоці рідини, посилюється декількома шляхами. В одному прикладі здійснення винаходу потік, що містить повітря, частинки та воду, проходить через останню частину сопла, де він піддається впливу повітря, що вводиться по дотичній. Це повітря може вводиться в камеру сопла завдяки від'ємному тиску, що створюється в камері рухом потоку. В альтернативному варіанті повітря може упорскуватись в камеру під тиском, який більше атмосферного тиску. В інших варіантах здійснення винаходу внутрішній діаметр змішувальної камери зменшується для збільшення радіальної швидкості частинок і, таким чином, посилення вихрового руху. В наборі цих варіантів здійснення винаходу внутрішній діаметр змішувальної камери потім послідовно розширюється для одержання рівномірного розсіювання частинок. З сопла виходить високошвидкісний потік рівномірно розподілених абразивних частинок, що рухаються з високою швидкістю, прискорених до такої швидкості двома етапами прискорення, перший з яких здійснюється за допомогою газу (стиснене повітря), а другий здійснюється за допомогою рідини (вода при надвисокому тиску). Таке двоетапне прискорення з використанням двох різних носіїв (газ і рідина) може не тільки долати базові обмеження прискорення частинок вище 182,9м/сек, при використанні повітря як носія, але й перевищувати сумарну енергетичну ефективність способу одноетапного або двоетапного прискорення частинок з використанням одного носія, такого як або тільки газ, або тільки рідина.

Таким чином, швидкість видалення поверхні (або швидкість різання) є функцією двох широких наборів параметрів. Перший набір параметрів (окремо від самих абразивних частинок) відноситься до початкової швидкості повітря, яке забезпечує подачу абразивних частинок в змішувальну камеру, розташовану до кута нахилу водяного струменя або струменів з надвисокою швидкістю, які сходяться з потоками з повітря і частинок, і подібним параметрам вприскування повітря для посилення вихрового руху (якщо воно використовується в конкретному варіанті здійснення винаходу). Другий набір параметрів відноситься до геометрії самої змішувальної камери. Наприклад, малий діаметр може бути переважним в одному

місці всередині камери для збільшення швидкості обертання абразивних частинок і, отже, збільшення взаємодії частинок з водяним струменем або струменями з надвисокою швидкістю. Камера може потім розширюватися в бік виходу сопла для одержання контрольованого розсіювання потоку частинок. Конкретна геометрія (внутрішні радіуси) зменшувальної камери може бути оптимізована експериментальним шляхом для заданих витрат і швидкостей потоку з повітря, води і частинок.

Термін "непрямий", що тут використовується, відноситься до величини кута, яка більше 0°, але менше 90°.

Термін "косий", що тут використовується, відноситься до величини кута, яка більша 0°, але менша 90°, і яка виміряна вздовж різних осей відносно кута, який має "непряму" величину, наприклад, якщо кут, що утворений двома об'єктами, які лежать вздовж осі X, має "непряму" величину, то кут, що утворений двома об'єктами, які лежать вздовж осі, яка не паралельна цій осі, може називатися "косим" (що утворений величиною, яка лежить між 0° і 90°).

Термін "надвисокий тиск", що тут використовується, відноситься до конкретного типу насоса, який забезпечує подачу води під тисками, які більше від приблизно 1055кг/см² до приблизно 4219кг/см².

Термін "надвисока швидкість" відноситься до швидкості струменя рідини (такої як водяний струмінь), що складає більше 182,9м/сек і що сягає приблизно до 1219,2м/сек.

Термін "абразивна частинка" відноситься по суті до будь-якого типу частинок, на яких заснований процес в галузі обробки дуттям, для викидання з пристрою. Речовини, що звичайно використовують для цієї мети, включають кварцовий пісок, вугільний шлак, мідний шлак і граніт. "BB2049" - це промислове позначення одного розповсюдженого типу. Індекс 2049 відноситься до розміру частинки; частинки залишаються з розміром 20-49меш за Стандартом сти США. Іншим розповсюдженим типом є StarBlast.

На Фіг.1 показаний один переважний варіант здійснення цього винаходу. Пристрій, переважно, виконано з широко доступних матеріалів. Відомий спеціалісту в даній галузі техніки. Потік з повітря і частинок проходить по впускному рукаву 10 в сопло 20, де він потрапляє в змішувальну камеру 40. Пристрій може бути функціонально підрозділений на дві частини, перша частина 12 і друга частина 14. На першій частині 12 частинки прискорюються стисненим газом, переважно, але не виключно, повітрям. На другій частині 14 частинки додатково прискорюються водою при надвисокому тиску. Приблизна швидкість потоку частинок, коли він потрапляє в сопло 20, складає біля 183,9м/сек. Коли потік з повітря і частинок проходить через змішувальну камеру 40 він зустрічає один або більше отворів 52,54 для вприскування води при надвисокому тиску, які подають один або більше водяних струменів з надвисокою швидкістю у змішувальну камеру під непрямым кутом відносно центральної осі, що утворена рухом потоку з повітря і частинок. Струмені води утворюються створенням потоку при надвисокому тиску через впус-

ний отвір 50 і кільцевий канал 101 в жиклер 100, що розташований в кожному отворі 52, 54 для вприскування. Струмені рідини сходяться з потоком з повітря і частинок, таким чином прискорюючи частинки до більшої швидкості. Другою функцією водяних струменів з надвисокою швидкістю, завдяки їх орієнтації під непрямым і/або косим кутом, є зміна напрямку потоку від по суті осьового до вихорового або вихорового руху, за допомогою чого посилюється взаємодія частинок в потоці рідини.

В одному варіанті здійснення цього винаходу, потік, що містить повітря, частинки і воду, виходить з останнього кінця сопла 80. В інших особливо переважних варіантах здійснення винаходу, потік рідини додатково регулюється для посилення вихорового руху до його виходу з сопла. В одному особливо переважному варіанті здійснення винаходу, потік з повітря, частинок і води проходить далі по ходу подачі всередині сопла в точку, де він додатково змішується з повітрям.

Повітря може подаватися в змішувальну камеру 40 одним або декількома засобами. В одному переважному варіанті здійснення винаходу повітря надходить в змішувальну камеру 40 завдяки простому всмоктуванню або пасивному входу через один або більше отворів 60, 62, розташованих в соплі, які забезпечують подачу оточуючого повітря в змішувальну камеру. Більш конкретно, в цьому переважному варіанті здійснення винаходу повітря надходить до змішувальної камери через отвори 60 і 62 завдяки від'ємному тиску, який створюється рухом потоку рідини через змішувальну камеру.

В інших варіантах здійснення винаходу, повітря може примусово упорскуватися (під тиском) у змішувальну камеру 40. Також, у показаному варіанті здійснення винаходу повітря надходить до змішувальної камери 40 через отвори 60, 62, що розташовані до отворів 52, 54 для вприскування води при надвисокому тиску, які подають воду при найвищому тиску в камеру з впускного отвору 50. В інших варіантах здійснення винаходу, повітря може надходити в камеру після отворів 52, 54 для вприскування води. В інших варіантах здійснення винаходу повітря і вода можуть надходити в камеру одночасно. Отже, повітря надходить до змішувальної камери через пасивний рух завдяки позитивному градієнту тиску, зовні в змішувальну камеру і змішується з потоком з повітря, частинок і води, додатково посилюючи вихровий рух і, отже, сприяючи прискоренню частинок. В іншому особливо переважному варіанті здійснення винаходу, повітря не пасивно надходить до змішувальної камери, а активно накачується в змішувальну камеру під тиском. Наприклад, під тиском, що знаходиться в межах приблизно від $0,7 \text{ кг/см}^2$ до $10,5 \text{ кг/см}^2$.

В іншому переважному варіанті здійснення винаходу, вихровий рух створюється (без допомоги притоку повітря у змішувальну камеру 40) або додатково посилюється через зміни внутрішньої геометрії змішувальної камери. В деяких з цих прикладів, як показано на Фіг.2, потік з повітря, частинок і води, що проходить через змішувальну камеру 40, зустрічається з проходом 42, що звуку-

ється (тобто, діаметр змішувальної камери зменшується). Внаслідок цього, радіальна швидкість частинок збільшується завдяки принципу збереження кутової кількості руху. Збільшення радіальної швидкості призводить до збільшення концентрації частинок в зоні, на яку спрямовані водяні струмені з надвисокою швидкістю, що посилює їх зіткнення та збільшення частинок і, отже, процес прискорення частинок в камері. Далі за ходом потоку після цієї звуженої частини камери радіус 44 збільшується, що викликає розсіювання абразивних частинок, тобто рух в напрямку стінок камери, який відбувається завдяки радіальному моменту, що прикладений до частинок. Отже, змішувальна камера складається з частини 42, що звукується. За якою йде частина 44, яка розширюється. Рівномірне розсіювання, що регулюється, бажане для варіантів застосування для підготування поверхні, оскільки це збільшує площу поверхні, з якою стикаються абразивні частинки. В інших прикладах здійснення винаходу, вихровий рух створюється або посилюється за допомогою розташування канавок або ребер або лопаток на всій внутрішній стінці змішувальної камери або її частини.

В переважному варіанті здійснення винаходу змішувальна камера також обладнана одним або більше впускним отвором, який знаходиться в сполученні по рідині з джерелом хімічних матеріалів. Хоча різні хімічні матеріали можуть використовуватися в залежності від ситуації, в який використовується пристрій, у переважному варіанті здійснення винаходу в змішувальну камеру подаються уповільнювачі корозії.

На Фіг.3 показано додатковий переважний варіант здійснення цього винаходу. Як і на Фіг.2, діаметр змішувальної камери зменшується (частина 42, що звукується) для збільшення дотичної швидкості й концентрації частинок в зоні для ефектної взаємодії з водяними струменями з надвисокою швидкістю, але не розширюється після цього для здійснення розсіювання. Замість цього, сопло звукується для одержання труби 72, що фокусує. Отже, цей варіант здійснення винаходу більше придатний для різання на відміну від прикладу, що показаний на Фіг.2, який більш придатний для видалення поверхні.

Як додатково показано на Фіг.3, один струмінь рідини з надвисокою швидкістю вирівняний відносно поздовжньої осі входу сопла для посилення різальних характеристик. Пристрій також обладнаний безліччю сопел 20, що зміщені від поздовжньої осі й струменя рідини з надвисокою швидкістю, для забезпечення рівномірної подачі абразивних матеріалів до пристрою.

Оптимальні швидкості видалення або різання можуть бути отримані завдяки оптимізації внутрішньої геометрії змішувальної камери, тобто внутрішніх радіусів, геометрії посилення вихорового руху, конфігурації отворів для впуску або вприскування повітря для підсилення вихорового руху, а також розміщення частин, що звукуються/розширюються відносно впускних отворів для води і повітря.

В іншому переважному варіанті здійснення винаходу, показаному на Фіг.4, виконано декілька модифікацій для зменшення ваги пристрою, для

спрошення роботи і для зменшення виробничих витрат. В переважному варіанті здійснення винаходу, що показаний на Фіг.4, на другій частині прискорення абразивних частинок здійснюється за допомогою введення одного струменя рідини при надвисокому тиску через впускний отвір 50 і жиклер 100, розташований в отворі 52 для вприскування. Впускний отвір 50 і канал 102 безпосередньо вирівняні з жиклером 100 вздовж траєкторії, по якій струмінь рідини при надвисокому тиску виходить з отвору 52 для вприскування і надходить в змішувальну камеру, де він захоплює і прискорює потік абразивного матеріалу. Подібним чином тільки один впускний отвір 60 для повітря застосовується для подачі повітря по дотичній в змішувальну камеру 40. Пристрій, що виконаний у відповідності з варіантом здійснення винаходу, що показаний на Фіг.4, спрощує використання пристрою і його виробництво, таким чином зменшуючи витрати. Для додаткового зменшення ваги пристрою, змішувальна камера може бути виконана з алюмінію або нітриду кремнію або інших подібних матеріалів.

Пристрій, що отриманий згідно будь-якому з переважних варіантів здійснення цього винаходу, може містити елемент, який утримується в руках, що зазвичай називається пушкою. В переважному варіанті здійснення винаходу, як схематично показано на Фіг.4, сопло обладнано рядом клапанів 90, 92, 94, які дозволяють оператору вибірково переривати потік води і/або абразивного матеріалу. Наприклад, оператор може припинити потік абразивного матеріалу так, щоб тільки потік рідини і повітря виходив з сопла, що дозволить оператору змити залишки матеріалу, що зчищається, з об'єкту, який обробляється. В альтернативному випадку, оператор може перервати потоки води і абразивного матеріалу так, щоб тільки потік повітря виходив з сопла, що дозволить оператору висушити об'єкт, який обробляється. Якщо оператор виконує суху піскоструминну обробку, потік рідини при надвисокому тиску, що виходить з сопла, може бути перерваний. Оператор може, таким чином, вибірково змінювати функції сопла, не випускаючи його з рук або йти до віддаленого місця розташування джерела абразивного матеріалу або рідини при надвисокому тиску. Хоча можуть використовуватися різні клапани, в переважному варіанті здійснення винаходу, клапани 90, 92, 94 є керованими клапанами, які приводять в дію клапани джерела рідини при надвисокому тиску і джерела абразивного матеріалу.

Було проведено ряд порівняльних експериментів промислового масштабу в умовах належного контролю для дослідження як продуктивності, так і економічності способу і пристрою згідно цьому винаходу і звичайних пристроїв і способів. Результати деяких з цих експериментів викладені нижче. Видалення ґрунтування на цинковій основі або прокатної окалини з сталеву поверхню до чистого металу було вибрано для оцінки ефективності цього винаходу в порівнянні із звичайними способами. Хоча зоною даної демонстрації є підготовка поверхні, вона призначена не тільки для ілюстрації переваги цього винаходу в цьому варіанті застосування, але також і в інших варіантах, таких як рі-

зання, механічна обробка, фрезування, фарбування, коротше, будь-якому варіанті застосування, який заснований на подачі високошвидкісних частинок на поверхню. Шляхом порівняння швидкості видалення поверхневих нашарувань з ідентичним параметрами, можуть бути продемонстровані переважні характеристики пристрою і способу згідно цьому винаходу в порівнянні із звичайними пристроями і способом. Такі експерименти були призначені для (а) підтвердження продуктивності та економічності збільшення швидкості видалення за допомогою етапів прискорення, і (б) підтвердження продуктивності та економічності надання частинкам вихрового руху.

Параметри, що відносяться до наступних експериментів, наведені нижче. Крім того, зазначено діапазон для кожного параметру, в межах якого спосіб і пристрій можуть бути додатково оптимізовані. На Фіг.1 показані визначення, розташування, розміри і співвідношення.

Першим параметром, переліченим в таблиці 1, є "співвідношення діаметрів критичного перерізу", який є співвідношенням двох діаметрів D_1 і D_2 . Кожне з цих значень показано на Фіг.1; D_1 вимірний в точці, що розташована ближче до початку потоку, поблизу рукава 10 для впуску потоку з повітря і частинок; D_2 вимірний далі за ходом потоку, де горловина етапу 2 досягає її самого вузького діаметра. Другим показаним параметром ("співвідношення довжини і діаметру", яке є відношенням D_1 і L_2 , що також зображено на Фіг.1. Наступним показаним параметром є "кут з'єднання першого етапу і другого етапу". Для пристрою, показаного на Фіг.1, цей кут складає нуль градусів, оскільки перша частина 12 і друга частина 14 вирівняні співвісно. Наступним параметром, показаним в таблиці 1, є "косий кут першого етапу викиду в другий етап". Пристрій, показаний на Фіг.1, має косий кут, що дорівнює нулю і його неможливо побачити на Фіг.1. Цей параметр аналогічний попередньому, за виключенням того, що останній показує просторове співвідношення між двома етапами з точки зору розташування одного етапу відносно другого в площині, що перпендикулярна аркушу, на якому зображене креслення, "співвідношення потужності" - це відношення потужності в кінських силах на першій частині; або потужності рідинного потоку до потужності повітряного потоку. Цей параметр є інформаційним, оскільки, як ясно видно на Фіг.1, частина прискорюється двома джерелами: повітрям, що поступає через впускний рукав 10 на першому етапі, і водою, що поступає через отвори 52, 54 для вприскування на другому етапі. Кожна подача забезпечується джерелом потужності, звідси параметр "співвідношення потужності". "Співвідношення потужності вихрового руху" є подібним попередньому параметру і потужністю в кінських силах, що прикладається для створення або посилення вихрового руху над потужністю, яка прикладається на першій частині (потужність повітряного потоку). Наступний параметр - це "отвори для повітряних струменів для створення вихрового руху", який відноситься до кількості впускних отворів, через які подається повітря для створення/посилення вихрового руху. Два впускних отвори 60, 62 показані на Фіг.1. "Кут звуження вихрового

поток" відноситься до кута, під яким звужується внутрішній діаметр другого етапу 14 сопла. Більш конкретно, він відноситься до кута, який утворений лініями, що позначають перетин внутрішньої стінки другого етапу, визначеному від початку другої частини 14 до D_2 . "Косий кут впускного отвору для повітря для створення вихрового потоку" відноситься для розташування впускних отворів 60, 62 для повітря. Кут, під яким повітря надходить у внутрішній простір пристрою відносно площини, що паралельна аркушу, на якому зображене креслення, є "косим кутом впускного отвару для повітря для створення вихрового потоку"¹. Наступним параметром є "точка перетину траєкторій водяних струменів надвисокого тиску", показана на фіг.1 як L_1 . Як показано на Фіг.1, L_1 - це відстань від точки, де окремі водяні струмені надвисокого тиску (що подаються з отворів 52, 54) сходяться, до кінця другого етапу (кінець L_2). Значення точки перетину траєкторій водяних струменів надвисокого тиску, що дорівнює " ND_2 ", означає, що струмені сходять-

ся в точці D_2 (зображено на Фіг.1). Значення параметру засновані на множині D_2 ; звідси, значення $+10 \times D_2$ означає, що струмені сходяться далі точки, де виміряно значення D_2 , на відстані, що в десять разів перевищує D_2 . Наступний параметр відноситься до кількості отворів 52, 54 для подачі води при надвисокому тиску. Два таких отвори показані на Фіг.1. Наступний параметр, наведений в таблиці 1, - це "діаметр отвору для вприскування водяного струменя надвисокого тиску", який просто є внутрішнім діаметром отворів 52, 54 для вприскування. Наступним параметром є "кут сходження водяних струменів надвисокого тиску", який зображує кут, що утворений двома струменями, які виходять з отворів 52, 54. Останнім параметром в таблиці 1 є "косий кут водяного струменя надвисокого тиску". Цей параметр частково визначає положення окремих отворів 52, 54 вздовж площини, що перпендикулярна аркушу, на якому зображена Фіг.1.

Таблица 1

Параметр	Діапазон параметрів. Переважні варіанти	Експериментальні значення
Співвідношення діаметрів критичного перетину (D_1/D_2)	1-3,5	2,33
Співвідношення довжини і діаметру (L_2/D_1)	>5	23
Кут з'єднання першої частини і другої частини	осьове (0°)-30	0° і 13°
Косий кут першої частини викиду у другу частину	осьове (0°)-30	0°
Співвідношення потужності; води СВД, частина друга/повітря, частина перша	0,5-5,0	1,2-1,7
Співвідношення потужності; вихрового руху: вихрового повітря/повітря першої частини	0,05-1,0	0,17
Отвори для повітряних струменів для створення вихрового руху (шт.)	1-20	1-4; 6
Кут звуження вихрового потоку	-30° - $+30^\circ$	16°
Косий кут впускного отвору для повітря для створення вихрового потоку	0° - 30°	0°
Точка перетину водяних струменів СВД (L_1)	$\pm 10 \times D_2$	CD_2
Отвори для вприскування води СВД (шт.)	1-10	3, 4, 6
Діаметр отворів для вприскування водяного струменя СВД (см/1000)	20,3-101,6	17,8-33,0
Кут сходження водяних струменів СВД	0 - 30°	16°
Косий кут водяного струменя СВД	0 - 30°	$0^\circ, 2^\circ, 6^\circ$

Приклад 1

(видалення цинкової ґрунтовки)

Порівняння одного варіанту здійснення цього винаходу із звичайними пристроями і способом для підготовки поверхні

Звичайний пристрій містить сопло, що звужується/розширюється, для сухої піскоструминної обробки діаметром 4,76мм (3/16") (№3), яке широко розповсюджене в промисловості. Сопло приводиться в дію повітрям під тиском $7,0 \text{ кг/см}^2$ з витратою $1,4 \text{ м}^3/\text{хв}$ для викиду 118 кг/год. абразивних частинок розміром 16-40 меш на поверхню.

Пристрій згідно цьому винаходу містить описаний вище звичайний засіб, що служить його першою частиною прискорення, який приводиться

в дію повітрям під таким же тиском, з такою витратою повітряного потоку, і доставляє таку ж кількість абразивних частинок такого ж розміру у другу частину прискорення. Друга частина прискорення приводиться в дію водяним струменем з швидкістю струменя, що складає біля $670,6 \text{ м/сек.}$ Вихрова дія не стимулювалася зовнішнім впливом, тобто додаткова рідина не упорскувалася з боку в змішувальну камеру для посилення вихрової дії в змішувальній камері. Тим не менш слід відмітити, що хоча вихровий рух не був створений примусово, такий рух може відбуватися в будь-якому випадку, як притаманний внутрішній геометрії камери.

Результати наведені нижче:

Параметр	Цей винахід	Звичайний пристрій
Швидкість видалення	16,7м ² /год	5,6м ² /год
Кількість частинок, які використовуються на одиницю площі, що очищується	6,84кг/м ²	20,99кг/м ²
Потужність, що споживається (к.с.) на одиницю площі, яка очищується	2,04к.с./м ²	2,26к.с./м ²
Сумарні витрати на одиницю площі, що очищується (що включає працю, паливо, абразивні матеріали і обладнання)	1,94дол./м ²	4,09дол./м ²
Утворення пилу біля сопла	Невизначено	Явно виражене
Утворення пилу на об'єкті (оцінено візуальною перевіркою)	Невизначено	Явно виражене

Приклад 2

(видалення цинкової ґрунтовки)

Порівняння одного варіанту здійснення цього винаходу із звичайним пристроєм і способом для підготовки поверхні

Звичайний пристрій містить сопло, що звужується/розширюється, для сухої піскоструминної обробки діаметром 6,35мм (4/16") (№4), який широко розповсюджений в промисловості. Сопло приводиться у дію повітрям під тиском 7,0кг/см² з витратою 2,55м³/хв. для викиду 226,8кг/год. абразивних частинок розміром 16-40меш на поверхню, що випробовується.

Пристрій згідно цьому винаходу містить опи-

саний вище засіб, який служить його першою частиною прискорення, що приводиться в дію повітрям під таким же тиском, з такою ж витратою повітряного потоку, і що доставляє таку ж кількість абразивних частинок такого ж розміру у другу частину прискорення. Друга частина прискорення приводиться в дію водяним струменем із швидкістю струменя, що складає біля 670,6м/сек. Вихрова дія не стимулювалась зовнішнім впливом, тобто додаткова рідина не упорскувалась з боку в змішувальну камеру для посилення вихрової дії в змішувальній камері.

Результати наведені нижче:

Параметр	Цей Винахід	Звичайний пристрій
Швидкість видалення	26,3м ² /год	6,9м ² /год
Кількість частинок, що використовуються на одиницю поверхні, яка очищується	8,78кг/м ²	32,22кг/м ²
Потужність, що споживається (к.с.) на одиницю площі, яка очищується	1,94к.с./м ²	3,23к.с./м ²
Витрати на одиницю площі, що очищується	1,61дол./м ²	4,51дол./м ²
Утворення пилу біля сопла	невизначено	явно виражено
Утворення пилу біля об'єкту	невизначено	явно виражено

Приклад 3

(видалення прокатного окалини)

Порівняння одного варіанту здійснення цього винаходу із звичайним пристроєм і способом для підготовки поверхні

Звичайний пристрій містить сопло, що звужується/розширюється, для сухої піскоструминної обробки діаметром 6,36мм (4/16") (№4), який широко розповсюджений в промисловості. Сопло приводиться в дію повітрям під тиском 7,0кг/см² з витратою 2,55м³/хв. для викиду 226,8кг/год абразивних частинок розміром 16-40меш на поверхню, що випробовується.

Пристрій згідно цьому винаходу, містить опи-

саний вище засіб, який служить його першою частиною прискорення, що приводиться в дію повітрям під таким же тиском, з такою ж витратою повітряного потоку, і що доставляв таку ж кількість абразивних частинок такого ж розміру в другу частину прискорення. Друга частина прискорення приводиться в дію водяним струменем із швидкістю струменя, що складає біля 670,6м/сек. Вихрова дія не стимулювалась зовнішнім впливом, тобто додаткова рідина не упорскувалась з боку в змішувальну камеру для посилення вихрової дії в змішувальній камері.

Результати наведені нижче:

Параметр	Цей Винахід	Звичайний пристрій
Швидкість видалення	15,32м ² /год.	5,11м ² /год.
Кількість частинок, що використовуються на одиницю площі, що очищується	14,64кг/м ²	44,43кг/м ²
Потужність, що споживається (к.с.) на одиницю поверхні, що очищується	3,23к.с./м ²	4,41к.с./м ²
Витрати на одиницю поверхні, що очищується	2,79дол./м ²	6,24дол./м ²
Утворення пилу біля сопла	невизначено	явно виражено
Утворення пилу біля об'єкту	невизначено	явно виражено

Приклад 4

(видалення цинкової ґрунтовки)

Порівняння одного варіанту здійснення цього винаходу із звичайним пристроєм і способом для

підготовки поверхні

Порівняння одного варіанту здійснення цього винаходу із звичайним пристроєм і способом для підготовки поверхні

Звичайний пристрій містить сопло, що звужується/розширюється, для сухої піскоструминної обробки діаметром 4,76мм (3/16") (№3), який широко розповсюджений в промисловості. Сопло приводиться в дію повітрям під тиском $7,0 \text{ кг/см}^2$ з витратою $1,4 \text{ м}^3/\text{хв.}$ для викиду 118 кг/год. абразивних частинок розміром 16-40 меш на поверхню, що випробовується.

Пристрій, згідно цьому винаходу, містить опи-

саний вище звичайний засіб, який служить його першою частиною прискорення, що приводиться в дію повітрям під таким же тиском, з такою ж витратою повітряного потоку, і що доставляє таку ж кількість абразивних частинок такого ж розміру в другу частину прискорення. Друга частина прискорення приводиться в дію водяним струменем із швидкістю струменя, що складає біля $670,6 \text{ м/сек.}$ Вихрова дія стимулювалась вприскуванням додаткового стиснення повітря, яке утворює ефект обертання, що досягає $4,30 \text{ мм-г}$ на $г$ повітря, яке надходить до першого етапу прискорення.

Результати наведені нижче:

Параметр	Цей Винахід	Звичайний пристрій
Швидкість видалення	$19,5 \text{ м}^2/\text{год.}$	$5,57 \text{ м}^2/\text{год.}$
Кількість частинок, що використовуються на одиницю площі, що очищується	$5,85 \text{ кг/м}^2$	$20,99 \text{ кг/м}^2$
Потужність, що споживається (к.с.) на одиницю поверхні, що очищується	$1,83 \text{ к.с./м}^2$	$2,26 \text{ к.с./м}^2$
Витрати на одиницю поверхні, що очищується	$1,61 \text{ дол./м}^2$	$4,08 \text{ дол./м}^2$
Утворення пилу біля сопла	невизначено	явно виражено
Утворення пилу біля об'єкту	невизначено	явно виражено

Приклад 5

(видалення MIR - окалини)

Порівняння одного варіанту здійснення цього винаходу із звичайним пристроєм і способом для підготовки поверхні

Звичайний пристрій містить сопло, що звужується/розширюється, для сухої піскоструминної обробки діаметром 6,35мм (4/16") (№4), який широко розповсюджений в промисловості. Сопло приводиться в дію повітрям під тиском $7,0 \text{ кг/см}^2$ з витратою $2,55 \text{ м}^3/\text{хв.}$ для викиду $226,8 \text{ кг/год.}$ абразивних частинок розміром 16-40 меш на поверхню, що випробовується.

Пристрій, згідно цьому винаходу, містить опи-

саний вище засіб, який служить його першою частиною прискорення, що приводиться в дію повітрям під таким же тиском, з такою ж витратою повітряного потоку, і що доставляє таку ж кількість абразивних частинок такого ж розміру в другу частину прискорення. Друга частина прискорення приводиться в дію водяним струменем із швидкістю струменя, що складає біля $670,6 \text{ м/сек.}$ Вихрова дія стимулювалась вприскуванням додаткового стисненого повітря, яке утворює ефект обертання, що досягає $4,30 \text{ см-г}$ на $г$ повітря, яке надходить до першого етапу прискорення.

Результати наведені нижче:

Параметр	Цей Винахід	Звичайний пристрій
Швидкість видалення	$18,6 \text{ м}^2/\text{год.}$	$5,11 \text{ м}^2/\text{год.}$
Кількість частинок, що використовуються на одиницю площі, що очищується	$11,7 \text{ кг/м}^2$	$44,43 \text{ кг/м}^2$
Потужність, що споживається (к.с.) на одиницю поверхні, що очищується	$2,79 \text{ к.с./м}^2$	$4,41 \text{ к.с./м}^2$
Витрати на одиницю поверхні, що очищується	$2,26 \text{ дол./м}^2$	$6,24 \text{ дол./м}^2$
Утворення пилу біля сопла	невизначено	явно виражено
Утворення пилу біля об'єкту	невизначено	явно виражено

Приклад 6

(видалення AM- окалини)

Порівняння одного варіанту здійснення цього винаходу із звичайним пристроєм і способом для підготовки поверхні

Звичайний пристрій містить водометне сопло, що має потужність 25 гідралічних к.с. і що приводиться в дію тиском 2460 кг/см^2 . Абразивні частинки (розміром 40-60 меш) в кількості $226,8 \text{ кг/год.}$ всмоктувались вакуумом, що виробляв водяний

струмінь, в змішувальну камеру (на відміну від подачі стиснення повітрям і попереднього прискорення в першому етапі сопла, як в прикладах 1-5).

Пристрій, згідно цьому винаходу, містив звичайний пристрій. ідентичний описаному вище, плюс засіб для вприскування повітря для посилення вихрового руху додаткової потужності 7 гідралічних к.с. що доводить сумарну потужність пристрою до 32 гідралічних к.с.

Результати наведені нижче:

Параметр	Цей Винахід	Звичайний Пристрій
Швидкість видалення	13,94м ² /год.	8,36м ² /год.
Кількість частинок, що використовуються на одиницю площі, що очищується	16,11кг/м ²	27,34кг/м ²
Потужність, що споживається (к.с.) на одиницю поверхні, що очищується	2,47к.с./м ²	3,33к.с./м ²
Витрати на одиницю поверхні, що очищується	2,90дол./м ²	4,62дол./м ²
Утворення пилу біля сопла	невизначено	невизначувано
Утворення пилу біля об'єкту	невизначено	невизначувано

Приклад 7

Перевага енергетичної і економічної ефективності двоетапного прискорення

Вода та повітря можуть використовуватися для прискорення частинок. Сила, що впливає на частинку, що рухається в рідині, є її опором (F_D).

Рівняння для сили опору таке:

$$F_D = C_D \times \rho \times v^2 A / 2,$$

де F_D - сила опору, C_D - коефіцієнт опору частинки, ρ - щільність рідини, v - відносна швидкість частинки відносно оточуючої її рідини і A - площа поперечного перерізу частинки або, у випадку неправильної форми частинки, площа, яка проектується.

C_D - це експериментально визначена функція числа Рейнольдса (N_R) частинки. Число Рейнольдса визначається так:

$$N_R = \rho v d / \mu,$$

де ρ - щільність рідини, v - відносна швидкість частинки, d - діаметр частинки, і μ - динамічна в'язкість рідини. Для N_R , що складає приблизно від 500 до 2000, і для сферичної частинки, що представляють типовий діапазон швидкостей для прискорення частинок за допомогою потоку рідини з більшою швидкістю, коефіцієнт опору C_D для дозвукових швидкостей повітря знаходиться приблизно в межах 0,4-0,5.

З наведеного вище аналізу можна зробити висновки, що вода, переважніше ніж повітря, може бути ефективним засобом для прискорення частинок внаслідок того, що сила опору пропорційна щільності рідини, що рухається. Співвідношення щільності води і повітря близько 800.

Проте, використання тільки води як текучої рідини є надто дорогим. Подача повітря під тиском 7,0кг/см² з витратою 0,028м³/хв. може виконуватися компресором промислових розмірів вартістю всього 60 доларів США, а потужність двигуна, що вимагається, досягає всього 0,25к.с. для одержання потоку повітря з витратою 0,028м³/хв. і тиском 7,0кг/см².

Такий потік повітря може прискорювати частинки до швидкості близько 182,9м/сек, але не значно більше, внаслідок ефектів потоку з ковзанням, що превалюють при більш високих швидкостях. Для вирішення такої задачі за допомогою води потрібний був би водяний насос високого тиску, що здатний виробляти тиск близько 379,6кг/см² з витратою 0,028м³/хв. (28,39л за хвилину) для прискорення частинок до швидкості близько 182,9м/сек (або до приблизно 70% швидкості рідини) вартістю приблизно 6000 доларів США, який би вводився в дію двигуном потужністю приблизно 25к.с. Порівняння грошових витрат і енергії, що споживається, показує, що повітря може при-

скорювати частинки до швидкості приблизно 182,9м/сек з витратою 1/100 коштів і приблизно 1/100 енергії, що споживається, які потрібні були б для виконання цієї задачі з використанням води як несучої рідини. Отже, повітря економічніше та ефективніше з точки зору споживання енергії і є переважним середовищем для первинного (перша частина) прискорення часток до швидкості близько 182,9м/сек, тоді як надшвидкісний потік води є переважним середовищем для прискорення частинок до швидкості понад 182,9м/сек (друга частина) до швидкості, яка складає приблизно 914,4м/сек і вище. Другим міркуванням на користь застосування повітря на першому етапі прискорення є те, що частинки легко переміщуються в турбулентному повітряному потоці всередині рукава або труби на значні відстані і висоти. Отже, резервуар для абразивних частинок може бути великим, що дає менше простоїв на поповнення резервуару і може не знаходитись поблизу сопла, яке викидає частинки на поверхню, що очищується або розрізується.

Приклад 8

Зменшення споживання потужності, яка потрібна для різання матеріалів завдяки переважній подачі частинок за допомогою вихрового всмоктування.

В одному прикладі здійснення цього винаходу перевага від прискорення частинок за допомогою надшвидкісного водяного струменя або струменів додатково збільшується через надання вихрового і/або вихрового руху потоку рідини і надання частинкам такого вихрового або вихрового руху. Випробування, що проведені з такою конфігурацією, дали чудові результати (що оцінені по видаленню поверхні), які показали очевидність кращої подачі кількості руху частинкам та їх збільшення несучим надшвидкісним водяним струменем. Коли частинки входять в контакт з рідиною, що має вихровий рух, частинки відкидаються радіально назовні відцентровою силою. Ця сила і одержаний рух частинок використовуються в одному варіанті цього винаходу наступним чином. Коли частинки відкидаються назовні відцентровою силою, вони концентруються в зоні, де вони переважно входять в контакт з надшвидкісними водяними струменями, які примусово направляються в цю зону. В результаті радикально збільшується вихідна швидкість частинок, що викидаються з камери, процес прискорення стає більш ефективним з точки зору енергії, що споживається, і забезпечується можливість подачі великої концентрації частинок у потік несучих надшвидкісних водяних струменів. Експерименти, що проведені для підтвердження даного опису, показали, що доступна в наш час техноло-

гія обмежена подачею приблизно 12% частинок в несучу рідину. В протилежність цьому цей винахід, завдяки наданню вихрового або вирового руху, забезпечує ефективно прискорення до надвисоких швидкостей концентрацій частинок, які складають до 50% (відносно несучого водного середовища). Ця перевага, як було експериментально визначено, забезпечується двома джерелами. По-перше, кількість частинок, що входять в контакт з водяними струменями, збільшена вихровим рухом, який забезпечує подачу максимальної кількості частинок на траєкторію водяного струменю. По-друге, відцентрова сила, що прикладається до частинок, дуже низька в порівнянні з вектором, що орієнтований приблизно перпендикулярно водяним струменям. Якщо, наприклад, водяні струмені входять в контакт з частинками, що рухаються з великою результуючою швидкістю по суті перпендикулярно напрямку руху водяних струменів, то прискорення частинок в напрямку руху водяних струменів може зводитися нанівець. Цей винахід долає це обмеження, при цьому досягають максимального частинки шляхом концентрації частинок на траєкторії водяних струменів відцентровою силою з низькою результуючою швидкістю в напрямку, перпендикулярному напрямку руху водяних струменів.

Вихровий рух може створюватись чисельністю засобів, відомих спеціалістам в даній галузі техніки. Наприклад, могла б використовуватись камера з радіусом, що зростає за ходом потоку. Також на внутрішній поверхні камери можуть бути виконані канавки або додані ребра, в альтернативному варіанті рідини може впорскуватись, входити або всмоктуватись в камеру під непрямыми кутами або по дотичній відносно поздовжньої осі, що утворюється камерою.

Приклад 9

Досягнення кращих різальних характеристик і ефективності шляхом збільшення швидкості, концентрації і фокусування частинок

В рамках цього винаходу було показано, що додаткова швидкість частинок (що перевищує певний поріг) радикально прискорює видалення матеріалу у варіантах застосування для підготовки поверхні і різання. Фактично швидкість видалення матеріалу зростає в квадраті від збільшення швидкості частинок. Швидкість частинок, завдяки цьому винаходу, може збільшуватись на 40-50% в порівнянні зі швидкістю, що досягається засобами для різання потоком частинок, які відносяться до відомої технології, що призводить до подвійного підвищення різальних характеристик. Два інших фактори також матеріально сприяють тому, щоб зробити процес різки абразивним потоком більш ефективним, а саме, (а) кількість або концентрація частинок з мінімальною швидкістю, що викидаються за одиницю часу M_1 (г/сек), і (в) фокусування

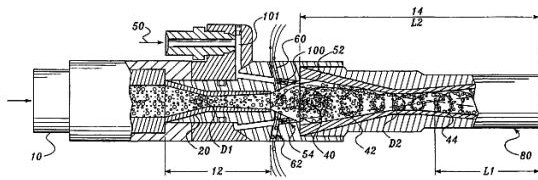
такого потоку частинок на можливо найменшу пляму, яка має діаметр D_0 (мкм).

Як було показано в прикладах 4, 5 і 6 надання частинкам вихрового або вирового руху радикально посилює процес прискорення і можливість введення великої кількості частинок за одиницю часу в надшвидкісний потік води (що називається концентрацією частинок) від приблизно 12%, згідно доступній в наш час технології, до 50%, тобто в чотири рази. Вихрова дія також сприяє фокусуванню потоку частинок на меншу площу D_0 і, отже, концентрація частинок на одиницю площі матеріалу, що обробляється, збільшується. В порівнянні із звичайним піскоструминним пристроєм, що досягає діаметру фокусування D_c , концентрація частинок на одиницю площі зростає як квадрат відношення діаметрів (D_c/D_0) . Згідно способу і пристрою цього винаходу діаметр фокусування може бути зменшений приблизно на 25% в порівнянні із звичайними пристроями для різання потоком абразивних частинок, що призводить до двократного збільшення різальної спроможності. Комбінований ефект від наведених вище аргументів наступний:

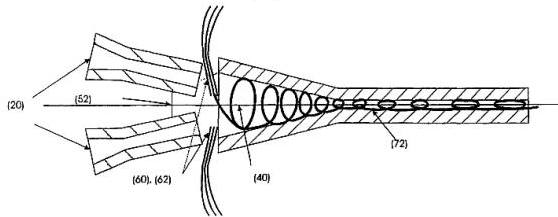
Що змінюється	Збільшення характеристик
Швидкість частинок	2x
Концентрація абразивного матеріалу у потоці	4x
Фокусування	2x
Комбінований ефект: $2 \times 4 \times 2 =$	16x

З практичної точки зору це зменшення характеристик має велике значення. Більш конкретно, в наш час потрібне вкладання грошей в звичайний пристрій для різання потоком частинок складає близько 2000 доларів США за кінську силу, або 60 000 доларів США за типовий пристрій потужністю 30к.с. зменшення в 16 разів знижує вартість придбання способу і пристрою, який тепер може конкурувати з різанням факелом пальника, і плазмовим різанням для широкого кола звичайних крупнооб'ємних варіантів застосування, таких як різання сталевих пластин, будівельних матеріалів, скла, деревини і т.д.

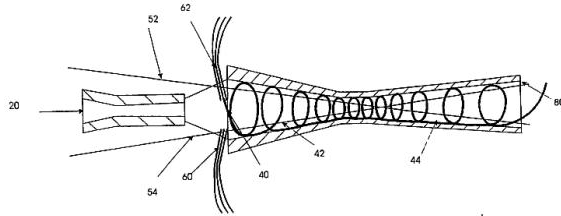
Таким чином, цей винахід добре пристосований для досягнення вказаних вище, а також інших властивих йому задач, результатів і переваг. Хоча в наш час не були дані для опису істотних ознак цього винаходу, може бути зроблена чисельність змін в деталях конструкції, розташуванні компонентів, робочих операціях і т.д., які будуть очевидні для спеціаліста в даній галузі техніки і які охоплені сутністю винаходу і об'ємом формули винаходу.



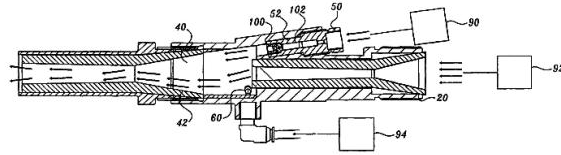
Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 2



Фиг. 4