



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123666** (13) **C2**
(51) МПК

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/073 (2006.01)

B23K 26/14 (2014.01)

G02B 26/08 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: a 2017 07084	(72) Винахідник(и): Сбетті Мауріціо (IT)
(22) Дата подання заявки: 05.07.2017	(73) Володілець (володільці): АДІДЖЕ С.П.А., Via per Barco 11, I-38056 LEVICO TERME (Trento), Italy (IT)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 13.05.2021	(74) Представник: Михайлюк Ганна Валентинівна, реєстр. №184
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 102016000070259	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 5101091 A, 31.03.1992 US 2002008091 A1, 24.01.2002 JP 2001038485 A, 13.02.2001 US 4202605 A, 13.05.1980 US 2001040743 A1, 15.11.2001 WO 0174529 A2, 11.10.2001
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 06.07.2016	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: IT	
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.01.2018, Бюл.№ 1	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 12.05.2021, Бюл.№ 19	

(54) СПОСІБ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛЕВОГО МАТЕРІАЛУ З КЕРУВАННЯМ ПОЛОЖЕННЯМ ОПТИЧНОЇ ОСІ ЛАЗЕРА ВІДНОСНО ПОТОКУ ДОПОМІЖНОГО ГАЗУ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВКАЗАНОГО СПОСОБУ

(57) Реферат:

Винахід належить до лазерної обробки металевго матеріалу, зокрема до способу та пристрою лазерної обробки для різання, свердління або зварювання вказаного матеріалу. Спосіб лазерної обробки металевго матеріалу за допомогою сфокусованого лазерного променя, що має попередньо визначений поперечний розподіл потужності щонайменше на одній робочій площині металевго матеріалу, включає етапи:

- забезпечення джерела випромінювання лазерного променя;
- спрямування лазерного променя по оптичному шляху транспортування променя до робочої головки, розташованої поблизу вказаного матеріалу;
- колімації лазерного променя по оптичній осі поширення, що падає на вказаний матеріал, фокусування колімованого лазерного променя в зоні робочої площини матеріалу; і
- проведення вказаного сфокусованого лазерного променя по робочому шляху на металевому матеріалі, що містить послідовність робочих зон.

При цьому лазерний промінь сформований:

- шляхом відбиття колімованого променя за допомогою деформованого відбивного елемента з керованою поверхнею, який містить множину незалежно переміщуваних відбивних зон, і

UA 123666 C2

- шляхом керування розташуванням відбивних зон з метою встановлення попередньо визначеного поперечного розподілу потужності променя на щонайменше одній робочій площині металевому матеріалу залежно від зони поточної робочої площини й/або поточного напрямку робочого шляху на металевому матеріалі.

Винахід забезпечує досягнення технічного результату, який полягає у наданні способу лазерної обробки з підвищеною продуктивністю, експлуатаційною швидкістю, якістю результатів і економічною ефективністю процесу, керування яким можна здійснювати в реальному часі з метою одержання точних результатів обробки у всіх робочих умовах, яких можна досягти без збільшення розміру існуючих пристроїв.

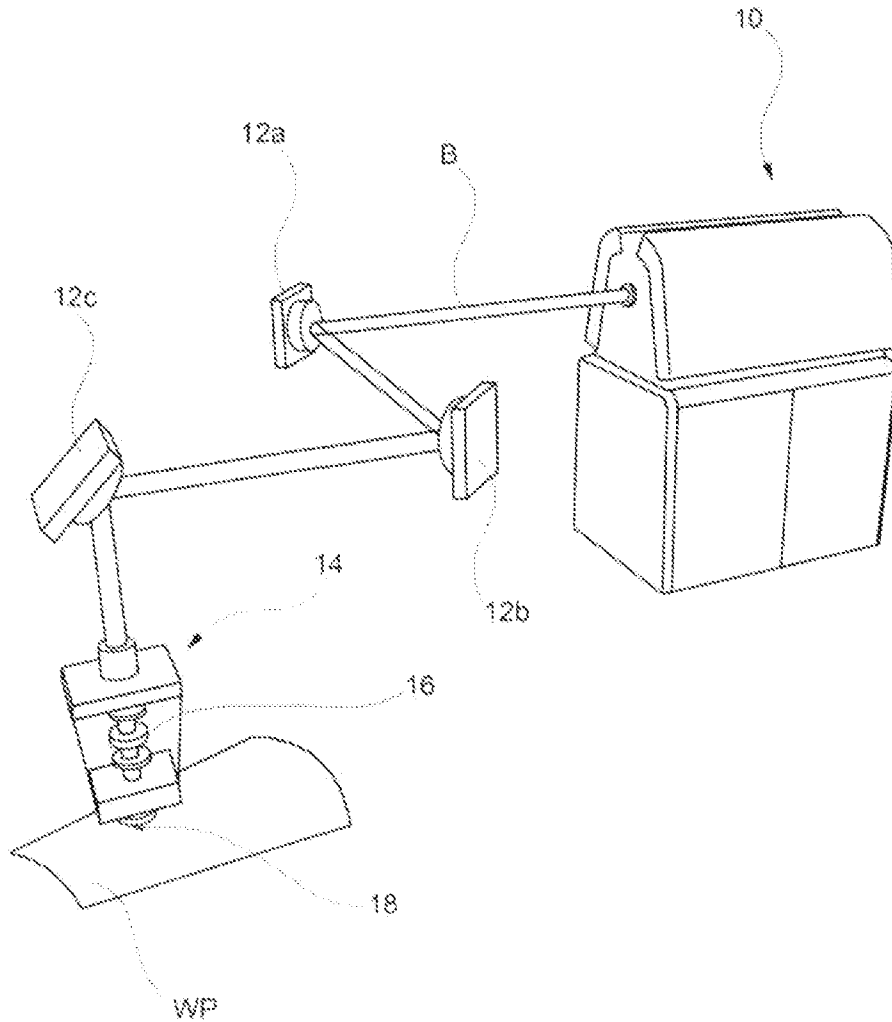


Fig. 1

Даний винахід належить до лазерної обробки металевго матеріалу, зокрема до способу лазерної обробки для різання, свердління або зварювання вказаного матеріалу, який описаний в обмежувальній частині незалежного пункту 1 формули винаходу.

5 Згідно з іншими аспектами даний винахід належить до пристрою для лазерної обробки металевго матеріалу, який виконаний з можливістю реалізації способу лазерної обробки, і до комп'ютерної програми, що містить один або більше програмних модулів для реалізації вищезгаданого способу при виконанні програми засобами електронної обробки.

10 У нижченаведеному описі та формулі винаходу термін "металевий матеріал" використовується для визначення будь-якої металевої заготовки, такої як лист або довгастий профіль, незалежно від того, має він замкнений поперечний переріз - наприклад, порожньої круглої, прямокутної або квадратної форми - або незамкнутий поперечний переріз - наприклад, плоский переріз або переріз у формі букви L, C, U тощо.

15 У промислових способах металообробки й, зокрема у способах обробки металевих листів і профілів, лазер використовується як інструмент термообробки для широкого ряду застосувань, що залежать від параметрів взаємодії лазерного променя з оброблюваним матеріалом, і особливо від щільності енергії, що припадає на об'єм лазерного променя, який падає на матеріал, а також від проміжку часу взаємодії.

20 Наприклад, у разі спрямування енергії низької щільності (порядку десятків Вт на мм² поверхні) протягом тривалого часу (порядку декількох секунд) виконується процес загартування, тоді як у разі спрямування енергії високої щільності (порядку десятків МВт на мм² поверхні) протягом часу порядку декількох фемтосекунд або пікосекунд виконується процес фотоабляції. У проміжному діапазоні при підвищенні щільності енергії та скороченні робочого часу керування вказаними параметрами дозволяє здійснювати процеси зварювання, різання, свердління, гравіювання та маркування.

25 У багатьох процесах, у тому числі в процесах свердління та різання, у робочу зону, де відбувається взаємодія між лазерним променем і матеріалом, необхідно подавати потік допоміжного газу, що володіє механічними функціями надавання руху розплавленого матеріалу або хімічними функціями сприяння горінню, або навіть технологічними функціями екранування від середовища, що оточує робочу область.

30 В галузі лазерної обробки металевих матеріалів, лазерного різання, свердління та зварювання, є операції обробки, які можуть здійснюватися тим самим пристроєм, виконаним з можливістю генерування сфокусованого лазерного променя великої потужності, що має попередньо визначений поперечний розподіл потужності на щонайменше одній робочій площині металевго матеріалу, як правило, лазерного променя з питомою потужністю в діапазоні від 1 до 10000 кВт/мм², і для регулювання напрямку променя та положення падіння по матеріалу. Різниця між різними типами обробки, яка може виконуватися на матеріалі, значною мірою пов'язана з потужністю використовуваного лазерного променя та часом взаємодії між лазерним променем та матеріалом, що піддається обробці.

На Фіг. 1 і 2 показані пристрої лазерної обробки згідно з відомим рівнем техніки.

40 На Фіг. 1 схематично показаний промисловий пристрій обробки з СО₂-лазером з оптичним шляхом лазерного променя по повітрю, що містить джерело 10 випромінювання, таке як генератор СО₂-лазера, здатний випромінювати одномодовий або багатомодовий лазерний промінь В, і множину відбивних дзеркал 12а, 12b і 12с, виконаних з можливістю проведення лазерного променя, випромінюваного із джерела випромінювання, по оптичному шляху транспортування променя до робочої головки, загалом вказаною посилальною позицією 14 і розташованою поблизу матеріалу WP. Робоча головка 14 містить оптичну фокусувальну систему 16 лазерного променя, що зазвичай складається із фокусувальної лінзи, виконаної з
45
50
55
можливістю фокусування лазерного променя по оптичній осі поширення, що падає на металевий матеріал. Далі за ходом променя відносно фокусувальної лінзи розташоване сопло 18, що перетинається лазерним променем, спрямованим до зони робочої площини матеріалу. Сопло виконане з можливістю спрямування потоку допоміжного газу, що вводиться відповідною системою, яка не показана, у напрямку робочої зони на матеріалі. Допоміжний газ використовується для керування виконанням робочого процесу, а також якістю обробки, що досягається. Наприклад, допоміжний газ може містити кисень, який сприяє здійсненню екзотермічної реакції з металом, що дозволяє підвищити швидкості різання, або інертний газ, такий як азот, який не бере участь у розплавленні матеріалу, однак захищає матеріал від небажаного окиснення на краях робочого профілю, захищає робочу головку від бризок розплавленого матеріалу, а також може використовуватися для охолодження бічних сторін прорізи, утвореної в матеріалі, обмежуючи поширення зони зі зміненою температурою.

На Фіг. 2 схематично показаний промисловий пристрій обробки з лазерним променем, спрямованим через волоконну оптику. Він містить джерело 10 випромінювання, таке як генератор лазерного випромінювання, здатний подавати лазерний промінь у транспортне волокно, наприклад, у лазерне скловолокно, леговане ітербієм, або діодний лазер із прямим нагнітанням, виконаний з можливістю випромінювання одномодового або багатомодового лазерного променя, і волоконно-оптичний кабель 12d, виконаний з можливістю проведення лазерного променя, випромінюваного із джерела випромінювання, до робочої головки 14, розташованої поблизу матеріалу М. На робочій головці лазерний промінь із керованою розбіжністю, який виходить із волокна, колімується за допомогою колімаційної діоптричної системи 20 та відбивається катоптричною системою 22 перед фокусуванням за допомогою оптичної фокусу вальної системи 16, що зазвичай складається із фокусувальної лінзи, по оптичній осі поширення, що падає на матеріал WP, проходячи через випромінююче сопло 18.

На Фіг. 3 зображена наведена для прикладу робоча головка 14 згідно з відомим рівнем техніки. Посилальною позицією 30 представлений трубчастий канал, який містить циліндричні або конічні секції, по якому передається лазерний промінь, указаний посилальною позицією В. Лазерний промінь В, який генерується джерелом 10 випромінювання та транспортується до робочої головки оптичним шляхом по повітрю з декількома відбиттями або по волоконній оптиці, колімується на відбивному дефлекторному елементі 32, що відхиляє оптичну вісь поширення в напрямку падіння на оброблюваний матеріал. Оптична фокусувальна система 16 розташована між відбивним дефлекторним елементом 32 і розташованим далі за ходом променя захисним рухливим елементом 34, виконаним з можливістю екранування фокусувальної системи від бризок розплавленого матеріалу, і вона містить блок 36 у вигляді тримача лінзи, з яким зв'язані механічні регульовальні механізми 38 для калібрування положення лінзи поперечно напрямку поширення променя (осі X-Y) і в напрямку поширення променя (вісь Z).

На Фіг. 4 і 5 схематично зображена оптична обробка, якій піддається лазерний промінь у робочій головці.

Лазерний промінь В, що виходить із джерела S випромінювання, через оптичний шлях транспортування у вільному просторі або у волокні досягає робочої головки з попередньо визначеною розбіжністю. Оптична колімаційна система, показана на Фіг. 4 як лінза С, забезпечує колімацію лазерного променя В, спрямовуючи його в оптичну фокусувальну систему, розташовану далі за ходом променя, яка представлена лінзою F та здатна забезпечувати сфокусований лазерний промінь. У першому наближенні, згідно із законами геометричної оптики, ідеальний лазерний промінь, тобто лазерний промінь, ідеально колімований у вигляді паралельних променів, зосереджується на фокусній точці далі за ходом променя відносно оптичної фокусу вальної системи. Однак фізичні закони дифракції вказують, що навіть у найкращій конфігурації колімації та фокусування лазерний промінь після оптичної фокусувальної системи має кінцеву фокусну пляму на своїй перетяжці. Це представлено на Фіг. 4 областю, вказаною посилальною позицією W, яка відповідає фокусній плямі променя В. Зазвичай під час використання в промисловій обробці робоча площа матеріалу збігається з поперечною площиною на перетяжці променя.

На Фіг. 5 показаний розподіл питомої потужності нормально колімованого лазерного променя, що зазвичай має гаусову форму з осьовою симетрією у випадку одномодового променя, тобто форму, у якій потужність зосереджена навколо поздовжньої осі променя (осі Z) і поступово зменшується уздовж периферійного краю, або, у випадку багатомодового променя, цей розподіл можна описати як обвідну гаусових профілів з осьовою симетрією.

Використання променів з одномодовим або багатомодовим лазерним випромінюванням, які можуть бути описані в першому наближенні як гаусові, задовольняє вимоги технологічного контролю в галузі застосування лазерів з високою потужністю. Дійсно, гаусів промінь легко описується невеликою кількістю параметрів і легко піддається керуванню при його поширенні по оптичному шляху транспортування від джерела випромінювання до головки пристрою обробки, оскільки він має характерну властивість поширюватися без зміни розподілу потужності, згідно із чим в умовах поширення в далекому полі його можна описати за допомогою значення радіуса та значення розбіжності (і в цьому випадку можна використовувати наближення геометричної оптики). В умовах поширення сфокусованого променя в близькому полі по робочому шляху, де наближення геометричної оптики більш не має сили, промінь у кожному разі зберігає схему гаусова розподілу потужності в кожному з його поперечних перерізів.

Через це в галузі лазерної обробки завжди існувала потреба в керуванні поширенням лазерного променя таким чином, щоб він мав гаусів (або приблизно гаусів) розподіл потужності в поперечному перерізі, і в установці відносного взаємного розташування оптичної осі поширення лазерного променя та барицентричної осі потоку допоміжного газу раз і назавжди.

З рівня техніки відомі розробки деякої кількості рішень для забезпечення стійкості (якщо не жорсткості) позиціонування оптичної осі поширення лазерного променя відносно осі випуску допоміжного газу, і вони зазвичай включають збігання двох осей. Регулювання взаємного розташування оптичної осі поширення лазерного променя й осі потоку допоміжного газу у відомому рівні техніки виконується за допомогою процедури механічного центрування, яку вручну виконує оператор у ході періодичного калібрування пристрою (робочої головки), наприклад, тоді, коли виникає необхідність у заміні сопла через зношування. Вказана процедура механічного центрування включає множини точних механічних регулювань, наприклад, за допомогою гвинтової передачі на дзеркалі дефлектора або на колімаційних або фокусувальних лінзах з метою регулювання нахилу та центрування оптичної системи поширення лазерного променя відносно положення сопла на головці.

Це проектне рішення, яке у випадку винятково одномодового променя стосується осьової симетрії променя та потоку допоміжного газу, що продиктовані, відповідно, гаусовим розподілом потужності лазерного променя та круглим перерізом вихідного отвору сопла для випуску допоміжного газу, забезпечує ізотропію протікання кожного робочого процесу (різання, зварювання тощо) стосовно напрямків, у яких може проводитися вказана обробка.

Ізотропія процесу відносно робочих шляхів на матеріалі завжди вважалася переважною там, де робочим процесом із застосуванням лазера керують за допомогою засобів електронної обробки відповідно до будь-яких шляхів і геометрій, попередньо визначених системами CAD/CAM.

Є широко поширена думка про те, що фізично "неврівноважена" система, або система без осьової симетрії в точках падіння лазерного променя та допоміжного газу на матеріал, приводить до появи складності й труднощів у керуванні робочими шляхами або до гіршої якості результатів обробки.

Задачею даного винаходу є надання способу лазерної обробки з підвищеною продуктивністю в тому, що стосується експлуатаційної швидкості, якості результатів і економічної ефективності процесу.

Іншою задачею даного винаходу є надання способу лазерної обробки, керування яким можна здійснювати в реальному часі з метою одержання точних результатів обробки у всіх робочих умовах, яких можна досягти без збільшення розміру існуючих пристроїв.

Згідно із даним винаходом ці цілі досягаються за допомогою способу лазерної обробки металевого матеріалу, що має ознаки, вказані в пункті 1 формули винаходу.

Конкретні варіанти здійснення становлять предмет залежних пунктів формули винаходу, зміст яких слід розуміти як невід'ємну частину даного опису.

Додатковою задачею даного винаходу, як заявляється, є пристрій для лазерної обробки металевого матеріалу та комп'ютерна програма.

Підводячи підсумок вищесказаного, даний винахід ґрунтується на міркуванні про те, що порушення осьової симетрії комбінації лазерного променя та потоку допоміжного газу, тобто відхід від збігу між віссю поширення лазерного випромінювання та віссю випуску потоку допоміжного газу, може дозволити одержати більш значимі переваги в тому, що стосується швидкості, якості й економічної ефективності, ніж у робочих процесах з такою ж продуктивністю.

Способи застосування та реалізації порушення осьової симетрії можуть відрізнятися, і, зокрема, вказані способи включають "статичну" зміну положення оптичної осі лазерного променя для обробки відносно осі симетрії потоку допоміжного газу та "динамічну" зміну, або зміну в режимі "видимого променя", положення оптичної осі лазерного променя для обробки відносно осі симетрії потоку допоміжного газу.

У випадку "статичної" зміни відносно положення оптичної осі лазерного променя відносно осі симетрії потоку допоміжного газу (відстань, кут відносно локального напрямку просування по робочому шляху, що розглядається як опорний напрямок) є фіксованим або змінюється з відносною швидкістю, яка порівняна зі швидкістю просування робочого процесу (тобто має той же порядок величини).

У результаті зсуву положення оптичної осі лазерного променя вперед осі симетрії потоку допоміжного газу в напрямку поступального переміщення вищезгаданого потоку газу (тобто, у випадку процесу різання, у зоні падіння осі симетрії газового потоку на поверхню оброблюваного матеріалу), може бути отримана підвищена продуктивність у тому, що стосується швидкості процесу. Цей зсув у дійсності викликає потрапляння в зону прорізу для виходу розплаву більшого потоку допоміжного газу, ніж у випадку симетричного збігу осей. Іншими словами, падіння лазерного променя на матеріал перед потоком газу уможливорює доставку газу під зниженим тиском з такою ж швидкістю, як у випадку симетричного збігу осей, що забезпечує зниження споживання газу пропорційно зниженому тиску.

У випадку "динамічної" зміни, або режиму "видимого променя", відносно положення оптичної осі лазерного променя відносно осі симетрії потоку допоміжного газу (відстань, кут відносно локального напрямку просування по робочому шляху, прийнятому за опорний напрямок) змінюється з відносною швидкістю, яка щонайменше на один порядок величини більше швидкості просування робочого процесу. Оптичною віссю лазерного променя керують в ході періодичного руху відносно осі потоку допоміжного газу з попередньо визначеною частотою навколишнього руху, для того щоб забезпечити видимість у робочому процесі на матеріалі видимого променя, описуваного обвідною руху променя на шкалі частот з порядком величин, меншим ніж частота навколишнього руху.

Наприклад, у результаті коливального руху оптичної осі вперед та назад відносно напрямку поширення осі потоку допоміжного газу, визначається видимий промінь, який має дещо довгасту еліптичну форму, що уможливорює більше освітлення прорізу для виходу розплаву, тобто освітлення в прорізі триває довше, що, у свою чергу, забезпечує більше поглинання випромінювання матеріалом у напрямку поширення. Ця методика дозволяє заощаджувати електроенергію, оскільки вона підвищує вихід, що припадає на ват потужності лазерного променя, і зберігає газ, оскільки вона підтримує матеріал у менш в'язкому стані, ніж у відомому рівні техніки, за допомогою чого можна виштовхувати розплавлений матеріал із прорізу газом під менш високим тиском.

Інакше кажучи, внаслідок кругового коливального руху оптичної осі, тобто центру мас розподілу лазерної потужності, навколо осі потоку допоміжного газу, визначається круговий видимий промінь, наприклад, що уможливорює збільшення діаметра розподілу потужності (видимого) лазерного променя, і, таким чином, збільшення потоку газу в межах прорізу досягається за того ж тиску.

Згідно з винаходом застосування вищезгаданих міркувань до систем відомого рівня техніки досягається шляхом реалізації ефективного керування положенням оптичної осі лазерного променя для обробки відносно осі симетрії потоку допоміжного газу за допомогою керування формою лазерного променя в реальному часі, тобто за допомогою зміни поперечного розподілу потужності променя, що по суті зберігає форму та ефективний діаметр променя.

Даний винахід ґрунтується на принципі використання оптичної системи з керованою деформацією, яка сама по собі відома в наукових застосуваннях відносно обробки оптичних сигналів (а значить і оптичного випромінювання низької потужності), для формування лазерного променя високої потужності для промислових застосувань.

Застосування оптичної системи з керованою деформацією в оптичній системі транспортування лазерного променя уможливорює розширення діапазону формування лазерного променя, одержуваного швидко змінюваним чином, і надзвичайно точне регулювання взаємного розташування осі поширення лазерного випромінювання й осі випуску допоміжного газу, і, отже, підвищення продуктивності процесів механічної обробки або реалізацію новаторських процесів механічної обробки.

Переважно спосіб згідно із даним винаходом дозволяє з високою точністю спрямовувати лазерний промінь у центр області випуску допоміжного газу, таким чином, запобігаючи потреби в точних механічних регулюваннях за допомогою втручання оператора при налаштуванні пристрою для попередньо визначеного процесу.

Ще більш переважним є те, що спосіб згідно з винаходом дозволяє керувати положенням оптичної осі лазерного променя відповідно до попередньо визначеного просторового взаємозв'язку з віссю потоку допоміжного газу, яка необов'язково знаходиться в коаксіально вирівняному положенні, з малим часом регулювання, і, таким чином, керування положенням може виконуватися не тільки як "підготовче налаштування" для циклу обробки, але також може бути реалізоване в реальному часі в ході робочого процесу таким чином, щоб здійснювати керування необхідним взаємним розташуванням оптичної осі лазерного променя й осі потоку допоміжного газу по робочому шляху на матеріалі.

Іншими словами, спосіб, згідно із даним винаходом, дозволяє здійснювати автоматичну установку та збереження попередньо визначеної стратегії взаємного позиціонування оптичної осі лазерного променя й осі потоку допоміжного газу в ході робочого процесу, наприклад, за рахунок миттєвого керування положенням оптичної осі лазерного променя на попередньо визначеній відстані від осі потоку допоміжного газу та у попередньо визначеному кутовому положенні відносно поточного напрямку робочого шляху (напрямку просування процесу).

Спосіб згідно із даним винаходом додатково включає автоматичне регулювання змінної стратегії взаємного позиціонування оптичної осі лазерного променя й осі потоку допоміжного газу в ході робочого процесу, наприклад, залежно від просторового положення робочої зони на матеріалі по попередньо визначеному робочому шляху або залежно від інших параметрів, таких

як зміни у швидкості просування по робочому шляху, зміни товщини робочого матеріалу, зміни кута падіння допоміжного газу відносно поверхні оброблюваного матеріалу.

Зміни у швидкості просування по робочому шляху виникають у результаті необхідних зупинок різних механічних керуючих осей робочої головки, що вносять внесок у визначення самого шляху, наприклад, через зміну робочого напрямку або орієнтації головки на зворотну, якій передує затримка до зупинки, та за якою іде наступне прискорення, як у випадку процесу різання, так і у випадку процесу зварювання.

Зміни в товщині робочого матеріалу, відомі й очікувані, потребують не тільки відповідної швидкості просування й положення фокусної плями в межах самого матеріалу, які відрізняються залежно від товщини, але також можуть потребувати іншого способу порушення осьової симетрії, тобто "статичної" або "динамічної" зміни положення оптичної осі лазерного променя для обробки відносно осі симетрії потоку допоміжного газу залежно від вказаної товщини.

Нарешті, зміни в куті падіння допоміжного газу відносно поверхні робочого матеріалу потребують відмінного розподілу потужності лазера навколо осі потоку газу, для того щоб підвищити продуктивність різання, що забезпечує більш стійкий процес через, наприклад, більш широкий проріз або поліпшену доставку запасів допоміжного газу.

Керування взаємним розташуванням осі поширення лазерного випромінювання й осі випуску допоміжного газу, згідно з винаходом, реалізується за допомогою керування поперечним розподілом потужності променя в зоні робочої площини на металевому матеріалі в попередньо визначеній суміжній області відносно осі потоку допоміжного газу, що обмежує зону доставки вказаного потоку. Область доставки потоку допоміжного газу, яка представляє об'ємну сферу дії способу керування, згідно з винаходом, визначається як "задіяний об'єм" сопла робочої головки - сопло зазвичай має вихідний отвір, діаметр якого становить від 1 мм до 3,5 мм, і розміри, типові для зрізаного конуса з висотою від 6 мм до 20 мм, основою меншого розміру (на соплі), що має діаметр, який дорівнює діаметру вихідного отвору, збільшеному на 1-3 мм, і основою більшого розміру, характеристичний розмір якої залежить від висоти об'єму зрізаного конуса та кута нахилу твірної, що становить, як правило, від 15 градусів до 30 градусів. Відповідно, об'єм сопла є якомога меншим, і воно має якомога тонший зовнішній вигляд, і тому воно також може застосовуватися в увігнутостях поверхонь, що підлягають обробці.

Переважно автоматичне керування, здійснюване за допомогою способу згідно із даним винаходом, може здійснюватися в реальному часі з робочими частотами від 100 Гц до 10 кГц.

Система керування, виконана з можливістю здійснення способу згідно із даним винаходом, переважно відрізняється від систем відомого рівня техніки, оскільки вона може бути вбудована в робочу головку, тобто вона не залежить від генерування лазерного променя й від його передачі до робочої головки.

Більше того, на відміну від відомих рішень для налаштування або введення в експлуатацію пристрою для конкретного процесу, у яких положення оптичного променя відносно потоку допоміжного газу можна регулювати в результаті ручного втручання оператора, або в яких зміна напрямку падіння оптичного променя реалізується відповідно до попередньо визначеної логіки, як у випадку хитання у відомому рівні техніки, за допомогою якого оптичній осі поширення лазерного променя протягом усього процесу багаторазово надається високодинамічне коливання, запрограмоване при налаштуванні робочої програми, спосіб згідно із даним винаходом дозволяє ефективно керувати положенням оптичної осі поширення лазерного променя в реальному часі залежно від місця розташування променя на робочому шляху, при цьому можна змінювати взаємне розташування оптичної осі поширення оптичного променя й осі потоку допоміжного газу на часовій основі залежно від запрограмованих робочих умов, що виникають у попередньо визначених положеннях на робочому шляху. Указані запрограмовані робочі умови включають як ілюстративний та необмежувачий приклад поточне робоче положення (або, у більш загальному сенсі, зону поточної робочої площини) на попередньо визначеному робочому шляху й/або поточний напрямок робочого шляху на матеріалі, і/або напрямок поступального переміщення осі потоку допоміжного газу.

Подальші ознаки й переваги винаходу будуть більш докладно описані у нижченаведеному докладному описі одного з варіантів його здійснення, що приводиться як необмежувачий приклад, з посиланням на супровідні графічні матеріали, на яких:

на Фіг. 1 і 2 показані приклади пристроїв для лазерної обробки згідно з відомим рівнем техніки;

на Фіг. 3 показаний приклад конструкції робочої головки лазерного пристрою згідно з відомим рівнем техніки;

на Фіг. 4 і 5 показане схематичне зображення форми лазерного променя для застосувань у промисловій обробці металевих матеріалів згідно з відомим рівнем техніки;

на Фіг. 6 показана принципова схема оптичного шляху лазерного променя в робочій головці, виконаній з можливістю здійснення способу згідно із даним винаходом;

5 на Фіг. 7 показане схематичне зображення відбивного елемента з керованою поверхнею для формування оптичного променя з метою реалізації способу згідно із даним винаходом;

на Фіг. 8 показана принципова схема керуючої електроніки пристрою лазерної обробки, виконаного з можливістю здійснення способу обробки згідно з винаходом; і

10 на Фіг. 9 показане схематичне зображення робочого прикладу згідно зі способом заданим винаходом.

Фіг. 1-5 були описані вище відносно відомого рівня техніки, і їх зміст, таким чином, згадується як загальна інформація щодо виготовлення пристрою обробки, керування яким виконують для здійснення робочого процесу згідно з ідеями даного винаходу.

15 Оптичний шлях лазерного променя в робочій головці пристрою для лазерної обробки металевих матеріалів, згідно з винаходом, схематично зображений на Фіг. 6.

Оптична система, показана на Фіг. 6, містить пристрій 100 введення лазерного променя В, такий як, наприклад, кінець волоконно-оптичного кабелю або оптична система приймання променя, розповсюдженого джерелом випромінювання по оптичному шляху у вільному просторі, з якого лазерний промінь В випромінюється з попередньо визначеною розбіжністю.

20 Далі за ходом променя відносно пристрою 100 введення розташована оптична колімаційна система 120, наприклад, колімаційна лінза (зазвичай колімаційна лінза для робочої головки пристрою для лазерного різання має фокусну відстань від 50 мм до 150 мм), далі за ходом променя відносно якої колімований лазерний промінь проводиться в оптичну фокусувальну систему 140, наприклад, у фокусувальну лінзу (зазвичай фокусувальна лінза для робочої головки пристрою для лазерного різання має фокусну відстань від 100 мм до 250 мм), виконану з можливістю фокусування променя на робочій площині П через екран або захисне скло 160.

На оптичному шляху між колімаційною оптичною системою 120 і оптичною фокусувальною системою 140 розташовані оптичні засоби 180 формування променя.

30 Зокрема, з посиланням на схематичне зображення оптичного шляху лазерного променя, показане на Фіг. 6, даний винахід належить до забезпечення оптичних засобів 180 для формування лазерного променя й до керування вказаними засобами з метою досягнення поперечного розподілу потужності лазерного променя керованим чином на попередньо визначеній робочій площині матеріалу. На вказаній фігурі оптичні засоби 180 для формування лазерного променя показані в ілюстративному варіанті здійснення, де вони розташовані так, що їх власна вісь симетрії знаходиться під кутом 45° відносно напрямку поширення променя.

35 З цією метою оптичні засоби 180 для формування лазерного променя виготовлені у вигляді деформовного відбивного елемента 200 з керованою поверхнею, який містить множину незалежно переміщуваних відбивних зон, як схематично зображено на Фіг. 7, які в стані спокою утворюють відбивну поверхню, що знаходиться на базовій відбивній площині. Указаний деформовний відбивний елемент 200 з керованою поверхнею передбачає безперервне дзеркало з фольги, відбивна поверхня якого може змінюватися в трьох вимірах відносно базової плоскої відбивної поверхні, прийнятої в стані спокою. Указаний деформовний відбивний елемент 200 з керованою поверхнею містить відбивну поверхню з безперервною кривизною, яка містить множину відбивних зон, з якими позаду зв'язана відповідна множина рухливих модулів, показаних на Фіг. 7 послідовними позиціями 200a, 200b тощо, і вона є відповідним чином оброблена для використання з високою оптичною потужністю в силу спільного використання покриття з високою відбивною здатністю (щонайменше 99 %) на довжині хвилі лазерного променя й установки на контактному тримачі, який охолоджується водою за допомогою безпосереднього пропускання через канали. Рухливі модулі виконані як єдине ціле з відбивною поверхнею з безперервною кривизною і є незалежно переміщуваними. Між відбивними зонами відбивної поверхні з безперервною кривизною немає меж, тобто вся відбивна поверхня має безперервні локальні допоміжні елементу всіх напрямках. Переміщення вказаної множини рухливих модулів 200a, 200b включає поступальні рухи відповідних відбивних зон, наприклад, рухи вперед або назад, відносно базової плоскої відбивної поверхні, прийнятої в стані спокою, або обертотві рухи відповідних відбивних зон навколо осі, паралельній базовій плоскій відбивній поверхні, прийнятій в стані спокою, або навіть комбінацію вказаних рухів. Деформації відбивної поверхні, тобто рухи рухливих модулів 200a, 200b, переважно ініціюються за допомогою відомих п'єзоелектричних методик, що дозволяють керувати рухом рухливих модулів і, як наслідок, положенням відбивних зон, тобто 50 зміною їх положення в результаті комбінації поступального руху й/або обертання кожного 60

модуля з попередньо визначеною кількістю ступенів свободи незалежно від інших модулів, зазвичай з переміщеннями порядку ± 40 мкм, за допомогою яких можна одержувати наближення поверхонь безперервної кривизни, обумовлених комбінаціями поліномів Церніке, за допомогою яких можна (щонайменше, у теорії, і на практиці зі ступенем наближення, достатнім для заданих цілей) застосовувати регулювання положення оптичної осі поширення лазерного променя або, у більш загальному сенсі, керувати поперечним розподілом потужності лазерного променя згідно з цілями заданих застосувань для обробки.

На Фіг. 7 показаний переважний варіант здійснення відбивного елемента 200 з еліптичним профілем і пов'язаними з ним позаду рухливими модулями, прийнятого для кута падіння колімованого лазерного променя 45° , як показано на схемі Фіг. 6. Даний варіант здійснення слід розуміти як винятково ілюстративний і необмежувачий у тому, що стосується реалізації винаходу. В іншому переважному варіанті здійснення, у якому падіння колімованого лазерного променя є перпендикулярним або майже перпендикулярним до поверхні елемента 200 у стані спокою, профіль відбивного елемента 200 являє собою круглий профіль.

У варіанті здійснення відбивного елемента з еліптичним профілем він має більшу вісь довжиною 38 мм і малу вісь довжиною 27 мм, що відповідає максимальній поперечній величині апертури падаючого на дзеркало лазерного променя, яка може бути отримана колімаційною оптичною системою 120.

Зокрема, у переважному варіанті здійснення вказаний деформований відбивний елемент 200 з керованою поверхнею містить множину відбивних зон, незалежно переміщуваних за допомогою відповідної множини рухливих модулів, які містять центральну зону та множину рядів кругових опуклих секторів, розташованих концентрично щодо вказаної центральної зони. У даному переважному варіанті здійснення передбачено 6 рядів концентричних кругових опуклих секторів, у кожному ряді передбачено 8 кругових опуклих секторів, і висота кругових опуклих секторів збільшується від першого до третього ряду й від четвертого до шостого ряду в радіальному напрямку назовні від відбивного елемента. Висота кругових опуклих секторів четвертого ряду є проміжною між висотою кругових опуклих секторів першого й другого рядів. Переважно для спрощення керуючої конструкції відбивного елемента 200 згідно з проектом, множина кругових секторів, що утворюють периферійну кругову опуклу частину, може бути нерухливою, і тільки ряди внутрішніх кругових опуклих секторів є рухливими таким чином, що в них можуть використовуватися приводи в загальній кількості до 41.

Звичайна кількість рядів кругових секторів, кількість кругових опуклих секторів і висота кругових опуклих секторів визначаються відповідно до геометричних форм відбивних поверхонь, які необхідні для одержання попередньо визначених заданих поперечних розподілів потужності лазерного променя за допомогою процедур моделювання тенденцій поперечних розподілів потужності лазерного променя, що падає на відбивний елемент для вибраної кількості відбивних зон. Фактично, керована здатність до деформації відбивної поверхні елемента 200 викликає керовані зміни інтенсивності лазерного променя на фокальній площині за рахунок дії на фазу лазерного променя. У даному переважному варіанті здійснення деформація поверхні відбивного елемента 200 є керованою таким чином, щоб вона визначала відбивну поверхню, яку можна описати за допомогою комбінації поліномів Церніке. Таким чином, розподіл інтенсивності лазерного променя на фокальній площині відповідно до змін фази, керування якими здійснюють за рахунок руху відбивних зон відбивного елемента 200, може бути переважно змодельований із використанням математичних методів обчислення.

Геометрія поділу поверхні відбивного елемента 200, яка зображена на Фіг. 7 і відповідає геометрії рухливих модулів відбивних зон, була визначена авторами винаходу за допомогою процедури моделювання з метою одержання різних форм поперечного розподілу потужності зі значною свободою при формуванні променя, навіть не пов'язаної зі збереженням його осьової симетрії. Інакше кажучи, для застосувань, жорстко пов'язаних із гаусовим розподілом потужності, у якому потрібна не зміна форми розподілу потужності, а лише її зсув відносно оптичної осі поширення, можна використовувати більш прості геометричні форми, наприклад, рівномірно рознесені ряди, тобто ряди, у яких висота кругових опуклих секторів постійна у всіх рядах секторів. Для застосувань, у яких осьова симетрія розподілу потужності променя повинна зберігатися, можна передбачити множину відбивних зон і відповідних рухливих модулів у формі радіально незалежних кругових опуклих частин.

На Фіг. 8 показана принципова схема електронної системи керування пристроєм для лазерної обробки металевих матеріалів для реалізації способу згідно із даним винаходом.

Система містить засоби електронної обробки й керування, разом показані на фігурі посилальною позицією ECU, які можуть бути вбудовані в один блок обробки в пристрої або

реалізовані в розподіленій формі, і тоді вони включають модулі обробки, розташовані в різних частинах пристрою, включаючи, наприклад, робочу головку.

5 Запам'ятовувальні засоби M, зв'язані із засобами ECU електронної обробки й керування, зберігають попередньо визначену схему, або програму, обробки, наприклад, яка містить попередньо визначений робочий шлях у вигляді команд руху для робочої головки й/або для оброблюваного матеріалу, та фізичні параметри обробки, що вказують розподіл потужності оптичного променя, питому потужність променя та моменти часу активації лазерного променя залежно від робочого шляху.

10 Засоби ECU електронної обробки й керування виконані з можливістю одержання доступу до запам'ятовувальних засобів M з метою запиту робочого шляху та керування застосуванням лазерного променя для обробки на вказаному шляху. Керування застосуванням лазерного променя на попередньо визначеному робочому шляху включає керування доставкою потоку допоміжного газу та керування випромінюванням лазерного променя з попередньо визначеним розподілом потужності в напрямку попередньо визначеної робочої зони шляхом звертання до

15 попередньо визначеної схеми, або програми, обробки, тобто згідно з інформацією про робочий шлях і робочими параметрами, запитаними у запам'ятовувальних засобів.

Зчитувальні засоби SENS вбудовані в пристрій для відстеження в реальному часі взаємного розташування робочої головки й оброблюваного матеріалу, а також зміни цього положення із часом.

20 Засоби ECU електронної обробки й керування виконані з можливістю приймання від зчитувальних засобів SENS сигналів, що вказують на взаємне розташування робочої головки й оброблюваного матеріалу із часом, тобто на зміну зони поточної робочої площини й/або поточного напрямку робочого шляху із часом.

25 Засоби ECU електронної обробки й керування містять перший керуючий модуль CM1 для керування механічними параметрами обробки, виконаний з можливістю подачі перших командних сигналів CMD₁, у відомий вузол приводних засобів, що містить приводні засоби для пересування робочої головки по ступенях свободи, які припустимі для неї в даному конкретному варіанті здійснення пристрою, і приводні засоби для пересування оброблюваного матеріалу відносно положення робочої головки, виконані з можливістю взаємодії із приводними засобами

30 для пересування робочої головки з метою представлення запрограмованого робочого шляху на оброблюваному матеріалі на соплі робочої головки. Ці приводні засоби докладно не описані, оскільки вони відомі в даній галузі техніки.

Засоби ECU електронної обробки та керування містять другий керуючий модуль CM2 для керування фізичними параметрами обробки, виконаний з можливістю подачі других командних сигналів CMD₂ на засоби доставки потоку допоміжного газу та керування засобами для генерування й передачі лазерного променя.

35 Засоби ECU електронної обробки й керування містять третій керуючий модуль CM3 для керування параметрами оптичної обробки, виконаний з можливістю подачі третіх командних сигналів CMD₃ у деформовний відбивний елемент 200 з керованою поверхнею засобів формування оптичного променя з метою реалізації рухливих модулів незалежно переміщуваних відбивних зон вказаного елемента, тобто з метою керування їх взаємним переміщенням у просторі (поступальним переміщенням по оптичній осі відбивного елемента або нахилом відносно неї). Командні сигнали CMD₃ обробляються за допомогою комп'ютерної програми, що містить один або більше програмних модулів, які містять команди моделі, або програми, регулювання для реалізації способу згідно із даним винаходом відповідно до попередньо визначеного формування лазерного променя, який необхідно отримати, тобто для встановлення попередньо визначеного поперечного розподілу потужності лазерного променя й, отже, попередньо визначеного положення оптичної осі поширення лазерного променя залежно від поточних умов обробки на оптичній осі поширення, що падає на матеріал у зоні щонайменше однієї робочої площини металевго матеріалу, при цьому робочою площиною матеріалу є площина поверхні матеріалу або площина, що змінюється за глибиною в товщині матеріалу, наприклад, для різання або свердління матеріалів великої товщини, тобто зазвичай з товщиною, яка більше ніж у 1,5 рази перевищує релєєвську довжину сфокусованого променя (у типовому випадку ця товщина становить від 4 мм до 30 мм). Вищезгадані командні сигнали CMD₃ також обробляються комп'ютерною програмою з метою встановлення попередньо визначеного поперечного розподілу потужності лазерного променя в попередньо визначеній суміжній області відносно осі потоку допоміжного газу й у межах зони доставки вказаного потоку відповідно до поточних робочих умов, тобто зони поточної робочої площини й/або поточного напрямку робочого шляху на металевому матеріалі.

Засоби ECU електронної обробки й керування також виконані з можливістю відстеження поточного положення й/або поточного напрямку поступального переміщення осі потоку допоміжного газу з метою керувати відносним поступальним переміщенням осі потоку допоміжного газу по попередньо визначеному робочому шляху на металевому матеріалі та з метою автоматичного регулювання положення оптичної осі поширення лазерного променя або поперечного розподілу потужності лазерного променя відповідно до поточного положення й/або відстеженим поточним напрямком поступального переміщення осі потоку допоміжного газу.

Положення оптичної осі поширення лазерного променя регулюється шляхом керування рухливими модулями відбивних зон таким чином, щоб здійснювати попередньо визначені загальні похилі рухи відбивного елемента у сукупності відносно відповідного стану спокою, що визначає поступальне переміщення в просторі плями лазерного променя на оброблюваному матеріалі.

Згідно з одним варіантом здійснення положення оптичної осі поширення лазерного променя регулюється таким чином, щоб у ході операції різання металевого матеріалу воно вибірково або попеременно знаходилось в передній зоні й у задній зоні відносно поточного положення осі потоку допоміжного газу на робочому шляху. Це переважно здійснюється під час проходження по шляху різання, наприклад, залежно від швидкості виконання операції різання та товщини матеріалу, що підлягає різанню.

У випадку "статичної" зміни, у результаті зсуву положення оптичної осі лазерного променя вперед осі симетрії потоку допоміжного газу в напрямку поступального переміщення вищезгаданого потоку газу (тобто зони падіння осі симетрії потоку газу на поверхню оброблюваного матеріалу у випадку процесу різання), може бути отримана підвищена продуктивність у тому, що стосується швидкості процесу. Указаний зсув викликає потрапляння більшого потоку допоміжного газу в зону прорізу для виходу розплаву, ніж у випадку симетричного збігу осей. Іншими словами, падіння лазерного променя на матеріал перед потоком газу уможливорює доставку газу під зниженим тиском і з такою ж швидкістю в порівнянні з випадком симетричного збігу осей, що забезпечує менш високе споживання газу пропорційно зниженому тиску.

У випадку "динамічної" зміни, або режиму "видимого променя", у результаті коливального руху оптичної осі вперед та назад відносно напрямку поширення осі потоку допоміжного газу, визначається, наприклад, видимий промінь довгастої, псевдоеліптичної форми, що уможливорює поліпшене освітлення прорізу для виходу розплаву, тобто освітлення в прорізі триває довше, що, у свою чергу, забезпечує більше поглинання випромінювання матеріалом у напрямку поширення. Ця методика дозволяє заощаджувати електроенергію, оскільки вона збільшує вихід, що припадає на ват потужності лазерного променя, а також заощаджувати газ, оскільки вона підтримує матеріал у менш в'язкому стані в порівнянні з відомим рівнем техніки, відповідно до чого можна виштовхувати розплавлений матеріал із прорізу газом під менш високим тиском.

В іншому варіанті здійснення положення оптичної осі поширення лазерного променя регулюється так, щоб у ході операції свердління металевого матеріалу вона проходила по круговому шляху навколо поточного положення осі потоку допоміжного газу. Це уможливорює генерування "видимого променя" із круговою симетрією більшого діаметра, навіть якщо починати з гаусова променя меншого діаметра, із двома перевагами. Перша перевага полягає в тому, що діаметр свердління збільшується наприкінці процесу, і, таким чином, у критичній фазі на початку ріжучого руху забезпечується поліпшений зв'язок між лазерним променем та фронтом, що просувається, у межах товщини оброблюваного матеріалу, а також більший потік газу, що дозволяє спочатку більш ефективно виштовхувати розплавлений матеріал. Друга перевага полягає в тому, що в ході процесу свердління круговий рух надає переважний напрямок випромінюванню на розплавлений матеріал, який неодмінно повинен виходити з поверхні зони обробки матеріалу з боку, на якому відбувається свердління, сприяючи збільшенню ефективності розкриття якомога більш глибоких шарів матеріалу й, в остаточному підсумку, більш швидкому проходженню всієї товщини.

На Фіг. 9 показаний приклад обробки згідно зі способом заданим винаходом.

На цій фігурі запрограмований робочий шлях позначений посилальною позицією Т. Цей робочий шлях включає профіль різання, що містить, для прикладу, ряд криволінійних відрізків Т1, Т2 або прямолінійних відрізків Т3, що утворюють замкнену або незамкнену ламану лінію, і ряд виїмок, наприклад, виїмок із напівкруглим профілем R1, R2. Робочий шлях Т також містить круглий профіль свердління, позначений посилальною позицією Н, розташований на попередньо визначеній відстані від профілю різання.

У деяких ілюстративних положеннях робочої головки на вищезгаданому шляху (для того щоб надмірно не ускладнювати графічне зображення робоча головка схематично зображена

тільки у зв'язку з початковим робочим положенням) посилальними позиціями G1,..., Gn позначені зони доставки потоку допоміжного газу на оброблюваний матеріал, а посилальними позиціями S1,..., Sn позначені плями падіння лазерного променя на оброблюваний матеріал, розташовані навколо положень оптичної осі лазерного променя. Слід зазначити, що зазвичай для операцій різання й/або свердління, виконуваних на вуглецевій сталі товщиною від 4 мм до 30 мм, нержавіючій сталі товщиною від 4 мм до 25 мм, алюмінієвих сплавах товщиною від 4 мм до 15 мм, міді та латуні товщиною від 4 мм до 12 мм типовий розмір зони доставки потоку допоміжного газу знаходиться в діапазоні від 1,8 мм до 3 мм, а розмір плями падіння лазерного променя знаходиться в діапазоні від 0,05 мм до 0,25 мм.

Для деяких робочих положень, або зон, на робочому шляху для прикладу представлені відповідні зони доставки потоку допоміжного газу на оброблюваному матеріалі (кругла для найбільш загального варіанта здійснення круглого сопла) і одна або більше плям падіння лазерного променя (які також представлені для ілюстрації як такі, що мають круглу форму в загальному випадку поперечного розподілу потужності гаусової форми).

Посилальна позиція G1 вказує першу зону доставки потоку допоміжного газу на ділянку просування лазерного променя по першому сегменту T1 лінії різання, що проходить по попередньо визначеному шляху T. У даній робочій зоні положення оптичної осі поширення (або розподіл потужності) лазерного променя відрегульоване так, щоб пляма S1 падіння променя на робочу площину знаходилась у зоні перед поточним положенням осі потоку допоміжного газу, що відповідає центру мас зони G1.

Посилальна позиція G2 вказує другу зону доставки потоку допоміжного газу на ділянку просування лазерного променя при затримці уздовж сегмента T1 лінії різання шляху T. У даній робочій зоні положення оптичної осі поширення (або розподіл потужності) лазерного променя відрегульоване так, щоб пляма S2 падіння променя на робочу площину по суті збігалася з поточним положенням осі потоку допоміжного газу, що відповідає центру мас зони G2.

Посилальна позиція G3 вказує третю зону доставки потоку допоміжного газу в напівкруглу виїмку R1 шляху T. У даній робочій зоні положення оптичної осі поширення (або розподіл потужності) лазерного променя відрегульоване таким чином, щоб пляма падіння променя на робочу площину рухалася по необхідному шляху різання в межах зони доставки потоку допоміжного газу під час відсутності руху вищезгаданої зони, що вказане послідовними положеннями S3, S4, S5 і S6, рівновіддаленими в радіальному напрямку від поточного положення осі потоку допоміжного газу, що відповідає центру мас зони G3, але зміщеними під кутом від заднього положення до переднього положення відносно поточного напрямку робочого шляху на металевому матеріалі.

Посилальна позиція G4 вказує четверту зону доставки потоку допоміжного газу при зміні напрямку між відрізком T2 і відрізком T3 профілю різання, при цьому зміна напрямку має невеликий радіус кривизни. У даній робочій зоні положення оптичної осі поширення (або розподіл потужності) лазерного променя відрегульоване так, щоб пляма падіння променя на робочу площину рухалася по необхідному шляху різання в межах зони доставки потоку допоміжного газу під час відсутності руху вищезгаданої зони, що вказане послідовними положеннями S7, S8 і S9, які мають радіальну відстань і кутове положення осі, які відрізняються від поточного положення, потоку допоміжного газу, що відповідає центру мас зони G4, тобто відповідно, задньому, збіжному та передньому положенням відносно поточного напрямку робочого шляху на металевому матеріалі.

Нарешті, посилальна позиція G5 вказує п'яту зону доставки потоку допоміжного газу в круглий профіль H свердління, якого можна досягти на попередньо визначеній відстані від шляху T профілю різання шляхом переривання випромінювання лазерного променя на попередньо визначений час. У даній робочій зоні положення оптичної осі поширення (або розподіл потужності) лазерного променя відрегульоване так, щоб пляма падіння променя на робочу площину рухалася по круговому шляху в межах зони доставки потоку допоміжного газу, можливо, коаксіально осі допоміжного потоку газу, що відповідає центру мас зони G5, під час відсутності руху вищезгаданої зони, що вказане послідовними положеннями S10, S11, S12 і S13.

Зрозуміло, що за відсутності зміни принципу винаходу варіанти здійснення та деталі реалізації можуть широко змінюватися відносно того, що описане та проілюстроване винятково як необмежувачий приклад, без відходу, таким чином, від обсягу правової охорони винаходу, визначеного доданою формулою винаходу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб лазерної обробки металевому матеріалу (WP), зокрема лазерного різання, свердління або зварювання вказаного матеріалу, за допомогою сфокусованого лазерного променя (B), що має попередньо визначений поперечний розподіл потужності щонайменше на одній робочій площині (П) металевому матеріалу (WP), який включає етапи:
- забезпечення джерела (10) випромінювання лазерного променя;
 - спрямування лазерного променя (B), випромінюваного вказаним джерелом (10) випромінювання, по оптичному шляху транспортування променя до робочої головки (14), розташованої поблизу вказаного металевому матеріалу (WP);
 - колімації лазерного променя (B) по оптичній осі поширення, що падає на металевий матеріал (WP);
 - фокусування вказаного колімованого лазерного променя (B) в зоні робочої площини (П) вказаного металевому матеріалу (WP); і
 - проведення вказаного сфокусованого лазерного променя (B) по робочому шляху (Т) на металевому матеріалі (WP), що містить послідовність робочих зон (Т1, R1, Т2, R2, Т3, Н), причому спосіб формування лазерного променя (B), при цьому формування лазерного променя (B) включає:
 - відбиття вказаного колімованого променя (B) за допомогою деформованого відбивного елемента (200) з керованою поверхнею, який має відбивну поверхню з безперервною кривизною, що містить множину незалежно рухливих відбивних зон (200a-200r), і
 - керування розташуванням вказаних відбивних зон (200a-200r) з метою встановлення попередньо визначеного поперечного розподілу потужності променя (B) щонайменше на одній робочій площині (П) металевому матеріалу (WP) залежно від зони поточної робочої площини (П) й/або поточного напрямку робочого шляху (Т) на металевому матеріалі (WP), який **відрізняється** тим, що додатково включає етапи:
 - доставка потоку допоміжного газу в напрямку вказаної зони робочої площини (П) металевому матеріалу (WP) по осі потоку допоміжного газу,
 - поступальне переміщення осі потоку допоміжного газу відносно попередньо визначеного робочого шляху (Т) на металевому матеріалі (WP),
 - відстеження поточного положення й/або напрямку поточного поступального переміщення осі потоку допоміжного газу,
 - керування розташуванням вказаних відбивних зон (200a-200r) з метою встановлення вказаного попередньо визначеного поперечного розподілу потужності променя (B) в зоні робочої площини (П) на металевому матеріалі (WP), що знаходиться в попередньо визначеній суміжній області навколо осі потоку допоміжного газу й у межах зони (G1-G4) доставки вказаного потоку,
 - автоматичне регулювання положення оптичної осі поширення лазерного променя (B) залежно від відстеженого поточного положення й/або відстеженого поточного напрямку поступального переміщення осі потоку допоміжного газу.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що керування розташуванням вказаних відбивних зон (200a-200r) відбивного елемента (200) з керованою поверхнею включає керування комбінацією рухів вказаних зон (200a-200r) відносно відбивної базової плоскої поверхні.
3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що керування комбінацією рухів вказаних відбивних зон (200a-200r) відбивного елемента (200) з керованою поверхнею включає керування поступальним переміщенням вказаних зон (200a-200r) по оптичній осі відбивного елемента (200) і/або обертання вказаних зон (200a-200r) для одержання нахилу відносно оптичної осі відбивного елемента (200).
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що автоматичне регулювання положення оптичної осі поширення лазерного променя (B) залежно від відстеженого поточного положення й/або відстеженого поточного напрямку поступального переміщення осі потоку допоміжного газу виконують за допомогою звертання до попередньо визначеної схеми, або програми, регулювання.
5. Спосіб за п. 1 або п. 4, який **відрізняється** тим, що в ході операції різання металевому матеріалу (WP) положення оптичної осі поширення лазерного променя (B) регулюють так, щоб воно попеременно знаходилось в передній зоні й задній зоні відносно поточного положення осі потоку допоміжного газу на робочому шляху (Т).
6. Спосіб за п. 1 або п. 4, який **відрізняється** тим, що в ході операції свердління металевому матеріалу (WP) положення оптичної осі поширення лазерного променя (B) регулюють так, щоб

воно проходило по круговому шляху (S10, S11, S12, S13) навколо поточного положення осі потоку допоміжного газу.

7. Спосіб за будь-яким із пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що включає забезпечення деформовного відбивного елемента (200) з керованою поверхнею, який має відбивну поверхню з безперервною кривизною, що містить множину відбивних зон (200a-200r), незалежно переміщуваних за допомогою відповідної множини рухливих модулів, що містять центральну область і множину рядів кругових опуклих секторів, розташованих концентрично відносно вказаної центральної зони.

8. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що передбачено 6 вказаних рядів концентричних кругових опуклих секторів, 8 кругових опуклих секторів для кожного ряду, і висота кругових опуклих секторів збільшується від першого до третього ряду та від четвертого до шостого ряду в радіальному напрямку назовні від відбивного елемента (200), при цьому висота кругових опуклих секторів четвертого ряду є проміжною між висотою кругових опуклих секторів першого та другого рядів.

9. Пристрій для лазерної обробки металевому матеріалу (WP), зокрема для лазерного різання, свердління або зварювання вказаного матеріалу, за допомогою сфокусованого лазерного променя (B), що має попередньо визначений поперечний розподіл потужності щонайменше на одній робочій площині (П) металевому матеріалу (WP), який містить:

- джерело (10) випромінювання лазерного променя;
- засоби (12a, 12b, 12c, 12d) для спрямування лазерного променя (B), випромінюваного вказаним джерелом (10) випромінювання, по оптичному шляху транспортування променя до робочої головки (14), розташованої поблизу вказаного металевому матеріалу (WP);
- оптичні засоби (120) для колімації лазерного променя (B) по оптичній осі поширення, що падає на металевий матеріал (WP);

- оптичні засоби (16, 140) для фокусування вказаного колімованого лазерного променя (B) в зоні робочої площини (П) вказаного металевому матеріалу (WP),

причому щонайменше вказані оптичні засоби (16, 140) фокусування вказаного колімованого лазерного променя (B) розміщені на вказаній робочій головці (14) на керованій відстані від вказаного металевому матеріалу (WP);

- засоби для регулювання відстані між вказаною робочою головкою (14) та вказаним металевим матеріалом (WP), виконані з можливістю проведення вказаного сфокусованого лазерного променя (B) по робочому шляху (T) на металевому матеріалі (WP), що містить послідовність робочих зон (T1, R1, T2, R2, T3, H);

- оптичні засоби (180) для формування лазерного променя (B), які містять деформовний відбивний елемент (200) із керованою поверхнею, який має відбивну поверхню із безперервною кривизною, що містить множину незалежно переміщуваних відбивних зон (200a-200r), виконаних з можливістю відбиття вказаного колімованого лазерного променя (B), при цьому розташування вказаних відбивних зон (200a-200r) пристосоване для встановлення попередньо визначеного поперечного розподілу потужності променя (B) щонайменше на одній робочій площині (П) металевому матеріалу (WP); і

- засоби електронної обробки й керування (ECU, CM1, CM2, CM3), виконані з можливістю керування розташуванням вказаних відбивних зон (200a-200r) з метою встановлення попередньо визначеного поперечного розподілу потужності променя (B) щонайменше на одній робочій площині (П) металевому матеріалу (WP) залежно від зони поточної робочої площини (П) й/або поточного напрямку робочого шляху (T) на металевому матеріалі (WP), який **відрізняється** тим, що містить сопло (18) для доставки потоку допоміжного газу в напрямку робочої зони на металевому матеріалі (WP), і тим, що вказані засоби електронної обробки й керування (ECU, CM1, CM2, CM3) додатково виконані з можливістю:

- відстеження поточного положення й/або напрямку поточного поступального переміщення осі потоку допоміжного газу;

- поступального переміщення осі потоку допоміжного газу відносно попередньо визначеного робочого шляху (T) на металевому матеріалі (WP);

- автоматичного регулювання положення оптичної осі поширення лазерного променя (B) залежно від відстеженого поточного положення й/або відстеженого поточного напрямку поступального переміщення осі потоку допоміжного газу.

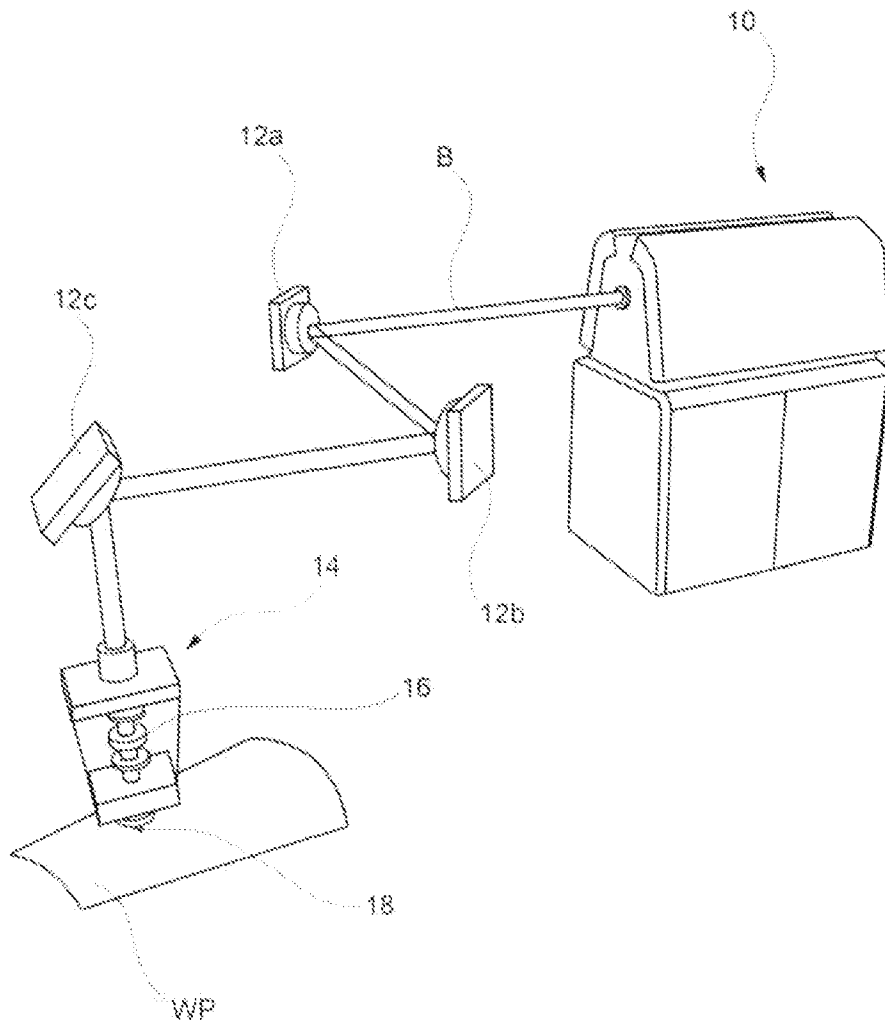


Fig. 1

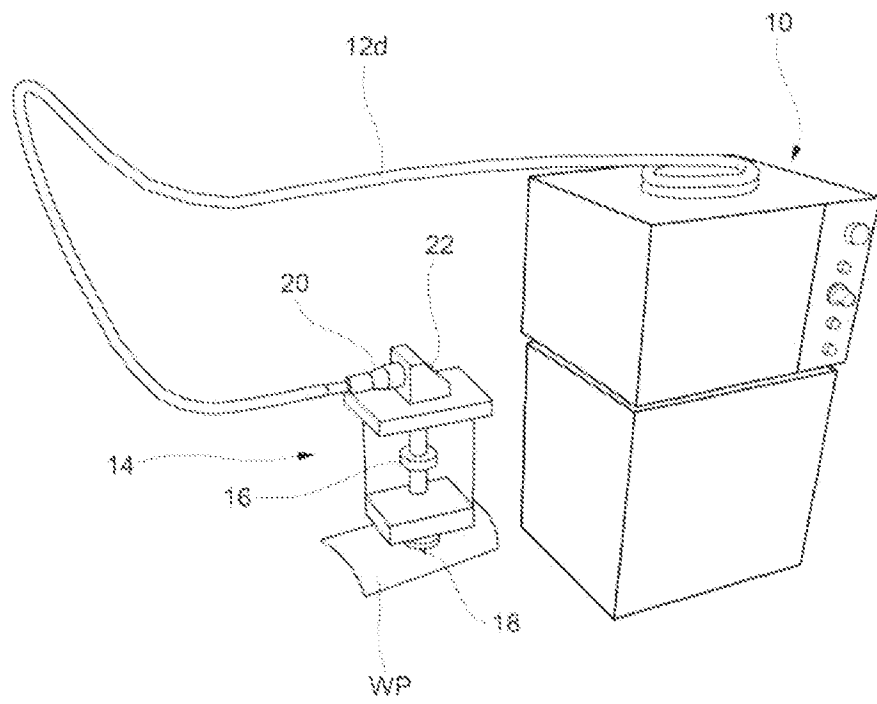


Fig. 2

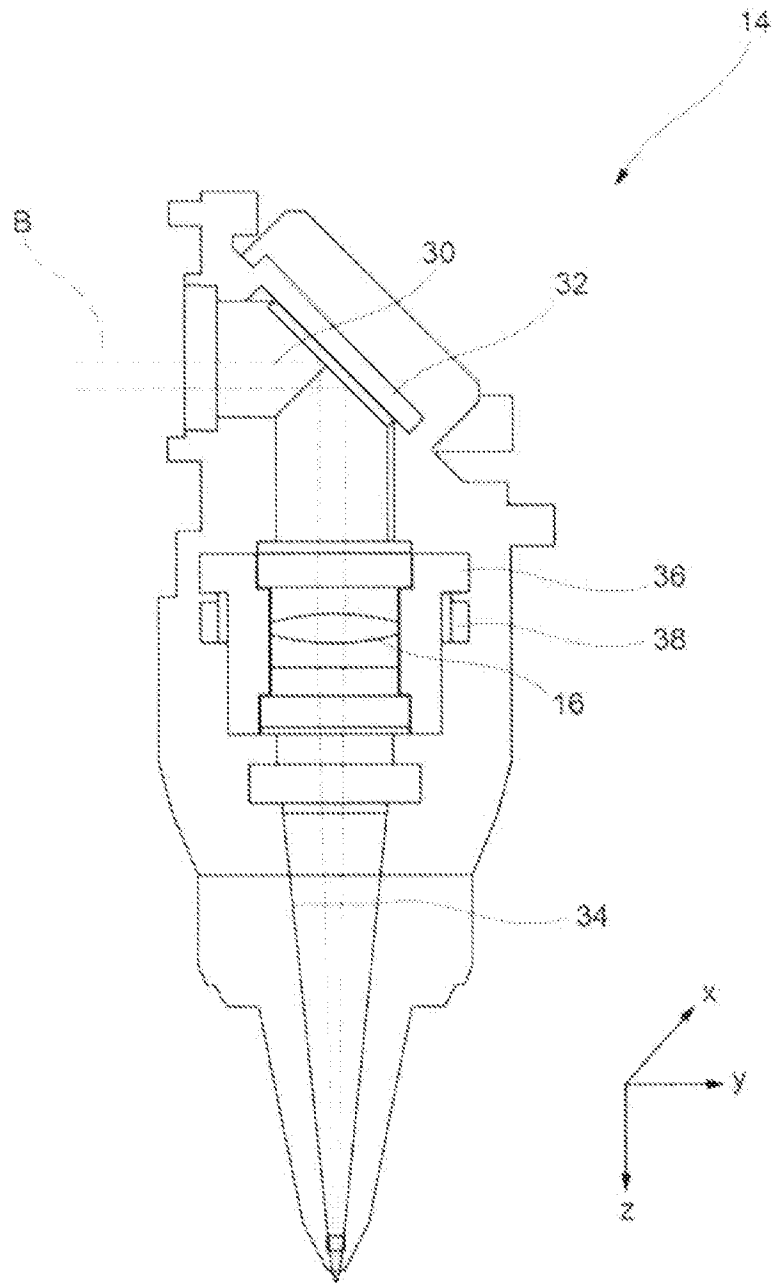
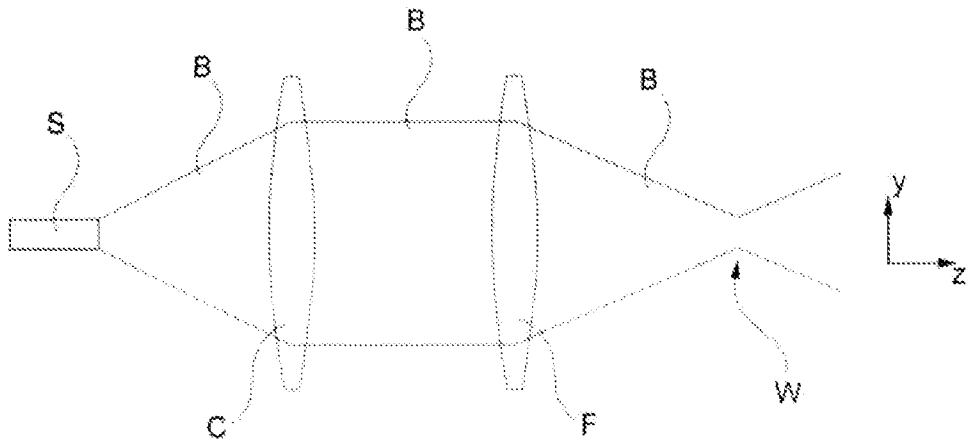
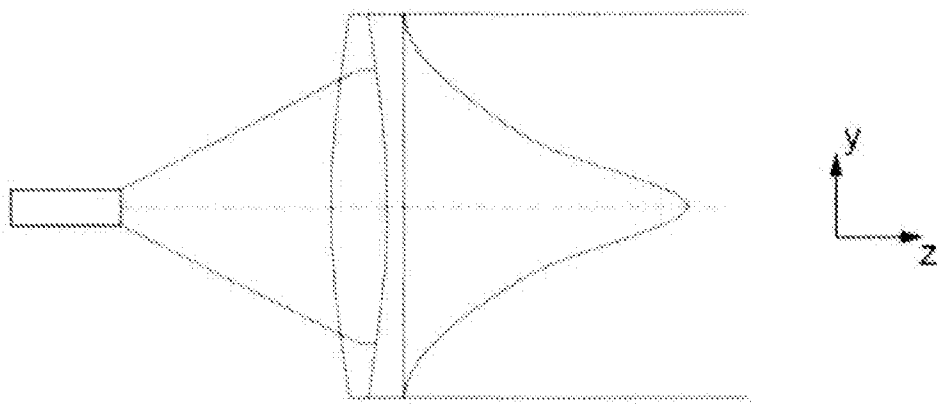


Fig. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

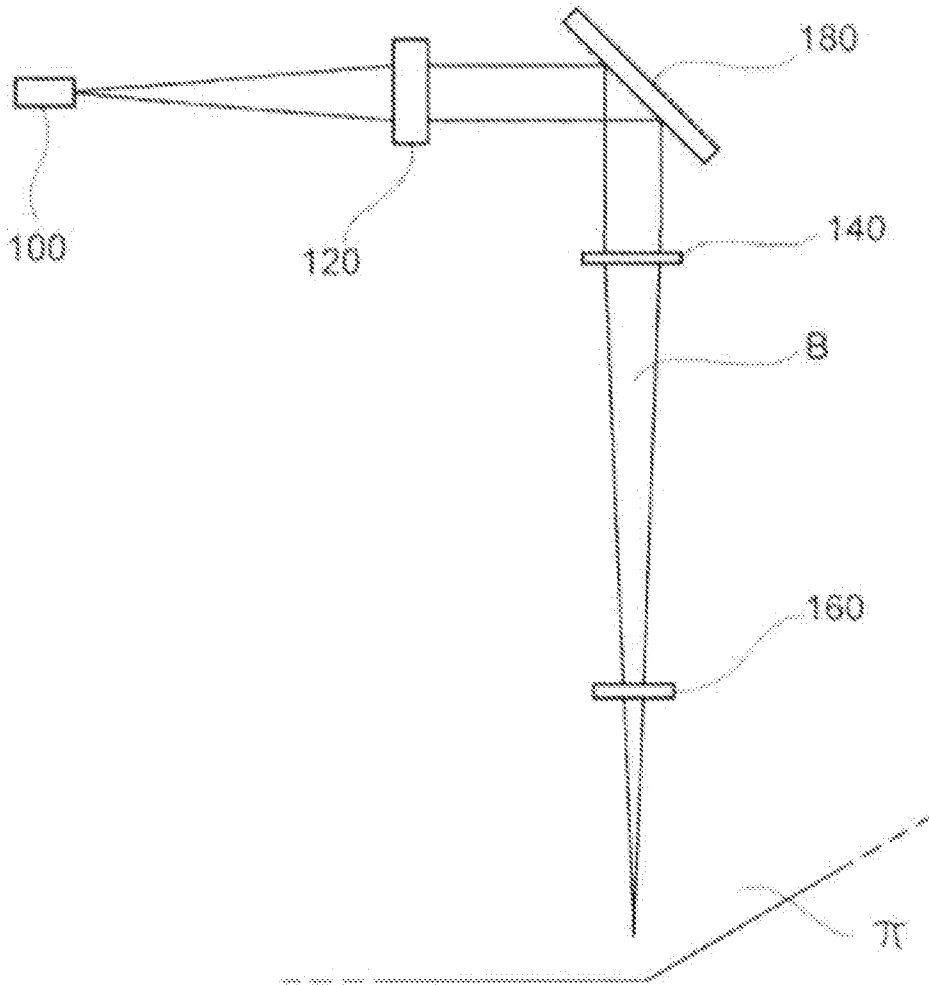


Fig. 6

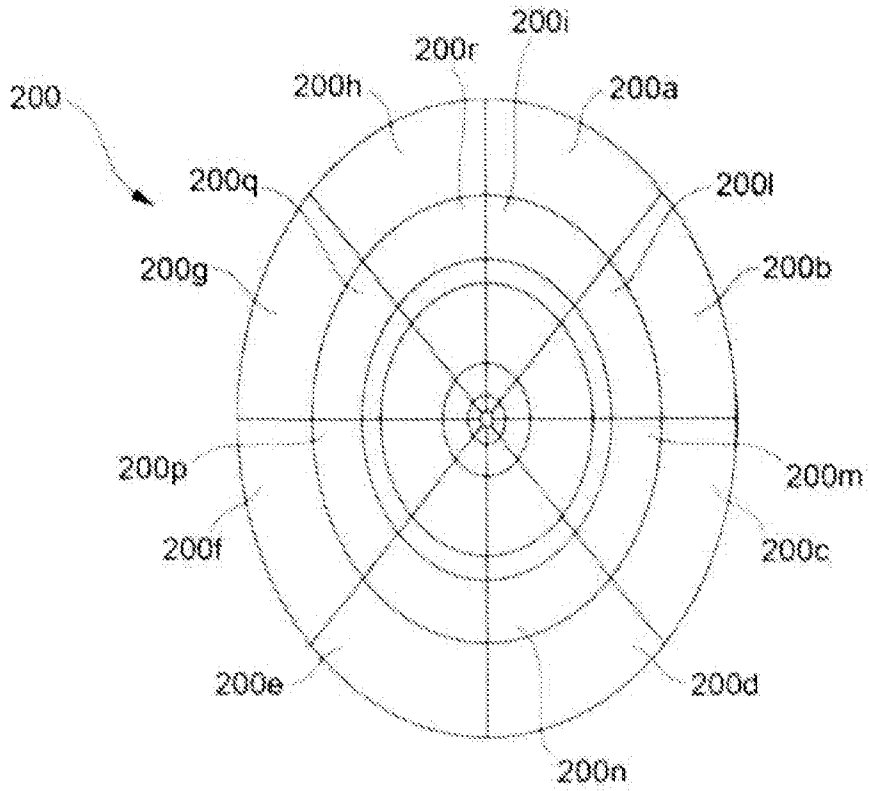


Fig. 7

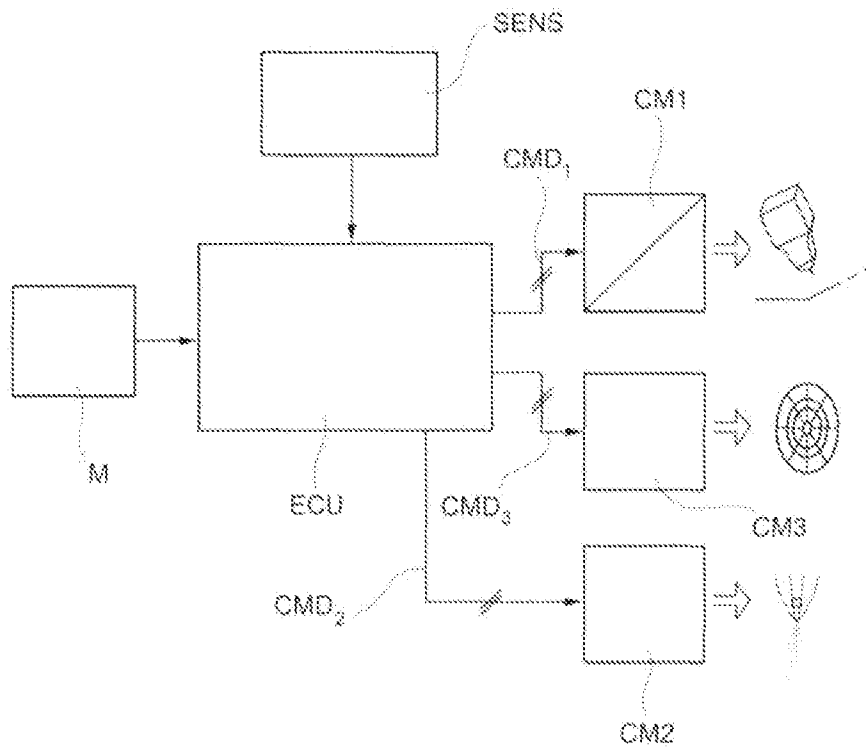


Fig. 8

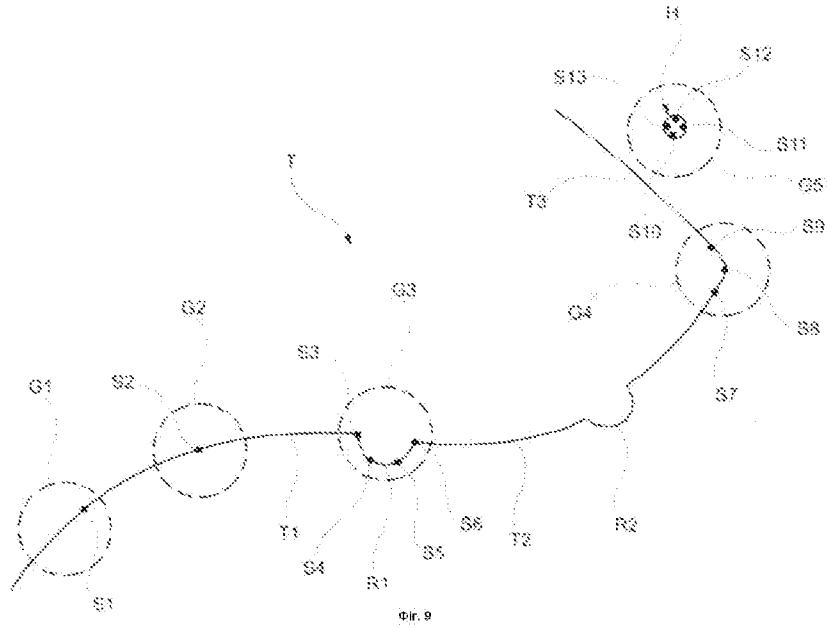


Fig. 9