



УКРАЇНА

(19) **UA**
(51) МПК(11) **127600**(13) **C2****B23K 26/21** (2014.01)**B23K 26/32** (2014.01)**A24F 40/46** (2020.01)**A24F 40/70** (2020.01)**A24F 40/10** (2020.01)**B23K 103/04** (2006.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2019 01807	(72) Винахідник(и):	Ротуелл Ховард (GB)
(22) Дата подання заявки:	11.09.2017	(73) Володілець (володільці):	НІКОВЕНЧЕРЗ ХОЛДІНГС ЛІМІТЕД, Globe House, 1 Water Street, London WC2R 3LA, United Kingdom (GB)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	02.11.2023	(74) Представник:	Михайлюк Ганна Валентинівна, реєстр. №184
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Парижської конвенції:	1616135.8	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	US 2014283825 A1, 25.09.2014 WO 2016092261 A1, 16.06.2016 JP 2006205093 A, 10.08.2006 US 6049054 A, 11.04.2000 JP 2001276582 A, 09.10.2001 US 2015140351 A1, 21.05.2015 JP H10106433 A, 24.04.1998 UA 106106 C2, 25.07.2014
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Парижської конвенції:	22.09.2016		
(33) Код держави-учасниці Парижської конвенції, до якої подано попередню заявку:	GB		
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.03.2019, Бюл.№ 6		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	01.11.2023, Бюл.№ 44		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/GB2017/052645, 11.09.2017		

(54) СПОСІБ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ З'ЄДНАННЯ ТВЕРДОГО І ПОРИСТОГО МЕТАЛЕВИХ КОМПОНЕНТІВ**(57) Реферат:**

У способі лазерного зварювання твердий металевий компонент розміщений у контакті з пористим металевим компонентом на межі поділу, лазерний промінь спрямовують на твердий металевий компонент, щоб викликати нагрівання та плавлення однієї або більше частин твердого металевого компонента в межі поділу, а розплавлені металеві частини протікають в пустотах в пористому металевому компоненті та потім твердіють в результаті охолодження так, що частини пористого металевого компонента, суміжні із зазначеними пустотами, інтегруються всередину металу твердого металевого компонента, таким чином зв'язуючи твердий металевий компонент і пористий металевий компонент.

UA 127600 C2

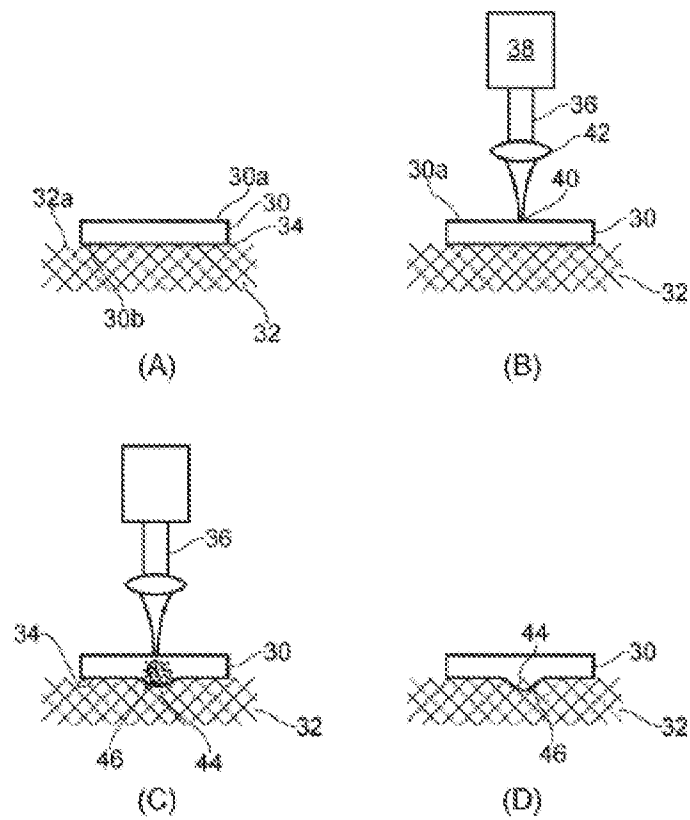


Fig. 4

Галузь техніки

Цей винахід стосується способів лазерного зварювання та деталей, виготовлених з використанням способів лазерного зварювання.

Передумови винаходу

5 Системи надання аерозолю, такі як системи доставки нікотину (наприклад, електронні сигарети або сигарети для електронного паління) зазвичай містять резервуар для початкової рідини, яка містить склад, який зазвичай включає нікотин, з якого генерується аерозоль, наприклад шляхом випаровування або іншими засобами. Таким чином, джерело аерозолю для системи надання аерозолю може містити нагрівальний елемент, з'єднаний з частиною 10 початкової рідини з резервуара. Коли користувач вдихає через пристрій, нагрівальний елемент активується з випаровуванням невеликої кількості початкової рідини, яка, таким чином, перетворюється на аерозоль для вдихання користувачем. Зазвичай нагрівальний елемент виконаний з електропровідного матеріалу та з'єднаний з електричним джерелом живлення, таким як батарея, яке змушує електричний струм протікати через нагрівальний елемент для 15 нагрівання елементу, який, в свою чергу, нагріває та випаровує початкову рідину.

При такому розташуванні нагрівальний елемент електрично з'єднаний з джерелом живлення за допомогою пари електричних контактів, також виконаних з провідного матеріалу, такого як метал. У той час, як нагрівальний елемент та контакти можуть бути розташовані таким чином, щоб торкатися одне одного, фізичний зв'язок або з'єднання між нагрівальним елементом та 20 електричними контактами надає більш надійне електричне з'єднання.

Пайка являє собою техніку забезпечення фізичного зв'язку між металевими компонентами, такими як провідні елементи, в електричній схемі. Присадний метал, що відомий як припій та має температуру плавлення, меншу за температуру плавлення провідних елементів, що мають бути з'єднані, плавлять шляхом нагрівання, так що він тече до області з'єднання та утворює 25 фізичний зв'язок, який з'єднує компоненти після охолодження та отвердіння. Домішки в області з'єднання можуть знизити якість паяного з'єднання; це можна вирішити шляхом використання флюсового матеріалу для запобігання окиснення під час процесу пайки та/або наданням належного хімічного очищення від корозії. Однак щодо систем доставки аерозолю та нікотину флюсові матеріали можуть зазнавати впливу нікотину в оточенні нагрівального елемента, що 30 призводить до забруднення аерозолю.

Отже існує зацікавленість в альтернативних техніках утворення електричних з'єднань між нагрівальним елементом та його електричними контактами.

Стислий опис винаходу

Згідно з першим аспектом певних варіантів здійснення, описаних в цьому документі, 35 надається спосіб лазерного зварювання, що включає: розміщення твердого металевого компонента у контакт з пористим металевим компонентом на межі поділу; спрямування лазерного променя на твердий металевий компонент, щоб викликати нагрівання та плавлення однієї або більше частин твердого металевого компонента в межі поділу; та допускання протікання розплавлених металевих частин у порожнечі у пористому металевому компоненті та 40 затвердіння в результаті охолодження, так що частини пористого металевого компонента, суміжні з зазначеними порожнечами, інтегруються в метал твердого металевого компонента, таким чином зв'язуючи твердий металевий компонент та пористий металевий компонент.

Пористий металевий компонент може містити сітку з металевих волокон, спечених разом, частини пористого металевого компонента, суміжні з зазначеними порожнечами, які інтегровані 45 в метал твердого металевого компонента, являють собою металеві волокна. Один або обидва з твердого металевого компонента та пористого металевого компонента можуть містити нержавіючу сталь.

Лазерний промінь можна приводити в дію протягом першого періоду часу на високому рівні вихідної потужності, а потім, протягом другого періоду часу, на нижчому рівні вихідної 50 потужності, меншому, ніж високий рівень вихідної потужності. Наприклад, перший період часу та другий період часу можуть мати тривалості із співвідношенням в діапазоні від 1:3 до 1:80. Нижчий рівень вихідної потужності може мати значення від 40 % до 60 % від високого рівня вихідної потужності. Також першому періоду часу може передувати початковий період, протягом якого рівень вихідної потужності лазера збільшується від нуля до високого рівня вихідної 55 потужності. Високий рівень вихідної потужності може знаходитися в діапазоні від 1 кВт до менше, ніж 1,8 кВт. Лазерний промінь може доставляти до металевих компонентів загальну кількість енергії в діапазоні від більше, ніж 4,5 Дж до менше, ніж 8,0 Дж.

Спосіб може додатково включати прикладення сили від краю до краю межі поділу з метою стиснення твердого металевого компонента та пористого металевого компонента в той час, 60 коли лазерний промінь спрямований на твердий металевий компонент.

Твердий металевий компонент може мати товщину в діапазоні від 0,05 мм до 0,5 мм.

Твердий металевий компонент може являти собою електричний контакт, а пористий металевий компонент може являти собою нагрівальний елемент для утворення аерозолю з рідини в системі надання аерозолю.

5 Згідно з другим аспектом певних варіантів здійснення, наданих в цьому документі, надається збірка, що містить твердий металевий компонент та пористий металевий компонент, зв'язані разом по зварному шву за допомогою частин пористого металевого компонента, суміжних порожнечам в пористому металевому компоненті, які інтегровані в щонайменше одну частину твердого металевого компонента, введену в порожнечі.

10 Згідно з третім аспектом певних варіантів здійснення, наданих в цьому документі, надається збірка, що містить твердий металевий компонент та пористий металевий компонент, зв'язані разом зварним швом, виконаного або отриманого за допомогою способу лазерного зварювання згідно зі способом першого аспекту.

15 У таких збірках зварний шов може мати електричний опір електричному струму, що протікає від одного з твердого металевого компонента та пористого металевого компонента до іншого компонента, що становить від 10 мОм або менше.

20 Згідно з четвертим аспектом певних варіантів здійснення, наданих в цьому документі, надається спосіб лазерного зварювання, що включає: розміщення твердого металевого компонента в контакті з пористим металевим компонентом, що містить множину спечених металевих ниток; спрямування лазерного променя на твердий металевий компонент для доставки до нього енергії; допускання нагрівання і плавлення енергією щонайменше частини твердого металевого компонента, який знаходиться в контакті з пористим металевим компонентом, так що розплавлений метал тече навколо металевих ниток у пористому металевому компоненті; відведення лазерного променя; та охолодження розплавленого металу, що протікав навколо металевих ниток, таким чином, що металеві нитки занурюються в твердий металевий компонент із його зв'язуванням з пористим металевим компонентом.

25 Ці й додаткові аспекти певних варіантів здійснення викладені у незалежних і залежних пунктах доданої формули винаходу. Слід розуміти, що ознаки залежних пунктів формули винаходу можуть бути поєднані одна з одною і з ознаками незалежних пунктів формули винаходу в комбінаціях, які відрізняються від явним чином викладених в формулі винаходу. Крім того, підхід, описаний у цьому документі, не обмежується конкретними варіантами здійснення, такими як ті, що викладені далі, але включає і передбачає будь-які відповідні комбінації ознак, представлених у цьому документі. Наприклад, спосіб лазерного зварювання може бути наданий згідно з описаними в цьому документі підходами, які включають одну або більше з різних ознак, описаних нижче як придатні.

35 **Стислий опис графічних матеріалів**

Далі лише у якості прикладу будуть докладно описані різні варіанти здійснення з посиланнями на супровідні графічні матеріали, на яких:

40 На фіг. 1 та 2 показані види в перспективі збірки, що містить компоненти, які можуть бути зварені з використанням варіантів здійснення цього винаходу;

На фіг. 3 показана блок-схема етапів способу згідно з варіантом здійснення цього винаходу;

На фіг. 4(A), 4(B), 4(C) та 4(D) показані схематичні зображення приладу для виконання етапів способу, описаному в прикладі, зображеному на фіг. 3;

45 На фіг. 5 показане схематичне зображення поперечного перерізу через першу ілюстративну деталь, зварену з використанням варіанта здійснення цього винаходу;

На фіг. 6 показане схематичне зображення поперечного перерізу через другу ілюстративну деталь, зварену з використанням варіанта здійснення цього винаходу; та

На фіг. 7 показаний графік прикладу вихідної потужності лазера, що придатний для використання в варіанті здійснення цього винаходу.

50 **Докладний опис**

У цьому документі пояснені/описані аспекти та ознаки певних прикладів та варіантів здійснення. Деякі аспекти та ознаки певних прикладів та варіантів здійснення можуть бути реалізовані традиційним чином, тому вони не будуть докладно пояснені/описані заради лаконічності. Таким чином, слід розуміти, що аспекти і ознаки приладу та способів, описаних у цьому документі, які не описані докладно, можуть бути реалізовані згідно з будь-якими традиційними технологіями реалізації таких аспектів і ознак.

Цей винахід стосується способу лазерного зварювання, який може бути використаний у виробництві системи надання аерозолю, такої як сигарета для електронного паління (однак спосіб таким чином не обмежується і є також придатним для застосування в інших контекстах).

У подальшому описі іноді може вживатися термін "сигарета для електронного паління"; однак слід розуміти, що цей термін може вживатися нарівні із системою надання аерозолю (пари).

Фіг. 1 є схематичним зображенням деяких компонентів модуля-носія нагрівального елемента, який може бути використаний у картриджі в зборі системи надання аерозолю, де картридж у зборі є частиною системи, призначений для зберігання початкової рідини та виробництва з неї аерозолю. Варіанти здійснення цього винаходу можуть бути використані для виготовлення такої збірки.

Компонент 10 на фіг. 1 являє собою нижню частину елемента модуля-носія, виконаного з можливістю підтримки нагрівального елемента 12. Цей опорний елемент може називатися опорою, при цьому частина 10, називається нижньою опорою. Верхня опора (не показана) насаджується на нижню опору 10 із затисканням і підтримкою нагрівального елемента між ними. Збірка додатково містить нагрівальний елемент 12, перший електроконтактний елемент 14 для з'єднання з першим кінцем нагрівального елемента 12, та другий електроконтактний елемент 16 для з'єднання з другим кінцем нагрівального елемента 12.

Нижня опора 10 у цьому прикладі сформована з пластикового матеріалу з високим вмістом скляного волокна. Кожна з верхньої та нижньої опор оснащена виїмкою 18 (видима лише для нижньої опори 10 на фіг. 1), що проходить уздовж своєї довжини так, що коли два опорні компоненти зводять разом із затисканням нагрівального елемента 12, вони утворюють опору, що має в цілому трубчасту конфігурацію із шляхом потоку повітря, визначеним відповідними виїмками 18, що проходять вниз всередині трубки та в яких розташований нагрівальний елемент 12.

Перший та другий електроконтактні елементи 14, 16 можуть бути виконані з листового металевих матеріалу, наприклад, що передбачає мідні стрічки, сформовані у придатну форму, враховуючи форму та конфігурацію інших елементів приладу згідно з традиційними виробничими техніками. В інших випадках перший та другий електроконтактні елементи 14, 16 можуть містити традиційну гнучку проводку. У деяких прикладах перший та/або другий електроконтактні елементи можуть бути забезпечені металевим покриттям, наприклад, золотим або срібним металевим покриттям, щоб допомогти зменшити контактний опір та/або зменшити ризик корозії.

У цьому прикладі картриджа в зборі нагрівальний елемент 12 утворений зі спеченого металевих волокнистого матеріалу і в цілому представлений у формі листа. Далі буде додатково описано властивість та конструкцію нагрівального елемента. У цьому конкретному прикладі нагрівальний елемент 12 містить головну частину 12А з електроконтактними подовженими сегментами 12В на кожному кінці для з'єднання з відповідними електроконтактними елементами 14, 16. У цьому прикладі головна частина 12А нагрівального елемента в цілому прямокутна з довжиною (тобто в напрямку, що проходить між електроконтактними подовженими сегментами 12В), що становить приблизно 20 мм та шириною, що становить приблизно 8 мм. Товщина листа, що містить нагрівальний елемент 12, в цьому прикладі становить приблизно 0,15 мм. Як можна бачити на фіг. 2, в цілому прямокутна головна частина 12А нагрівального елемента 12 має пази, що проходять всередину з кожної з довгих сторін; така форма змушує струм протікати уздовж нагрівального елемента 12 від одного електроконтактного подовженого сегмента 12В до іншого звивистим шляхом що призводить до концентрації струму, і отже електричної енергії, навколо кінців пазів. Одержане розподілення тепла та відповідні температурні градієнти можуть бути бажаними щодо систем надання аерозолю. Слід відзначити, що ця форма, розмір та конфігурація нагрівального елемента наведена лише як приклад; варіанти здійснення цього винаходу придатні до інших конфігурацій нагрівального елемента та, звісно, до інших металевих компонентів схожої структури.

Як показано на фіг. 1, перший та другий електроконтактні елементи 14, 16 були прикріплені на нижню опору 10 та при цьому нагрівальний елемент 12 представлений над нижньою опорою 10, готовий до встановлення. Другий електроконтактний елемент 16 прикріплений на другому кінці нижньої опори 10 (крайній ліворуч кінець для орієнтації, зображений на фіг. 1). Нижня опора 10 виконана з можливістю вміщення першої частини другого електроконтактного елемента 16 та відповідає їй за формою згідно з традиційними виробничими техніками прикріплення електричних провідників на пластикових частинах корпусу. Один кінець другого електроконтактного елемента 16 надає другу відкидну частину 16А електроконтактного елемента для з'єднання з одним з електроконтактних подовжених сегментів 12В нагрівального елемента 12, при цьому другий кінець другого електроконтактного елемента 16 проходить у бік від нижньої опори 10, як схематично представлено на фігурі. Перший електроконтактний елемент 14 прикріплений так, щоб проходити уздовж довжини нижньої опори 10, суміжної зі

стілкою виїмки 18. По аналогії з другим електроконтактним елементом 16, один кінець першого електроконтактного елемента 14 проходить у бік від другого кінця нижньої опори 10, як схематично представлено на фігурі. Інший кінець першого електроконтактного елемента 14 надає першу відкидну частину 14А електроконтактного елемента, розташовану на першому кінці нижньої опори 10 (крайній праворуч кінець на фіг. 1) для вміщення інших з електроконтактних подовжених сегментів 12В нагрівального елемента 12.

Верхня поверхня нижньої опори 10 містить декілька контрольних штифтів 20, які вирівняні з пазами в нагрівальному елементі 12 і також з відповідними контрольними отворами у верхній опорі (не показані на фігурах). Ці контрольні штифти потрібні для полегшення вирівнювання верхньої опори 10 з нижньою опорою, а також для полегшення вирівнювання нагрівального елемента 12 відносно верхньої та нижньої опор 10 в зібраному стані.

На фіг. 2 схематично показаний нагрівальний елемент 12, прикріплений на нижній опорі 10, що містить перший та другий електроконтактні елементи 14, 16. Нагрівальний елемент 12 прикріплений на нижній опорі 10 просто шляхом розташування на верхній поверхні нижньої опори 10 з контрольними штифтами 20, вирівняними з пазами нагрівального елемента 12. Перша та друга відкидні частини 14А, 16А електроконтактного елемента зігнуті донизу таким чином, щоб проходити поверх та/або навколо відповідних електроконтактних подовжених сегментів 12В на кожному кінці нагрівального елемента 12. Для надання доброго механічного та електричного з'єднання відкидні частини 14А та 16А електроконтактного елемента фізично зв'язані з електроконтактними подовженими сегментами 12В нагрівального елемента 12 за допомогою способу лазерного зварювання згідно з варіантами здійснення цього винаходу.

Слід відзначити, що нагрівальний елемент та електричні контакти, описані відносно фіг. 1 та фіг. 2 являють собою лише один приклад компонентів, що можуть бути з'єднані за допомогою лазерного зварювання згідно з варіантами здійснення цього винаходу. Інші конфігурації цих компонентів в різних типах систем надання аерозолі можуть також бути з'єднані за допомогою способів варіанта здійснення, і варіанти здійснення цього способу також застосовні для з'єднання компонентів інших продуктів, систем та приладу. Також в той час, як приклад фіг. 1 та 2 показує електричні контакти, прикріплені на нижній опорі перед з'єднанням з нагрівальним елементом, варіанти здійснення способу цим не обмежені, і з'єднання або поєднання за допомогою лазерного зварювання може бути виконане перед збиранням зварених частин з іншими компонентами.

Як описано вище, нагрівальний елемент з прикладу утворений зі спеченого металевого волокнистого матеріалу і в цілому представлений у формі листа. Матеріал такого сорту можна розглядати як сітку або решітку неправильної форми, і він створений шляхом спікання разом довільного компонування або групування розташованих на відстані металевих волокон або ниток. Може бути використаний один шар волокон або декілька шарів, наприклад, до п'яти шарів. Наприклад, металеві волокна можуть мати діаметр, що становить 8 мікрометрів, розташовані з наданням листа товщиною 0,16 мм, та розміщенні з утворенням матеріалу з щільністю, що становить від 200 до 250 г/м² та пористістю, що становить 84 %. Призначення цієї структури з матеріалу, що містить довільно розташовані металеві волокна з порожнечами між ними, полягає в наданні пористого металевого матеріалу, в який здатне проникати текуче середовище (рідина або газ) та протікати уздовж нього та через порожнечі. Щодо нагрівального елемента системи надання аерозолі, пориста структура здатна передавати початкову рідину за допомогою капілярного ефекту та приводити її безпосередньо в контакт із нагрітим металом при проходженні електричного струму через нагрівальний елемент. Однак можуть бути використані інші пористі провідні матеріали для цього конкретного застосування. Способи зварювання згідно з цим винаходом застосовні до інших пористих металевих структур, не тільки до спеченої сітки. Наприклад, лист, витканий або вив'язаний з металевих волокон є також пористим. Зім'ятий або зігнутий металевий лист або твердий металевий блок з отворами, утвореними в ньому за допомогою пресування, механічного свердління або проколювання, або лазерного свердління, може бути достатньо пористим в деяких випадках використання. В контексті цієї заявки пористий металевий матеріал або структура означає деталь, компонент або елемент, виготовлений з одного або більше металів, та який має правильну, неправильну або невпорядковану сітку або групування отворів, каналів або порожнеч на міліметровому, мікрметровому або меншому масштабі, через які може протікати текуче середовище. Наприклад, пористий металевий матеріал або структура може мати пористість, що становить 66 % або більше, чи 70 % або більше, чи 75 % або більше, чи 80 % або більше, чи 85 % або більше, чи 86 % або більше. В прикладах пористість становить по суті 84 %. Матеріал може бути виконаний або не бути виконаний з металевих волокон або ниток. Також може бути використаний будь-який метал, в залежності від особливості його передбачуваного

використання. Для пористого матеріалу, виготовленого з металевих волокон або ниток, матеріал містити волокна лише з одного металу або волокна з двох або більше металів в будь-якому співвідношенні. Наприклад, в нагрівальному елементі для системи надання аерозолю метал може являти собою нержавіючу сталь, наприклад, нержавіючу сталь марки 301. Інші метали передбачають інші нержавіючі сталі, сталь, що не належить до нержавіючої, залізо, мідь, вольфрам, алюміній, латунь та інші сплави або будь-який інший метал (елемент, сполуку або сплав).

У свою чергу електричні контакти, що мають бути приварені до нагрівального елемента у прикладі з фіг. 1 та 2, виготовлені з твердого металу, що не має порожнистої структури пористого металевих матеріалу, і таким чином, не має істотної пористості. Наприклад, твердий метал може мати пористість, що становить 10 % або менше, чи 7,5 % або менше, чи 5 % або менше, чи 2,5 % або менше, чи 1 % або менше, чи 0,5 % або менше, чи 0,25 % або менше. Також твердий металевий компонент цілком можливо є більш щільним, ніж пористий металевий компонент, тобто він має більшу щільність. Варіанти здійснення цього винаходу пропонують використання лазерного зварювання з метою сплавлення або зв'язування твердого металевих компонента з пористим металевим компонентом, таким чином забезпечуючи електричне з'єднання та/або механічне поєднання між такими компонентами без необхідності пайки та пов'язаного з ним використання флюсу. Твердий компонент може також бути виготовлений з будь-якого металу, згідно із його передбачуваним використанням. Наприклад, в системі надання аерозолю, електричні контакти для з'єднання з нагрівальним елементом можуть бути виготовлені із нержавіючої сталі, такої як нержавіюча сталь марки 316L. Інші метали передбачають інші нержавіючі сталі, сталь, що не належить до нержавіючої, залізо, мідь, вольфрам, алюміній, латунь та інші сплави, або нержавіючу сталь з алюмінієвим покриттям, або будь-який інший метал або комбінацію металів (елемент, сполуку, сплав або покриття чи шарувату конструкцію).

Для твердих та пористих металевих компонентів термін "компонент" призначений охоплювати будь-яку деталь або елемент, виготовлений із визначених твердих та пористих металів, незалежно від того, чи є він кінцевою формою частини більшої деталі або продукту та незалежно від того, чи буде він використаний всередині більшої деталі або продукту. Система доставки аерозолю, зображена на фіг. 1 та 2, наведена лише як приклад продукту, в якому може бути використаний варіант здійснення цього винаходу; цей винахід нею не обмежується.

На фіг. 3 показана блок-схема етапів способу згідно з варіантом здійснення цього способу.

На першому етапі S1 обирають твердий металевий компонент та пористий металевий компонент, причому бажано, щоб два компоненти були закріплені разом, наприклад, з метою досягнення електричного з'єднання, механічного зв'язку або їх обох. Компоненти можуть, наприклад, містити матеріал та мати структуру, як описано вище.

На другому етапі S2 твердий металевий компонент та пористий металевий компонент розташовані у відповідних необхідних положеннях у контакті один з одним. Площа, де встановлюється контакт, може вважатися межею поділу, при цьому межа розташована між поверхнями двох компонентів. В залежності від розміру компонентів та їх компонування всередині будь-якого готового пристрою, межа поділу може бути в повний розмір з площею поверхні контактуючих поверхонь одного або обох компонентів, або бути меншою за неї. Наприклад, на конфігурації фіг. 1 та фіг. 2 межа поділу являє собою майже всю або всю площу електричного контакту, але є лише невеликою частиною площі нагрівального елемента. В інших прикладах два компоненти можуть бути розташовані у компонуванні з перекриванням, так що межа поділу є меншою, ніж обидві площі поверхні, або компоненти можуть мати контактні поверхні однакового розміру, так що межа поділу містить більшу частину або всі з обох площ поверхні.

Компоненти можуть утримуватися в контактуючому положенні за допомогою тимчасових затискних засобів або засобів для утримання, з яких вони вивільнюються після зварювання. Альтернативно два компоненти можуть бути зібрані в їх необхідні готові положення всередині більшого пристрою або продукту, а потім зварені разом, як у прикладі на фіг. 1 та 2. Правильно розташовані компоненти, що утримуються в положенні, готовому для зварювання, можуть вважатися деталлю.

На третьому етапі S3, промінь світла від лазера спрямовують на зовнішню (ближню) поверхню твердого металевих компонента, протилежну та по суті ортогональну межі поділу. Іншими словами, лазерний промінь спрямований на компонент з вищою щільністю з двох металевих компонентів. Лазерний промінь може бути сфокусований з отриманням точки фокусу по суті на ближній поверхні твердого металевих компонента, тобто на поверхні, протилежній контактуючій поверхні в межі поділу. В залежності від товщини твердого металевих

компонента, кількості енергії, що має бути доставлена, та розміру площини, що має бути зварена, точка фокусу може замість цього розташовуватися вище або нижче площини ближньої поверхні. Лазерний промінь може бути доставлений через оптичне волокно, або через одну чи більше лінз, або за допомогою комбінації обох. Волокно та/або лінзи можуть бути прикріплені на спеціально призначеній голівці переносу променя, виконаній з можливістю точного розміщення в потрібному місці над або в іншому випадку суміжно з деталлю (належно розташованими компонентами). Приклади лазерів, придатних для використання у лазерному зварюванні, включають твердотільні лазери, такі як рубінові лазери, та Nd:YAG-лазери, а також газові лазери, такі як гелієвий, азотний та вуглекислотний лазери.

На четвертому етапі S4 енергія від лазерного променя доставляється до місця зварного шва в межі поділу. Це досягається шляхом поглинання енергії та переносу тепла. Лазерний промінь, спрямований на твердий металевий компонент поруч з поверхнею, доставляє енергію до металу. Енергія поглинається металом; це призводить до нагрівання металу. Потужність та довжина хвилі лазерного променя та тип металу визначатимуть, як глибоко промінь може проникати всередину металу, а комбінація безпосереднього поглинання енергії та переносу тепла від суміжних площ, що поглинули енергію, забезпечить нагрівання в одній або більше частин твердого металевого компонента в межі поділу, та призведе до плавлення металу. Товщина твердого металевого компонента відносно глибини проникання лазера також відіграє роль в тому, як досягається нагрівання на межі поділу. Спеціаліст в даній області техніки зрозуміє, як налаштувати потужність лазера та довжину хвилі, а також товщину компонента для досягнення необхідного плавлення, беручи до уваги теплові властивості металу та його здатність розсіювати тепло. Трохи нагрівання та плавлення може також відбутися в пористій металевій структурі.

На п'ятому етапі S5 розплавлений або розтоплений метал з твердого компонента здатний витікати назовні з поверхні твердого компонента в межі поділу. Це прискориться, якщо лазерний промінь та деталь розміщені уздовж по суті вертикальної осі, при цьому лазерний промінь спрямований по суті вниз на твердий металевий компонент, при цьому компоненти розміщені як два горизонтальних шари. Потіку розплавленого металу від поверхні, таким чином, допомагає сила тяжіння. Проте ця конфігурація не є обов'язковою. Розплавлений метал здатний до протікання всередину суміжного пористого металевого компонента шляхом потрапляння до порожнеч у пористій структурі і, таким чином, охоплення, вміщення або оточення іншим чином волокон, ниток або інших частин пористої структури, розташованих поблизу.

На шостому етапі S6 лазерний промінь вимикають (або блокують, або відводять від деталі), коли доставлено необхідну кількість енергії. Це докладно описано нижче.

На заключному етапі S7, коли джерело енергії (лазерний промінь) прибирають від деталі, розплавлений метал може охолотитися та затвердіти. Оскільки він протікав всередину порожнеч пористого металевого компонента, він залишається там після охолодження, так що коли він повертається до свого твердого стану, нитки пористого металевого компонента занурені всередину та інтегровані в твердий метал. Це забезпечує механічне з'єднання або зв'язування між двома компонентами, і зварний шов готовий.

Безвідносно до теорії вважається, що розплавлений метал може протікати в індивідуальні частини або "вузлові" області всередині нагрітої області, і кожний вузол утворює злиток або вузлик навколо групи металевих волокон або ниток в пористій структурі (нитки можуть також зазнавати деякого плавлення або розм'якшення). Утворені зварні структури можуть бути представлені як голки (нитки або волокна) в подушечці для голок (вузол або злиток). Іншими словами, розплавлений метал протікає всередину порожнеч між нитками або іншими металевими структурами пористого металу, які є суміжними порожнечам, що розглядаються, та оточує або охоплює ці частини пористого металевого компонента. Зазвичай створюють багато вузлів. Кількість вузлів на зварний шов і співвідношення кількості ниток на вузол можуть бути змінені шляхом налаштування потужності лазера та часу доставки лазерного променя; це докладно описано нижче. Як механічна міцність зварного шва, так і його електричний опір залежать від співвідношення та конфігурації вузла і ниток, таким чином зварний шов може бути виготовлений спеціально для забезпечення хорошої ефективності в залежності від його призначення (фізичне зв'язування, електричне з'єднання або обидва).

На фіг. 4 показані схематичні зображення приладу для виконання способу за фіг. 3. Зображення не викреслені в масштабі. На фіг. 4(A) твердий металевий компонент 30 розташований у контакті з пористим металевим компонентом 32, що містить багато металевих ниток, наприклад, спечених разом. Твердий металевий компонент 30 має (в зображеній орієнтації) верхню або ближню поверхню 30a, а також протилежну нижню поверхню 30b, яка розташована у контакті з поверхнею 32a пористого металевого компонента. Дві контактні

поверхні містять межу поділу 34, яка в цьому прикладі відповідає всій площі поверхні нижньої поверхні 30b твердого металевого компонента 30 та частині площі поверхні верхньої поверхні 32a пористого металевого компонента 32. Зварний шов має бути створений на межі поділу 34 з метою зв'язування двох компонентів.

5 На фіг. 4(B) лазер 38 генерує лазерний промінь 36, який сформований у фокусну точку 40 за допомогою лінзи (або кількох лінз) 42. Фокус 40 розташований на ближній поверхні 30a твердого металевого компонента.

На фіг. 4(C) достатня кількість енергії була доставлена до твердого металевого компонента 30 за допомогою лазерного променя 36, щоб викликати нагрівання через твердий металевий компонент (відмічений затіненою площею) і, в результаті, плавлення твердого металу в межі поділу. Розплавлений метал протікав навколо деяких ниток 44 пористого металевого компонента 32 і утворив вузлик 46.

10 На фіг. 4(D) лазерний промінь 36 прибрали і розплавлена частина твердого металевого компонента 30 охолотла та затверділа. Таким чином, вузлик 46 являє собою тепер твердий метал та поглинув частини багатьох ниток 44 пористого металевого компонента 32. Два компоненти 30, 32, таким чином, закріплені або сплавлені разом за допомогою цього зв'язку, який забезпечує фізичне, механічне з'єднання, а також електричне з'єднання, де компоненти є металевими та електропровідними.

Конфігурація вузликів та ниток або волокон, занурених туди, може бути модифікована шляхом використання різних режимів або протоколів доставляння лазерної потужності.

20 На фіг. 5 показане зображення в поперечному перерізі (не в масштабі) першої ілюстративної деталі, звареної згідно з варіантом здійснення цього винаходу. Твердий металевий компонент 30 був розплавлений під час процесу зварювання і протікав з утворенням двох вузлів або вузликів 46. Кожний вузлик пронизаний множиною металевих волокон 44, що містяться всередині пористого металевого компонента 32, і ці металеві волокна 44, таким чином, інтегровані в матеріал твердого металевого компонента 30. Ця множина з метою пояснення представлена за допомогою 7–8 ниток 44 в цьому прикладі. Щонайменше деякі волокна 44 проходять через сторону вузлика 46, причому частина їх довжини міститься всередині вузлика (і закріплена за допомогою оточуючого застиглому металу), і частина їх довжини міститься ззовні вузлика, і утворюють пористу структуру пористого металевого компонента. Деякі волокна 44 можуть повністю знаходитися у вузлику 46. В справжньому прикладі може бути утворено більше вузликів з більшою або меншою кількістю ниток на вузлик. Однак варто зазначити, що декілька вузликів можуть бути утворені за один процес зварювання з використанням одного лазерного променя; за один процес зварювання або вплив променя утворюється не лише один вузлик.

25 Механічна міцність зварного шва (оцінена, наприклад, випробуванням на відрив, в якому вимірюють силу, необхідну для відривання зварених компонентів) буде змінюватися відповідно до кількості вузликів та кількості ниток на вузлик. Також електричний опір буде змінюватися відповідно до цих структурних факторів. Для деяких застосувань електричний опір буде являти собою особливий інтерес, і може бути визначено, наприклад, що дуже надійний зварний шов, який надає високу міцність, також матиме зависокий опір для конкретного застосування (особливо беручи до уваги, що два зварних шва можуть бути включені до електричної схеми, як наприклад, електричний нагрівальний елемент на фіг. 1 і 2). Модифікація протоколу зварювання може змінити структуру з метою зменшення електричного опору для збереження балансу з допустимою механічною міцністю.

30 На фіг. 6 показане зображення в поперечному перерізі (не в масштабі) другої ілюстративної деталі, звареної згідно з другим варіантом здійснення цього винаходу. В цьому прикладі була використана менша потужність лазера порівняно з прикладом на фіг. 5; інші параметри ті ж самі. Цей режим створює більшу кількість вузликів 46 (чотири показані в цьому прикладі), але зі зменшеною кількістю ниток 44 на вузлик (2-3, як показано), або навпаки, зі збільшеною кількістю вузликів на нитку. Ці цифри є лише ілюстративними і не обов'язково є типовими для справжнього прикладу; однак зменшена потужність лазера може бути використана для модифікації таким шляхом структури зварного шва. Ця інша структура схильна мати зменшений електричний опір у порівнянні з прикладом на фіг. 5, та може також мати подібну або збільшену механічну міцність, оскільки утворюється більше вузликів навіть при тому, що загальна кількість ниток, задіяних в зварному шві, може бути меншою.

Експериментальні результати

У випробуванні виконували деяку кількість зварних швів. У цих експериментах твердий металевий компонент представляв собою електричний контакт (як показано на фіг. 1 та 2) та був виконаний з нержавіючої сталі марки 301, та мав товщину 0,2 мм. Пористий металевий компонент представляв собою нагрівальний елемент (такий як показаний на фіг. 1 та 2) з

товщиною 0,16 мм та був виконаний з нержавіючої сталі марки 316L, при цьому містив металеві волокна діаметром 8 мкм, спечені разом у довільному розташуванні з метою надання матеріалу щільності 200–250 г/м² та пористості 84 %.

Був використаний лазер марки ML-2450A, вироблений Amada Miyachi; він являє собою Nd:YAG лазер і отже працює на довжині хвилі 1064 нм. Промінь фокусували у фокусну точку розміром 400 мкм, з розташуванням цієї точки на ближній поверхні твердого металевго компонента. Можуть бути використані інші розміри фокусної точки, наприклад, враховуючи передбачуваний розмір площі зварки, наприклад, такі як від 400 мкм до 600 мкм. З метою впливу на зварний шов лазер приводили в дію в режимі змінної вихідної потужності протягом часу зварювання.

На фіг. 7 показаний графік, що ілюструє вихідну потужність лазера протягом процесу виконання зварного шва. Під час початкового періоду початку роботи (часу включення), що починався в момент часу t_0 та продовжувався протягом періоду Δt_1 до моменту часу t_1 , вихідна потужність швидко збільшувалась від нуля до 100 %. Значення повної 100 % вихідної потужності (параметр потужності лазера) змінювали між експериментами. Передбачається лінійне змінювання. Після цього протягом періоду часу Δt_2 , що продовжувався від t_1 до t_2 , лазер приводили в дію при 100 % потужності. Нарешті, починаючи з моменту часу t_2 , початкову потужність зменшували до 50 % і лазер функціонував протягом подальшого періоду часу Δt_3 , що закінчувався у момент часу t_3 . Тривалості Δt_1 , Δt_2 та Δt_3 , а також загальний час зварювання $\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ змінювали між експериментами.

В таблиці 1 показані режими потужності, яких притримувалися для 30 експериментів, включаючи загальну кількість енергії, доставленої до кожної деталі. Розрахунок кількості енергії передбачає безперервний режим роботи лазера.

Таблиця 1

Експеримент	Параметр потужності (кВт)	Δt_1 (мс)	Δt_2 (мс)	Δt_3 (мс)	Енергія (Дж)
1	1,4	1	1	1	2,8
2	1,6	1	1	1	3,2
3	1,8	1	1	1	3,6
4	1,6	1	1	2	4,0
5	1,6	1	1	2	4,0
6	1,4	1	1	3	4,2
7	1,3	1	1	4	4,55
8	1,8	1	1	2	4,5
9	1,2	1	1	5	4,8
10	1,4	1	1	4	4,9
11	1,4	1	1	4	4,9
12	1,2	1	1	6	5,4
13	1,2	1	1	6	5,4
14	1,5	1	1	4	5,25
15	1,4	1	1	5	5,6
16	1,5	1	1	5	6,0
17	1,4	1	1	6	6,3
18	1,4	1	1	6	6,3
19	1,4	1	1	6	6,3
20	1,2	1	1	8	6,6
21	1,2	1	1	8	6,6
22	1,6	1	1	6	7,2
23	1,6	1	1	6	7,2
24	1,4	1	1	8	7,7
25	1,6	1	2	5	8,0
26	1,6	2	2	4	8,0
27	1,8	1	2	5	9,0
28	1,8	2	2	4	9,0
29	2	1	2	5	10,0
30	2	2	2	4	10,0

Одержані зварені деталі були випробувані та охарактеризовані відповідно до механічної міцності зварного шва, або міцності на відрив, і електричного опору зварного шва. Міцність на відрив була охарактеризована як погана (що показувало відсутність зв'язування), добра або дуже добра (або не застосовна, н/з, за відсутності випробування). Електричний опір був охарактеризований як високий (більше 20 МОм), середній (середній, 10-20 МОм) або низький (менше, ніж 10 МОм). Результати показані в таблиці 2, включаючи значення енергії, показані також в таблиці 1.

Таблиця 2

Експеримент	Міцність на відрив	Опір(МОм)	Енергія (Дж)
1	н/з	високий	2,8
2	н/з	середній	3,2
3	н/з	середній	3,6
4	погана	високий	4,0
5	погана	високий	4,0
6	погана	високий	4,2
7	погана	високий	4,55
8	добра	високий	4,5
9	добра	середній	4,8
10	добра	середній	4,9
11	дуже добра	низький	4,9
12	погана	високий	5,4
13	погана	високий	5,4
14	добра	середній	5,25
15	дуже добра	низький	5,6
16	погана	середній	6,0
17	добра	середній	6,3
18	добра	низький	6,3
19	добра	низький	6,3
20	дуже добра	низький	6,6
21	дуже добра	низький	6,6
22	добра	середній	7,2
23	добра	середній	7,2
24	дуже добра	середній	7,7
25	н/з	високий	8,0
26	н/з	високий	8,0
27	н/з	високий	9,0
28	н/з	високий	9,0
29	н/з	високий	10,0
30	н/з	високий	10,0

З цих результатів видно, що існує режим, в якому доставляється менша кількість енергії (експерименти з меншим номером), і вихід є в цілому поганим в тому сенсі, що механічна міцність зварного шва низька, і при цьому він має високий опір. На відміну від цього режим для експериментів з більшим номером, в якому доставлялася значно більша кількість енергії, також мав низький вихід для деяких застосувань. Міцність механічного зв'язку може бути покращена, але опір залишається високим. Проміжний режим, в якому доставляється більш помірна кількість енергії, дає особливо корисний результат в тому сенсі, що механічна міцність є доброю або дуже доброю, і при цьому електричний опір є низьким або середнім.

Беручи до уваги фігури відносно цієї конкретної ілюстративної деталі, можна відзначити, що загальна кількість енергії, що перевищує 4,5 Дж, але не перевищує 8,0 Дж, дає корисні результати при доставлянні з використанням режиму, подібного до того, що показаний на фіг. 7. Більш конкретно, доставка енергії, що становить від 6,0 Дж до 7,0 Дж дає особливо добрі результати, говорячи про добру міцність на відрив та низький опір.

Придивляючись уважніше до результатів, слід відзначити, що найбільш корисні результати, одержані від помірної доставки енергії, відповідають протоколу роботи лазера, в якому тривалість Δt_3 значно перевищує тривалість Δt_2 . Іншими словами, час, протягом якого використовували зменшений рівень потужності, в декілька разів більший за той час, в якому

використовували повний або вищий рівень потужності (вища потужність може дорівнювати або не дорівнювати максимальній робочій потужності лазера). Експериментальні результати зверху та знизу таблиць 1 та 2, в яких Δt_3 такий самий або лише в 2 чи 2,5 рази перевищує Δt_2 , показали гірші результати, говорячи про міцність на відрив та/або високий опір. У свою чергу результати із середини таблиць 1 та 2 відповідають кращим результатам. Початкова кількість енергії при повній потужності доставляється протягом Δt_2 для ініціювання нагрівання та розплавлення, а потім зменшена кількість енергії доставляється протягом довшого відрізка часу Δt_3 для підтримки розповсюдження тепла і розплавленого стану та надання часу для утворення вузликів, без надання надлишкової кількості енергії, яка може пошкодити або компонент, або викликати надлишкове розплавлення. Виходячи з результатів, режим, в якому співвідношення Δt_2 до Δt_3 є більшим або дорівнює 1:3, або є більшим чи дорівнює 1:4 можна вважати корисним. Також доставляння завеликої кількості енергії навіть при низькій потужності може завдавати шкоди, тому верхня межа також може братися до уваги, наприклад, співвідношення від 1:4 до 1:8 або від 1:3 до 1:8 (останнє співвідношення в цих діапазонах є найбільшим з експериментальних даних). В цьому діапазоні вищі співвідношення відповідають кращим результатам у таблиці 2, тому в деяких варіантах здійснення співвідношення може бути задане в діапазоні від 1:6 до 1:8.

В інших експериментах було встановлено, що значно більші співвідношення дають добрі результати. В деяких експериментах високий рівень потужності знаходився в діапазоні від 1,2 кВт до 1,4 кВт. Високий рівень потужності, такий як цей, може бути доставлений протягом часу від 0,1 мс до 0,2 мс, а нижчий рівень потужності, наприклад, 50 % від високого рівня потужності, може після цього бути доставлений протягом додаткового часу від 4 мс до 8 мс. Нижчу потужність доставляють протягом часу, у 20 або 40 або 80 разів більшого, ніж вищу потужність. Таким чином, співвідношення Δt_2 до Δt_3 може, в деяких випадках, становити 1:20 або більше, чи 1:40 або більше, чи 1:80 або більше, або в діапазоні від 1:20 до 1:80, або 1:20 до 1:40, або 1:40 до 1:80. Співвідношення між цими значеннями і меншими значеннями, наведеними вище, також можуть бути використані, наприклад, в діапазоні від 1:10 до 1:15.

Таким чином, загалом спосіб зварювання може бути реалізований із співвідношенням Δt_2 до Δt_3 в діапазоні від 1:3 до 1:80, хоча це не є обмежуючим.

В експериментах використовували зменшену потужність протягом Δt_3 , що становила 50 % від повної потужності в Δt_2 . Однак корисні результати можуть також бути отримані для інших зменшених рівнів потужності, наприклад, в діапазоні з нижчою межею становить 30 % або 35 %, або 40 %, або 45 % та верхньою межею становить 55 % або 60 %, або 65 %, або 70 %. Також етап зі зменшеною потужністю можна пропустити, таким чином, протягом Δt_3 прикладають повну потужність або щонайменше таку саму потужність, що й протягом Δt_2 . Проте зварний шов можна виконати. Слід відзначити, що "повна потужність" та 100 % потужність не обов'язково означають повну потужність, яку лазер здатний учиняти, а скоріше означають рівень потужності, що використовували протягом періоду Δt_2 , і до якого робоча потужність лінійно змінюється протягом періоду Δt_1 . В залежності від типу застосованого лазера, будь-який період лінійної зміни може бути більш або менш значущим, або може застосовуватись система з відкидною заслінкою для захисту деталі протягом етапу вмикання і, таким чином, виключення лінійної зміни з протоколу доставки енергії. В експериментальних прикладах, що відповідають кращим результатам, тривалість періоду лінійної зміни Δt_1 така сама, як і період лінійної зміни Δt_2 ; проте це не є обов'язковим.

Також, виходячи з експериментальних результатів, можна побачити, що рівні потужності протягом періоду повного рівня потужності, що не перевищували 1,8 кВт, дали добрі результати. Було встановлено, що рівні потужності, що становили 1,8 кВт і вище, як правило, давали гірший зварний шов, особливо, говорячи про високий електричний опір. Також дуже низькі рівні потужності вимагають довшого часу зварювання, і нижче порогового значення не забезпечують достатнього нагрівання для спричинення необхідного ступеня розплавлення. Стовідсоткові рівні потужності в діапазоні від 1 кВт до менше, ніж 1,8 кВт вважаються особливо корисними. Також може бути використаний повний рівень потужності в діапазоні від 1,2 кВт до 1,6 кВт або в діапазоні від 1,2 кВт до 1,4 кВт. Пригадуючи структуру, показану в прикладі на фіг. 6, в якому зменшена потужність створює більше вузликів з меншою кількістю ниток на вузлик, цього можна досягти з повними рівнями потужності, що становлять 1,5 кВт і нижче, наприклад, від 1,0 кВт до 1,5 кВт. Рівень потужності має бути модифікований згідно з типом металу, довжиною хвилі лазера та товщиною твердого металевого компонента, що буде зрозуміло для спеціаліста в даній області техніки. Отже варіанти здійснення цього винаходу не обмежені рівнями потужності, наведеними вище; вони наведені лише для зразку.

Нагадаємо, що в цих експериментах твердий металевий компонент мав товщину, що становила 0,2 мм, а пористий металевий компонент мав товщину, що становила 0,16 мм. Очевидно, що твердий металевий компонент з товщиною набагато більшою, ніж 0,2 мм перешкоджатиме успішному зварюванню в режимах потужності та енергії, наведеними вище, оскільки лазерний промінь поглинатиметься далеко від межі поділу, а теплове розповсюдження може бути недостатнім для розплавлення металу в межі поділу. Однак очікується, що твердий металевий компонент з товщиною в діапазоні від 0,05 мм до 0,5 мм, наприклад, від 0,05 мм до 0,5 мм, від 0,05 мм до 0,45 мм, від 0,05 мм до 0,4 мм, від 0,05 мм до 0,35 мм, від 0,05 мм до 0,3 мм, від 0,05 мм до 0,25 мм, від 0,1 мм до 0,5 мм, від 0,1 мм до 0,45 мм, від 0,1 мм до 0,4 мм, від 0,1 мм до 0,35 мм, від 0,1 мм до 0,3 мм, від 0,1 мм до 0,25 мм, від 0,15 мм до 0,5 мм, від 0,15 мм до 0,45 мм, від 0,15 мм до 0,4 мм, від 0,15 мм до 0,35 мм, від 0,15 мм до 0,3 мм, або від 0,15 мм до 0,25 мм будуть успішно зварені з використанням описаних протоколів. Товщина пористого металевих компонента вважається менш значущою, оскільки лазерна та теплова енергія не повинні проходити через цей шар для утворення зварного шва. Навпаки можуть бути обставини, в яких існує зацікавленість в нещільності пористого металевих компонента, бо якщо він дуже тонкий, зварний шов може також спричинити принаймні часткове зв'язування робочої деталі з будь-яким додатковим компонентом під пористим металевим компонентом, тобто навпроти лазерного променя, що падає. Це може статися в результаті проходження розплавленого металу у вузлику через усю товщу пористого компонента, або в результаті плавлення або розм'якшення металевих ниток в пористому металевому компоненті, або, наприклад, в результаті плавлення або розм'якшення матеріалу додаткового компонента. Будь-яке таке зв'язування може бути або не бути причиною занепокоєння, а в деяких випадках може бути вигідним. Це можна вирішити за допомогою утримання деталі окремо протягом зварювання, а не збираючи воедино пористий металевий компонент з іншими компонентами, що лежать під ним, до зварювання. Однак в наданих прикладах, що представляють інтерес, пористий металевий компонент може мати товщину в діапазоні, наприклад, від 0,15 мм до 0,17 мм, від 0,14 мм до 0,18 мм, від 0,13 мм до 0,19 мм або від 0,12 мм до 0,2 мм, від 0,1 мм до 0,22 мм, або від 0,08 мм до 0,24 мм.

Для застосувань, в яких зварний шов потрібен для забезпечення електричного з'єднання, інтерес представляє низький електричний опір. Варіанти здійснення цього винаходу спроможні досягти опору, що становить 10 мОм або менше. Для деяких пристроїв інтерес можуть представляти значення опору, що становлять від 10 мОм до 20 мОм.

Бажано протягом будь-якого процесу зварювання, включаючи лазерне зварювання, уникати утворення повітряних кишень на зварному шві. Для лазерного зварювання це можна вирішити прикладенням стиснення під час зварювання. В цьому випадку стиснення має слід використовувати з обережністю через наявність пористого металевих компонента. Надмірне стискання може назавжди розплющити і, таким чином, пошкодити структуру пористого матеріалу, знижуючи його пористість, збільшуючи щільність, і, можливо, роблячи його непридатним для передбачуваного призначення. Таким чином, при використанні варіантів здійснення цього винаходу, було встановлено, що утворення повітряної кишені має бути усунене, для цього може бути прикладене стискання з силою, що становить від 0,1 Н до 5,0 Н. Може бути встановлено, що потреби в стисканні немає, тобто сила становить 0 Н. Тоді загалом сила стискання, що становить від 0 Н до 5 Н включно, може бути прикладена від краю до краю межі поділу під час використання лазерного променя з утворенням зварного шва. Сили такої величини придатні для типу пористого металевих компонента, використаного в експериментах, описаних в цьому документі. Можуть бути використані більші значення сили, якщо пористий металевий компонент може їх витримати, або якщо можливе структурне пошкодження є менш важливим.

Для збільшення поглинання лазерної енергії металом під час процесу зварювання, будь-які сильно відбивні поверхні можуть бути усунені. Наприклад, будь-які відбивні покриття або шари можуть бути видалені з поверхні компонентів на межі поділу, і будь-яке полірування поверхні може не використовуватися на ділянках межі поділу. Також може бути використана обробка поверхні, головним чином, з метою зменшення відбивної здатності.

Різні варіанти здійснення, описані в цьому документі, представлені лише для сприяння розумінню та усвідомленню заявлених ознак. Ці варіанти здійснення наведені лише як типовий зразок варіантів здійснення і не є вичерпними та/або виключними. Слід розуміти, що переваги, варіанти здійснення, приклади, функції, ознаки, структури та/або інші аспекти, описані у цьому документі, не повинні розглядатися як обмеження обсягу цього винаходу, визначеного формулою винаходу, або обмеження еквівалентів формули винаходу, і що можна використовувати інші варіанти здійснення, а також можна робити модифікації в межах обсягу

заявленого винаходу. Різні варіанти здійснення цього винаходу можуть відповідно включати, складатися із, або по суті складатися із, відповідних комбінацій розкритих елементів, компонентів, ознак, частин, етапів, засобів тощо, окрім тих, що конкретно описані в цьому документі. Крім того, цей винахід може включати інші винаходи, не заявлені нині, але які можуть бути заявлені в майбутньому.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб лазерного зварювання, що включає:

розміщення твердого металевого компонента в контакт з пористим металевим компонентом на межі поділу, при цьому твердий металевий компонент являє собою електричний контакт і має товщину в діапазоні від 0,05 до 0,5 мм, а пористий металевий компонент являє собою нагрівальний елемент для утворення аерозолі з рідини в системі надання аерозолі;

спрямування лазерного променя на твердий металевий компонент, щоб викликати нагрівання та плавлення однієї або більше частин твердого металевого компонента в межі поділу; та

допускання протікання розплавлених металевих частин у пустотах у пористому металевому компоненті й оточення частин пористого металевого компонента, суміжних із зазначеними пустотами, та подальшого затвердіння в результаті охолодження, так що частини пористого металевого компонента, суміжні із зазначеними пустотами, є зануреними всередину металу твердого металевого компонента і таким чином інтегруються в метал твердого металевого компонента, таким чином зв'язуючи твердий металевий компонент та пористий металевий компонент;

при цьому пористий металевий компонент містить сітку з металевих волокон, спечених разом, і частини пористого металевого компонента, суміжні із зазначеними пустотами, які занурені всередину й інтегровані в метал твердого металевого компонента, являють собою металеві волокна.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що один або обидва з твердого металевого компонента і пористого металевого компонента містять нержавіючу сталь.

3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що лазерний промінь приводять в дію протягом першого періоду часу на високому рівні вихідної потужності, а потім, протягом другого періоду часу, на нижчому рівні вихідної потужності, меншому, ніж високий рівень вихідної потужності.

4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що перший період часу і другий період часу мають тривалості, які співвідносяться в діапазоні, що становить від 1:3 до 1:80.

5. Спосіб за п. 3 або 4, який **відрізняється** тим, що нижній рівень вихідної потужності становить від 40 до 60 % від високого рівня вихідної потужності.

6. Спосіб за будь-яким з пп. 3-5, який **відрізняється** тим, що першому періоду часу передус початковий період, протягом якого рівень вихідної потужності лазера збільшується від нуля до високого рівня вихідної потужності.

7. Спосіб за будь-яким з пп. 3-6, який **відрізняється** тим, що високий рівень вихідної потужності знаходиться в діапазоні від 1 кВт до менше ніж 1,8 кВт.

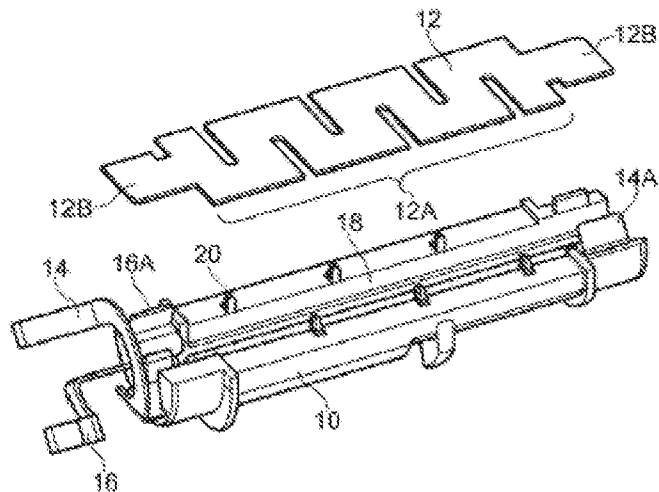
8. Спосіб за будь-яким з пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що лазерний промінь доставляє до металевих компонентів загальну кількість енергії в діапазоні, що становить від більше ніж 4,5 Дж до менше ніж 8,0 Дж.

9. Спосіб за будь-яким з пп. 1-8, який **відрізняється** тим, що спосіб додатково включає прикладення сили від краю до краю межі поділу з метою стиснення твердого металевого компонента та пористого металевого компонента в той час, коли лазерний промінь спрямований на твердий металевий компонент.

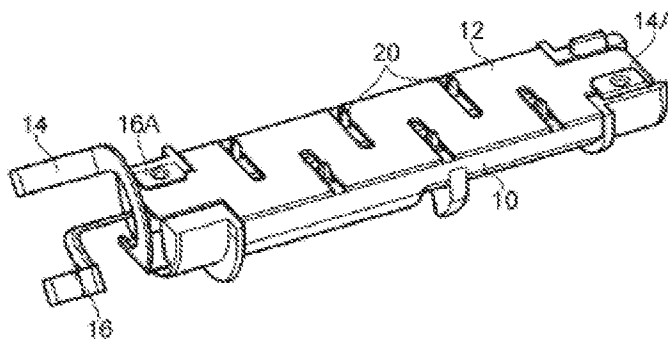
10. Збірка, що містить твердий металевий компонент, який являє собою електричний контакт і має товщину в діапазоні від 0,05 до 0,5 мм, та пористий металевий компонент, який являє собою нагрівальний елемент для утворення аерозолі з рідини в системі надання аерозолі, при цьому твердий металевий компонент і пористий металевий компонент зв'язані разом по лазерному зварному шву за допомогою частин пористого металевого компонента, суміжних з пустотами в пористому металевому компоненті, які занурені всередину й інтегровані щонайменше в одну частину твердого металевого компонента, введену в пустоти й яка оточує частини пористого металевого компонента, суміжні із зазначеними пустотами, при цьому пористий металевий компонент містить сітку з металевих волокон, спечених разом, і частини пористого металевого компонента, суміжні із зазначеними пустотами, які занурені всередину й інтегровані всередину щонайменше однієї частини твердого металевого компонента, являють собою металеві волокна.

11. Збірка, що містить твердий металевий компонент та пористий металевий компонент, що містить сітку з металевих волокон, спечених разом, які були зв'язані разом по зварному шву за допомогою способу лазерного зварювання за будь-яким з пп. 1-9.

12. Збірка за п. 10 або 11, яка **відрізняється** тим, що зварний шов має електричний опір електричному струму, що протікає від одного з твердого металевого компонента і пористого металевого компонента до іншого компонента, що становить 10 мОм або менше.



Фіг. 1



Фіг. 2

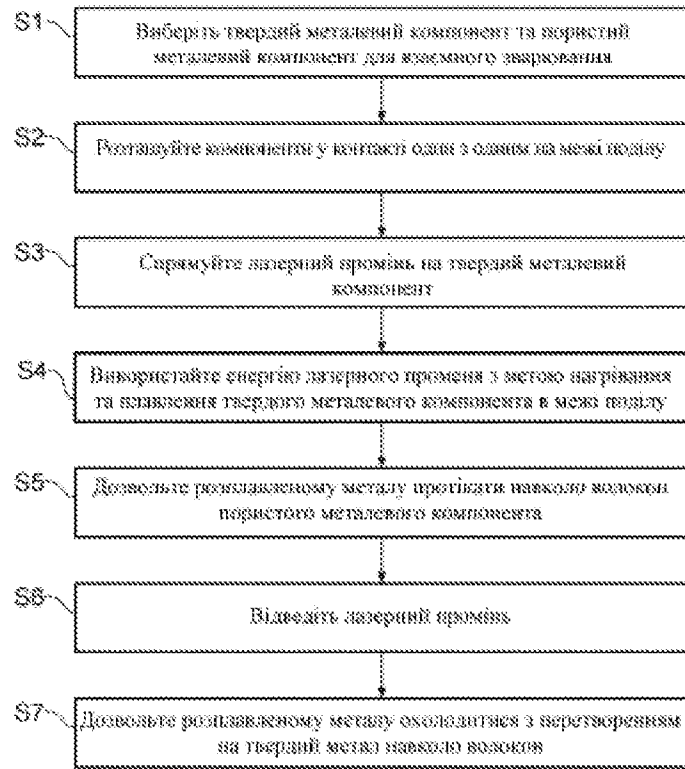


Fig. 3

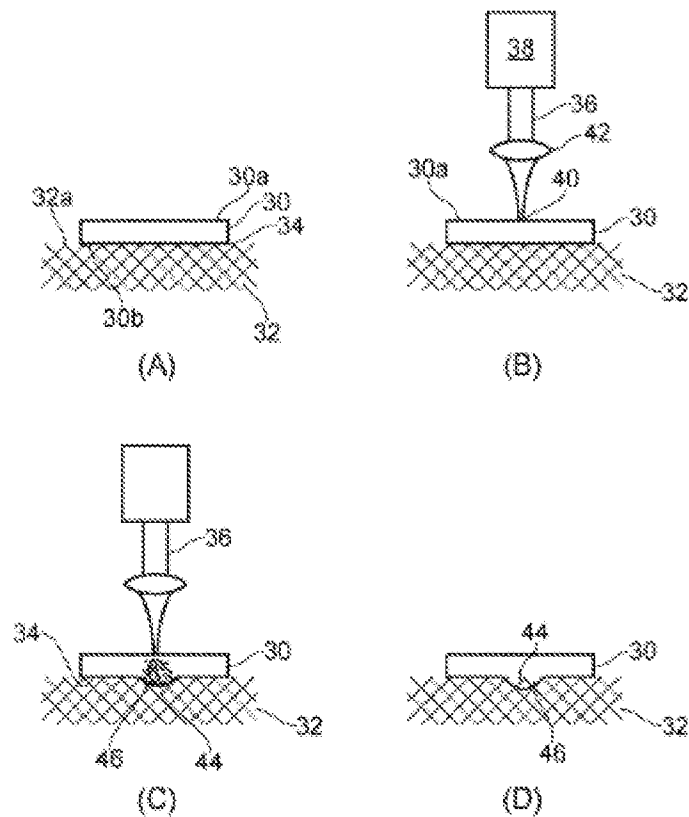


Fig. 4

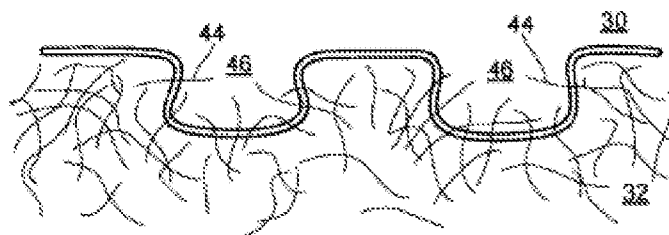


Fig. 5

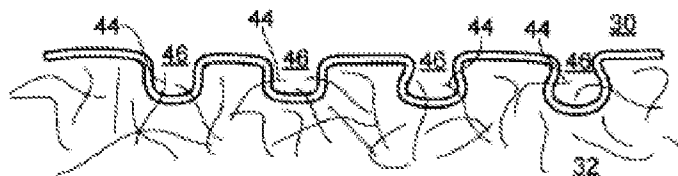


Fig. 6

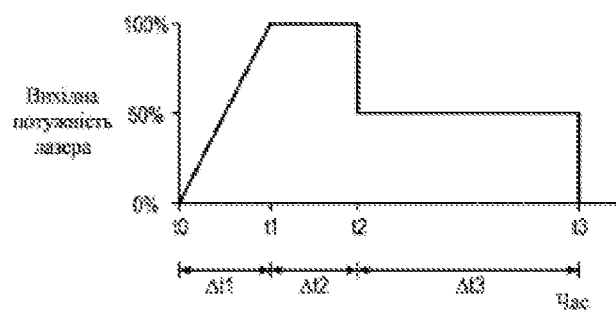


Fig. 7