



УКРАЇНА

(19) UA (11) 75613 (13) C2
(51) МПК (2006)
H05H 1/26
H05H 1/24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АТМОСФЕРНОЇ ПЛАЗМИ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

(21) 2003054134
(22) 12.11.2001
(24) 15.05.2006
(86) РСТ/IB01/02121, 12.11.2001
(31) 00811065.2
(32) 10.11.2000
(33) EP
(46) 15.05.2006, Бюл. №5, 2006р.
(72) Коулік Павел, BE, Зайтченко Анатолій, RU, Мусін Найл, KG
(73) АПІТ КОРП.С.А., CN
(56) US 3989512, 02.11.1976
JP 11106947, 20.04.1999
(57) 1. Спосіб обробки атмосферою плазмою предмета, виконаного з електропровідного матеріалу, що включає генерацію плазмових струменів плазмовими генераторами, дію плазмовими струменями на поверхню оброблюваного предмета та відносно зміщення оброблюваного предмета відносно плазмових генераторів, причому принаймні один з плазмових струменів є катодним струменем, і принаймні один з плазмових струменів є анодним струменем, і вищезгаданий анодний струмінь спрямовують на зону обробки вищезгаданої оброблюваної поверхні поблизу від катодного струменя.
2. Спосіб за п.1, який відрізняється тим, що електричний струм для генерації катодних та анодних плазмових струменів розділяють на три частини, з яких одна, I₃, протікає через оброблюваний предмет, а дві інші, I₁, I₂, подають на анодні та катодні плазмові струмені.
3. Спосіб за п.1 або 2, який відрізняється тим, що катодний струмінь утворює з оброблюваною поверхнею гострий кут α .
4. Спосіб за одним з пп.1 - 3, який відрізняється тим, що анодний струмінь утворює з оброблюваною поверхнею кут β , який є більшим за кут α , утворений між катодним струменем та оброблюваною поверхнею.
5. Спосіб за п.4, який відрізняється тим, що кут β між анодним струменем та оброблюваною поверхнею наближається або практично дорівнює 90°.

2

6. Спосіб за одним з пп.3 - 5, який відрізняється тим, що кут α між катодним струменем та оброблюваною поверхнею становить від 25° до 60°.
7. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що включає генерацію кількох анодних струменів та катодних струменів, розташованих у порядку чергування у напрямку, перпендикулярному напрямкові переміщення оброблюваного предмета відносно плазмових генераторів.
8. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що імпульс, отриманий катодними струменями, є більш потужним, ніж отриманий анодними струменями.
9. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що потік повітря або газу, який захоплюється оброблюваним предметом, відокремлюють від поверхні, яка обробляється, перед зоною обробки.
10. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що потік газу, який захоплюється оброблюваним предметом, формують ламінарним перед зоною обробки.
11. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що плазмові струмені є орієнтованими під гострим кутом γ по відношенню до напрямку переміщення в оброблюваного предмета відносно плазмових генераторів.
12. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що оброблюваний предмет має форму фольги.
13. Спосіб за попереднім пунктом, який відрізняється тим, що плазмові струмені розміщують з двох боків фольги.
14. Спосіб за попереднім пунктом, який відрізняється тим, що плазмові струмені на одному з боків фольги розташовують таким чином, щоб вони були зсунутими по відношенню до плазмових струменів на іншому боці фольги.
15. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що оброблюваний предмет має форму дроту.
16. Спосіб за одним з попередніх пп., який відрізняється тим, що один або кілька струменів додаткового газу Q спрямовують на плазмові струмені з метою розширення або стискання плазмових

(13) C2
(11) 75613
(19) UA

струменів, спрямованих на оброблюваний предмет.

17. Спосіб за одним з попередніх пп., який **відрізняється** тим, що на оброблюваному предметі під час дії плазми створюють акустичну або ультразвукову вібрацію.

18. Спосіб за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що акустичну або ультразвукову вібрацію створюють у процесі генерації плазми через забезпечення електричних імпульсів, причому тривалість переднього фронту величини забезпечуваних імпульсів електричного струму є достатньо короткою для того, щоб процес збільшення величини струму був ізохоричним.

19. Спосіб за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що частота імпульсів електричного струму є наближеною або дорівнює частоті акустичних вібрацій.

20. Спосіб за одним з попередніх пп., який **відрізняється** тим, що змінне магнітне поле генерується таким чином, щоб виникаючі в результаті амперові сили створювали очищувальні коливання плазмових струменів.

21. Спосіб за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що частота ν коливань магнітного поля дорівнює або перевищує співвідношення відносної швидкості переміщення оброблюваного предмета та діаметра плазмових струменів.

22. Пристрій для обробки атмосферною плазмою предмета, виконаного з електропровідного матеріалу, який **відрізняється** тим, що включає принаймні один генератор катодного плазмового струменя та принаймні один генератор анодного плазмового струменя, розташовані таким чином, що анодний струмінь діє на зону обробки оброблюваної поверхні поблизу від катодного струменя.

23. Пристрій за п.22, який **відрізняється** тим, що включає електричну схему для забезпечення плазмових струменів, причому коло електричної схеми замикається частиною оброблюваного предмета, та засіб регулювання електричного струму I_3 , який протікає через оброблюваний предмет.

24. Пристрій за одним з пп.22 або 23, який **відрізняється** тим, що генератор плазмового струменя включає електрод, стабілізуючий канал, сопло для утворення плазмового струменя та систему подачі, яка дозволяє вводити і регулювати потік газу, що захищає електрод та додаткові гази, які вносяться до плазмового струменя.

25. Пристрій за одним з пп.22 - 24, який **відрізняється** тим, що генератор катодного струменя спрямований на оброблювану поверхню під кутом α , який є гострим.

26. Пристрій за одним з пп.22-25, який **відрізняється** тим, що генератор анодного струменя спрямовується на оброблювану поверхню під кутом β , який є більшим за кут α між генератором катодного струменя та оброблюваною поверхнею.

27. Пристрій за п.26, який **відрізняється** тим, що кут β між генератором анодного струменя та оброблюваною поверхнею наближається або практично дорівнює 90° .

28. Пристрій за п.25 або 26, який **відрізняється** тим, що кут α між генератором катодного струме-

ня та оброблюваною поверхнею становить від 25° до 60° .

29. Пристрій за одним з пп.22-28, який **відрізняється** тим, що включає групу генераторів анодних та катодних струменів, розташованих у порядку чергування у напрямку, перпендикулярному напрямкові переміщення оброблюваного предмета відносно плазмових генераторів.

30. Пристрій за одним з пп.22-29, який **відрізняється** тим, що у напрямку, перпендикулярному напрямкові переміщення в оброблюваного предмета, генератори катодних та анодних струменів чергуються таким чином, щоб вісь кожного з генераторів даної полярності перебувала на однаковій відстані від осей двох сусідніх генераторів, які мають протилежну полярність.

31. Пристрій за п.29 або 30, який **відрізняється** тим, що включає принаймні дві групи генераторів плазмового струменя, розташованих з обох боків оброблюваного предмета, який має форму фольги, таким чином, щоб обробляти, одночасно або послідовно, дві поверхні цієї фольги.

32. Пристрій за одним з пп.22-31, який **відрізняється** тим, що включає розташований перед зоною плазмової обробки пристрій для стабілізації потоку повітря.

33. Пристрій за п.32, який **відрізняється** тим, що стабілізаційний пристрій включає елемент, розташований з кожного боку оброблюваної фольги, для утворення вузького зазору для проходження фольги, та засіб введення додаткових газів Q у зазор для контролювання та регулювання газової суміші у зоні плазмової обробки.

34. Пристрій за одним з пп.22-33 для обробки фольги, який **відрізняється** тим, що включає розташований за зоною плазмової обробки пристрій для стабілізації потоку повітря, що включає охолоджувальну систему.

35. Пристрій за одним з пп.22-34, який **відрізняється** тим, що включає аеродинамічні опори, розташовані, відповідно, перед та за плазмовими генераторами.

36. Пристрій за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що аеродинамічна опора включає корпус з впуском для стиснутого повітря, сполучений через трубопровід з випускними отворами, спрямованими протиструминно по відношенню до напрямку переміщення в фольги для створення повітряної подушки між фольгою та корпусом опори.

37. Пристрій за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що розташовані нижче опори охолоджуються водою.

38. Пристрій за п.36 або 37, який **відрізняється** тим, що випускні отвори мають подовжню форму і розподіляються по ширині фольги, причому кут δ між подовжнім напрямком отворів та напрямком переміщення фольги є наближеним до 0° у центрі фольги і збільшується з наближенням до бокових ребер фольги.

39. Пристрій за п.22, який **відрізняється** тим, що призначений для обробки дроту, і включає кілька груп генераторів анодних та катодних плазмових струменів, розташованих уздовж оброблюваного дроту.

40. Пристрій за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що кожна група включає кілька пар генераторів анодних та катодних струменів, розташованих практично симетрично навколо оброблюваного дроту.

41. Пристрій за п.39 або 40, який **відрізняється** тим, що кожна група є відокремленою від сусідньої групи трубчастим реактором.

42. Пристрій за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що трубчастий реактор оснащено трубопроводом для подачі та трубопроводом для відведення додаткових хімічно активних газів, а також вхідними та вихідними напрямними для спрямування дроту під час його проходження через пристрій.

43. Пристрій за п.22, який **відрізняється** тим, що призначений для обробки фольги або профільо-

ваного листа і включає групу блоків плазмових генераторів, які можуть переміщуватися відносно один одного з метою пристосування блоків до складної поверхні.

44. Пристрій за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що блок включає датчик для регулювання відстані між блоком та поверхнею і для керування двигуном, який пересуває блок.

45. Пристрій за п.43 або 44, який **відрізняється** тим, що блок включає корпус, який має отвір з охолоджувальною системою для стабілізації плазмового струменя і який дозволяє оточувати його потоком стабілізуючого газу для стискання плазми, спрямованої на оброблювану поверхню.

Даний винахід стосується способу обробки плазмою предметів, виконаних з електропровідних матеріалів. Винахід, зокрема, стосується обробки атмосферною плазмою предметів, які мають форму фольги або дроту, наприклад, після їх прокатування або протягання.

Обробка матеріалу може включати одну або кілька з таких операцій:

- Очищення однієї або двох поверхонь фольги або дроту для видалення органічних залишків і технологічних олій та мастил;
- Дезодорація;
- Дезінфекція, стерилізація;
- Активація поверхні для поліпшення адгезивних властивостей або змочуваності.
- Зміна поверхневого шару шляхом заливання мікротріщин, шліфування або утворення поверхневого сплаву;
- Зачищення;
- Відпал, усунення внутрішнього напруження;
- Нанесення плівки.

Нині відомо, як застосовувати способи та пристрої для очищення поверхонь листової фольги або дроту для видалення з них решток мастил, які використовують у їх виробництві. До найчастіше застосовуваних засобів обробки належать дифузійні печі, газові пальники, хімічні ванни, парові сопла, пристрої, які створюють електричні розряди бар'єрного типу або тихі розряди, та плазмоструменеві пристрої.

Недоліки дифузійних печей для очищення металеві фольги, у яких застосовують повітря або кисень, полягають у тому, що вони вимагають багато електроенергії і діють дуже повільно. Потрібно кілька днів, якщо не тижнів, для повного очищення фольги, яку зазвичай закладають у піч у формі рулонів. Процес складається з нагрівання рулону, забезпечення проникнення повітря або кисню між шарами фольги з метою окиснення органічного залишку та видалення, головним чином, шляхом дифузії, залишкового газу з простору між шарами фольги, щільно притиснутими один до одного в рулоні.

Відповідним чином, продуктивність та ефективність таких печей є низькою. Дифузійні печі за-

стосовують лише для очищення та відпалу матеріалів.

Пальники з лінійним полум'ям застосовуються мало через їх низьку ефективність та обмежену можливість змін складу полум'я, що містить вуглецеві продукти. Пальники, як правило, застосовують лише для очищення та для відпалу матеріалів.

У хімічних ваннах використовують значну кількість хімічних продуктів, і ці продукти вимагають переробки. Процес має обмеження через високу вартість обробки та необхідність дотримання дедалі більш суворих екологічних стандартів.

Парові сопла застосовують для очищення дротів. Це очищення, зважаючи на його низьку ефективність, застосовують практично лише для попереднього грубого очищення, після якого зазвичай здійснюють хімічне очищення.

Застосування розрядів бар'єрного типу або тихого типу, яке дає перевагу рівномірної обробки матеріалу, є невідповідним для промислових цілей через обмежену продуктивність цих процесів.

Обробка атмосферними плазмовими струменями є відносно ефективною, оскільки цю обробку виконує високоактивований газ, і результатом плазмохімічної реакції є окиснення. Крім того, високою є продуктивність завдяки можливості досягнення високої густини потужності. Пристрої для обробки плазмовим струменем, як правило, є простими, дешевими і легко пристосовуваними. Крім того, можна здійснювати очищення поверхні, відпал, зачищення або покриття плівкою, і склад плазмових газів може бути пристосований до потрібного виду обробки.

Недолік процесів із застосуванням плазмових струменів полягає в тому, що важко досягти рівномірної обробки всієї поверхні фольги або дроту.

Для виправлення цього недоліку деякі автори намагалися сконструювати пристрої з застосуванням лінійних плазмотронів для створення плазмових екранів.

Наприклад, у [публікації WO 97/18 693] описано плазмовий генератор, який генерує плазму, що має форму екрана, шляхом накладання кількох струменів, утворених кілька плазмотронами з дво-

ма соплами. Недолік цього процесу полягає в тому, що потрібний рівномірний розподіл параметрів, таких, як температура, у більшості випадків промислового застосування не може бути досягнутий. Фактично, потік газу крізь плазмотрони та швидкісний розподіл не в усіх випадках дозволяють досягти потрібного рівномірного розподілу параметрів. Навіть якщо температура є рівномірною по всій довжині екрана, це зовсім не обов'язково означає рівномірність швидкості та/або складу плазми, а це в результаті призводить до нерівномірності обробки.

Крім того, оскільки застосування цього типу лінійного плазмового генератора для обробки металевої фольги вимагає швидкого проходження фольги крізь плазмовий екран, фольга, що рухається, пересувається уздовж значної частини потоку газу або повітря. Цей турбулентний потік газу перешкоджає потоковій плазмі, в результаті чого плазма охолоджується, втрачає свою енергію у формі потенційної енергії її частинок і стає турбулентною. Ефективність обробки через охолодження сильно знижується. Турбулентність може викликати деформацію фольги, яку піддають обробці, наприклад, зминання, особливо, якщо це тонка фольга.

Мета даного винаходу полягає у поліпшенні рівномірності обробки у процесі обробки плазмою, зокрема, для промислового застосування, пов'язаного з обробкою предметів, які мають значну площу поверхні, зокрема, фольги або дроту, що вимагає дуже високої швидкості обробки, та у забезпеченні пристрою для здійснення цих процесів.

Бажано було б забезпечити процес обробки плазмою та пристрій для здійснення цього процесу, який міг би застосовуватися, зокрема, для обробки фольги або дроту з провідних матеріалів, і був би надійним, швидким і дешевим.

Крім того, бажано було б забезпечити спосіб та пристрій для здійснення цього процесу, який міг би бути застосований для таких операцій, як очищення, відпал, покриття плівкою, активація поверхні, зачищення та стерилізація, або комбінації таких операцій.

Цілі винаходу досягаються завдяки способу за п.1 та пристроєві за п.22 для здійснення цього способу.

У даному винаході спосіб обробки атмосферною плазмою предмета, виконаного з електропровідного матеріалу, включає генерацію плазмових струменів плазмовими генераторами, дію плазмових струменів на оброблювану поверхню оброблюваного предмета та відносне зміщення оброблюваного предмета по відношенню до плазмових генераторів, які характеризуються тим, що принаймні один з плазмових струменів є катодним струменем, і принаймні один з плазмових струменів є анодним струменем, і анодний струмінь, спрямований на зону обробки на вищезгаданій оброблюваній поверхні поблизу від катодного струменя. Спосіб згідно з винаходом може бути вигідно застосований до предметів, вироблених шляхом безперервного процесу, або таких, що мають велику поверхню, наприклад, металевої фольги, металевого дроту або деталей кузова автомобіля, виконаних з металевих листів.

Електричний струм для генерації катодних та анодних плазмових струменів розділяється на три частини: одна, I_3 , протікає через оброблюваний предмет, а дві інші, I_1 , I_2 , подаються на анодний та катодний плазмові струмені.

В оптимальному варіанті катодний струмінь утворює з оброблюваною поверхнею кут α , який є гострим, а анодний струмінь утворює з оброблюваною поверхнею кут β , який є більшим за кут α , утворений між катодним струменем та оброблюваною поверхнею. В альтернативному варіанті кут β між анодним струменем та оброблюваною поверхнею наближається або практично дорівнює 90° , а кут α , утворений між катодним струменем та оброблюваною поверхнею становить від 25° до 60° .

В оптимальному варіанті потужність імпульсу катодних струменів є вищою за ту, яку отримують анодні струмені.

Спосіб згідно з винаходом дозволяє досягти належної рівномірності обробки завдяки забезпеченню особливого переміщення анодних точок уздовж оброблюваної поверхні. Переміщення анодних точок дозволяє знизити вплив утвореного на оброблюваній поверхні межового шару. Рівномірність обробки поліпшується, з одного боку, зміщенням анодних точок через нагрівання межового шару, а з іншого боку - зміщенням точок під впливом їх власного магнітного поля. Поперечна делюкалізація електричного струму забезпечує рівномірний поперечний розподіл термічної та плазмохімічної обробки по всій оброблюваній поверхні.

Використання катодних та анодних точок у процесі, відповідному для обробки фольги або дроту плазмою дозволяє збільшити термічну ефективність процесу.

Пристрій для здійснення способу згідно з винаходом включає принаймні один генератор катодного плазмового струменя та принаймні один генератор анодного плазмового струменя, розташовані таким чином, що анодний струмінь діє на зону обробки оброблюваної поверхні поблизу від катодного струменя.

Електрична схема пристрою для забезпечення плазмових струменів включає петлю, яка замикається частиною оброблюваного предмета, та засіб регулювання електричного струму I_3 , який протікає через оброблюваний предмет.

Плазмові струмені плазмових генераторів можуть бути нахилені під гострим кутом γ по відношенню до напрямку переміщення оброблюваного предмета відносно плазмового генератора з метою збільшення площі поверхні дії плазми на оброблювану поверхню для досягнення належної рівномірності для поперечної обробки.

Можна також досягти належної поперечної рівномірності обробки шляхом утворення змінного магнітного поля таким чином, що виникають в результаті амперні сили викликають очищувальні коливання плазмових струменів. Частота ν коливань магнітного поля в оптимальному варіанті дорівнює або є вищою за співвідношення відносної швидкості переміщення оброблюваного предмета та діаметра плазмових струменів.

В оптимальному варіанті пристрій для обробки може включати один або кілька струменів реакти-

вного газу, спрямованого на плазмові струмені таким чином, щоб розширити або стиснути плазмові струмені, спрямовані на оброблюваний предмет, і, відповідно, поліпшити рівномірність обробки.

Згідно з одним оптимальним аспектом винаходу на оброблюваному предметі під час дії на нього плазми виникають акустичні або ультразвукові вібрації, які утворюються зовнішнім генератором вібрацій або у процесі генерації плазми, що створює, наприклад, ударні хвилі або акустичні хвилі, які мають частоти, наближені до резонансних частот оброблюваного предмета. Ударні хвилі можуть бути утворені шляхом генерації плазми з електричними імпульсами, в яких тривалість переднього фронту амплітуди струму забезпечує електричних імпульсів є достатньо короткою для того, щоб процес підвищення амплітуди струму був ізохоричним. Частота забезпечуваних електричних імпульсів в оптимальному варіанті є наближеною або дорівнює частоті акустичних вібрацій.

У варіанті втілення для обробки дроту катодний та анодний струмені можуть утворювати конус, уздовж осі якого рухається оброблюваний дріт.

У варіанті втілення для обробки фольги перед зоною застосування плазми можуть бути передбачені установки для обробки з пристроєм для стабілізації потоку повітря, який включає перегородки, які можуть бути приведені в дію механізмом, який дозволяє регулювати їх позиції і, відповідним чином, дозувати кількість повітря, відокремленого від оброблюваної фольги. За зоною застосування плазми також може бути передбачений пристрій з охолодженими перегородками, які створюють ламінарний потік.

В оптимальному варіанті ламінарний характер потоку повітря, який тягнеться оброблюваною фольгою, дозволяє уникнути будь-якого зминання фольги і значно збільшує ефективність плазмової обробки.

Катодний та анодний генератори можуть чергуватися у поперечному напрямі оброблюваної фольги або дроту таким чином, щоб вісь кожного з генераторів даної полярності перебувала на однаковій відстані від осей двох сусідніх генераторів, які мають протилежну полярність.

Установка для обробки може включати два ідентичні плазмові генератори, розташовані по одному з кожного боку фольги з провідного матеріалу таким чином, щоб одночасно або послідовно обробляти дві поверхні цієї фольги.

Інші цілі та переваги винаходу стануть зрозумілими з формули, з нижчеподаного опису варіантів втілення винаходу та фігур, які додаються, з яких:

Фіг.1 є спрощеним видом у перспективі установки для обробки фольги, яка включає пристрій для плазмової обробки згідно з винаходом;

Фіг.2 є спрощеним видом у розрізі установки для обробки фольги, яка включає пристрій для плазмової обробки згідно з винаходом;

Фіг.3 є спрощеним видом у розрізі пристрою для обробки з застосуванням плазмових струменів згідно з винаходом;

Фіг.4а є видом спереду у напрямку, паралельному площині оброблюваної фольги, на якому показано розташування електродів та плазмових струменів;

Фіг.4b є видом у напрямку стрілки IVb з Фіг.4а;

Фіг.4с є видом у напрямку, перпендикулярному площині оброблюваної фольги, на якому показано розташування електродів та плазмових струменів згідно з альтернативним варіантом втілення, показаним на Фігурі 4b;

Фіг.4d є видом уздовж напрямку стрілки IVd з Фіг.4с;

Фіг.4е є видом у напрямку, паралельному площині оброблюваної фольги, на якому показано розташування електродів та плазмових струменів з обох боків фольги згідно з одним варіантом втілення винаходу;

Фіг.4f є видом у напрямку, паралельному площині оброблюваної фольги, на якому показано розташування електродів та плазмових струменів з обох боків фольги згідно з альтернативним варіантом втілення, показаним на Фіг. 4е;

Фіг.5 є видом пристрою для обробки фольги плазмовими струменями без анодів;

Фіг.6 є діаграмою для показу руху плазмового струменя, спрямованого на поверхню оброблюваної фольги, згідно з винаходом;

Фіг.7а-7d показують оброблену фольгу, піддану випробуванню на змочуваність;

Фіг.7е показує оброблену фольгу, піддану випробуванню на чистоту після обробки;

Фіг.8а є виконаною за допомогою SEM (скануючого електронного мікроскопа) фотографією алюмінієвої фольги, випаленої шляхом плазмової обробки згідно з винаходом;

Фіг.8b є SEM-фотографією поверхні необробленої алюмінієвої фольги;

Фіг.8с є SEM-фотографією розрізу багатошарової купи алюмінієвої фольги, обробленої шляхом плазмового процесу згідно з винаходом;

Фіг.9 є спрощеним видом у перспективі варіанта втілення винаходу, який включає пристрій для генерації магнітного поля;

Фіг.10а є спрощеним видом у перспективі установки для плазмової обробки дроту згідно з винаходом;

Фіг.10b є спрощеним видом у розрізі установки для плазмової обробки дроту згідно з Фіг.10а;

Фіг.11а показує розташування плазмових генераторів для обробки металевої фольги згідно з варіантом, у якому одна частина газів для обробки спрямовується між плазмовими струменями, а інша частина спрямовується до розташованої нижче частини плазмових струменів у зоні обробки таким чином, щоб стискати потік плазми, спрямований на оброблювану поверхню, і розширювати його задню частину;

Фіг.11b є частковим розрізом у напрямку XIb з Фіг.11а;

Фіг.11с показує розташування плазмових генераторів для обробки металевої фольги згідно з варіантом втілення винаходу, включаючи зовнішні генератори акустичних вібрацій, зокрема, ультразвукових;

Фіг.12а є спрощеним видом у розрізі варіанта втілення установки для обробки фольги, включаю-

чи пристрої для плазмової обробки, стабілізуючий пристрій для потоків повітря та гідродинамічні опори згідно з винаходом;

Фіг.12b є частковим розрізом опори варіанта втілення згідно з Фіг.12a;

Фіг.13a є спрощеним видом у перспективі варіанта втілення установки для обробки предметів з великою площею поверхні, таких, як деталі кузова автомобіля, виконані з металевих листів, згідно з винаходом;

Фіг.13b показує розташування плазмових генераторів варіанта втілення згідно з Фіг.13a; і

Фіг.13c є частковим розрізом плазмового генератора варіанта втілення згідно з Фіг.13a.

На Фіг.1 та 2 спрощено показано частину установки для обробки фольги, наприклад, алюмінієвої фольги, виготовленої у процесі прокатування і представленої у вигляді рулону 3, закріпленого в оберտальному режимі в установці. Фольга 2 утримується в тугу натягнутому стані між подавальним барабаном 3 та приймальним барабаном 4 через певну кількість спрямовувальних валиків 5, 7 та натяжних валиків 6, закріплених в обертальному режимі, деякі мають пружини для забезпечення точно визначеного натяжного зусилля, яке діє на алюмінієву фольгу. Деякі зі спрямовувальних валиків 5, 7 також виконують функцію позиціонування алюмінієвої фольги по відношенню до пристроїв для обробки плазмовим струменем 8, 9. Установки, показані на Фіг.1 та 2 включають принаймні два пристрої для обробки плазмовим струменем 8, 9, які дозволяють обробляти дві поверхні 2a, 2b фольги 2. Установка може включати дві або кілька груп плазмових генераторів або пристроїв для обробки, розташованих послідовно уздовж одного боку фольги, причому кожен пристрій включає принаймні один катодний генератор та принаймні один анодний генератор.

Як показано на Фіг.2, пристрої для обробки плазмовим струменем можуть бути закріплені на рухомому пристрої 9, який дозволяє, наприклад, обертатися пристроєві для обробки навколо осі, яка є практично паралельною осі валиків, таким чином, дозволяючи пристроєві для обробки плазмовим струменем набувати різних позицій по відношенню до оброблюваної фольги. Позиція I відповідає позиції, підходящій для обробки протилежних поверхонь фольги 2' (що рухається уздовж штучної лінії), причому два пристрої для обробки 8a, 8b розташовуються по одному з кожного боку фольги. Позиції II та III відповідають різним кутам для обробки фольги 2 на протилежних сторонах вищезгаданої фольги пристроями для обробки плазмовим струменем, розташованими поблизу від двох спрямовувальних валиків 5, 7. Позиція IV є позицією від'єднання від оброблюваної фольги для запускання установки, зокрема, для увімкнення плазмових струменів. Позиція V є позицією від'єднання, що дозволяє здійснювати регламентні та ремонтні роботи, які мають виконуватися на пристрої для обробки плазмовим струменем.

Крім того, установка може включати пристрої 10 для стабілізації потоку повітря, розташовані перед робочими позиціями II, III пристроїв для обробки плазмовим струменем, поблизу від поверхні

оброблюваної фольги. В оптимальному варіанті два елементи 10 розташовуються по одному з кожного боку оброблюваної фольги з метою стабілізації потоку повітря, який захоплюється з переміщенням фольги, зокрема, для надання цьому потокові ламінарності, таким чином, щоб цей потік повітря якомога менше порушував потік плазмових струменів. Крім того, стабілізаційні елементи 10 зменшують рухи фольги, викликані турбулентністю, що запобігає будь-якому можливому зминанню фольги. Стабілізаційні елементи 10 передбачено як перегородки, позиція яких по відношенню до фольги може регулюватися таким чином, щоб збільшити або зменшити потік повітря, який захоплюється фольгою. Це також дозволяє регулювати плазмову обробку подаючи більшу або меншу кількість повітря. Також можна розмістити інші стабілізаційні елементи 10' за пристроями для обробки плазмовим струменем або в інших позиціях уздовж фольги, для надання потокові повітря ламінарності з метою запобігання будь-якому зминанню фольги.

На Фіг.3 показано пристрій для обробки плазмовим струменем 8, який включає генератори плазмового струменя 11, оснащені електродами, під'єднаними до електричної схеми 12, яка включає джерело електроенергії 13 для генерації плазми. Генератори 11 електрично сполучаються через баластні резистори 24, 25 з оброблюваною фольгою, наприклад, через контакт 14 на спрямовувальному валику 5, 7. Оброблювана фольга 2 є провідною і є частиною петлі електричної схеми, що включає плазмові струмені 15. Електричний струм, який протікає через оброблюваний предмет, може регулюватися за допомогою резистора 24 і навіть взагалі може бути перекритий.

У цьому варіанті втілення передбачено дві групи генераторів плазмового струменя 11a, 11b протилежної полярності, а саме, група генераторів анодного плазмового струменя 11b та група генераторів катодного плазмового струменя 11a. Генератори плазмового струменя кожної з груп 11a, 11b є розташованими практично в лінію і одночасно є з'єднаними один з одним. Генератори плазмового струменя однієї групи в оптимальному варіанті є зсунутими таким чином, щоб розташовуватися ступінчасто з генераторами іншої групи, як показано на Фіг.4a та 4b.

Кожен генератор плазмового струменя включає електрод 16, закріплений всередині корпусу 17 та каналу 18, утвореного в корпусі 17, для спрямування плазмового струменя. Канал є сполученим з впускними каналами 19, 20 для технологічного газу. У цьому прикладі показано два впускні канали для технологічного газу, але передбачено й інші впускні канали для технологічного газу, які ведуть у канал для плазмового струменя 18. Перший впускний канал 19 є розташованим приблизно на рівні електрода, а другий впускний канал 20 є розташованим за першим.

Корпус 17 може бути оснащений охолоджувальною системою (не показано), у якій циркулює охолоджувач для охолодження плазмових генераторів.

Технологічний газ, який вдувається у перший впускний канал 19, в оптимальному варіанті є іне-

ртним газом, таким, як аргон (Ar), який, з одного боку, дозволяє оточувати і захищати електроди 16 від окиснення, а з іншого боку - сприяє генерації плазми. Інші розташовані нижче канали 20 можуть бути використані для вдування потоку додаткового газу, такого, як повітря, аргон, кисень, азот, гелій, діоксид вуглецю, природний газ, металоорганічні пари або суміш кількох таких газів, залежно від виду обробки, якій піддають фольгу 2. Додатковий газ першої групи генераторів плазмового струменя 11a може відрізнитися від додаткового газу, який вдувається у другу групу генераторів плазмового струменя 11b.

Група плазмових генераторів 11a розташовується таким чином, щоб утворювати плазмові струмені 15a, орієнтовані приблизно у напрямку, що утворює гострий кут α з площиною фольги 2 або дотичну з її зоною 21, яка на даний момент контактує з плазмовим струменем 15a, причому струмінь в оптимальному варіанті є зорієнтованим у напрямку, протилежному напрямкові переміщення фольги. Це розташування генераторів плазмового струменя згідно з винаходом, яке також показано у варіанті втілення на Фіг.5, в оптимальному варіанті дозволяє поліпшити рівномірність обробки фольги або оброблюваної поверхні інших предметів, які мають велику площу поверхні, наприклад, пластин або циліндрів.

У варіанті втілення, показаному на Фіг.3, друга група електродів 11b розташовується таким чином, щоб кут β між плазмовим струменем 15b, який виходить із цього генератора, і площиною або дотичною до поверхні контактної зони 21 був більшим за гострий кут α першої групи струменів 15a. Кут β другої групи струменів по відношенню до оброблюваної поверхні в оптимальному варіанті є наближеним до 90° . В оптимальному варіанті електроди першої групи генераторів є катодами, а електроди другої групи генераторів 11b є анодами. В оптимальному варіанті потік газу з генераторів підбирають таким чином, щоб імпульси плазмового струменя 15a з першої групи генераторів були більшими за імпульси плазмового струменя 15b другої групи генераторів 11b.

Анодні плазмові струмені 15b у контакті з оброблюваною поверхнею утворюють анодні точки 22, у яких від'єднуються органічні продукти, що вкривають оброблювану поверхню, після їх розпушення та плазмохімічного окиснення. Під час цих плазмохімічних реакцій утворюються залишкові гази, такі, як CO_2 , які можуть бути видалені через усмоктувальний трубопровід 23, розташований над зоною тимчасової обробки 21. Проходження струму I_3 між катодним плазмовим струменем 15a та оброблюваною поверхнею через утворення анодної точки 22 посилює процес нагрівання матеріалу та плазмохімічне руйнування продуктів, які містяться в обмеженому шарі. Рештки, що залишилися, спалюються в анодному плазмовому струмені 15b, причому склад технологічного газу і, відповідним чином, плазми, вибирають згідно з характером залишків. Зокрема, технологічний газ може бути повітрям або киснем, щоб плазма могла зруйнувати органічні залишки та вуглеводні через їх окиснення.

Можна очистити окиснену поверхню шляхом

введення додаткового відновного газу, такого, як H_2 , у катодний плазмовий струмінь 15a, скориставшись тим, що він більш тісно контактує з оброблюваною поверхнею, ніж анодний плазмовий струмінь 15b.

Рівномірність обробки гарантується розташуванням генераторів анодного та катодного плазмового струменя згідно з даним винаходом.

Оскільки кут α між поверхнею фольги або оброблюваного предмета та катодним плазмовим струменем є гострим, струми I_1 та I_3 , які циркулюють, відповідно, у плазмі та фользі, мають напрямки, які є протилежними, що викликає відштовхування між ними. Отже, як показано на Фіг.6, плазмові струмені 15a та, відповідно, анодні точки 22, рухаються з позиції A (момент часу τ_1) у позицію B (момент часу τ_2), а потім у C (момент часу τ_3). Цей процес триває доти, доки різниця потенціалу не стає вищою за напругу короткого замикання між точками A та D. Цей процес повторюється після короткого замикання. Таким чином, існує безперервний і швидкий зворотно-поступальний рух анодної точки уздовж оброблюваної поверхні. Швидкість цього руху у напрямку переміщення оброблюваної поверхні (далі - "подовжній" напрям) є значно вищою за швидкість переміщення оброблюваної поверхні. Це гарантує подовжню рівномірність обробки та відсутність пошкоджень через надмірне місцеве нагрівання.

Належної рівномірності обробки у напрямку, перпендикулярному подовжньому напрямкові, тобто, уздовж фронту плазми, досягають шляхом чергування анодних та катодних плазмових генераторів, як показано на Фіг.4a та 4b. В результаті такого розташування кожен плазмовий генератор електрично сполучається з двома генераторами протилежної полярності. Електричний струм проходить практично рівномірно уздовж оброблюваної поверхні у напрямку, перпендикулярному її переміщенню, що гарантує рівномірність обробки.

Якщо очищення поверхні не є необхідним, або якщо вимагається лише термічна обробка, наприклад, відпал, заливання мікротріщин або шліфування поверхні, в оптимальному варіанті застосовують катодні плазмові генератори, як показано на Фіг.5.

Обробку двох поверхонь матеріалу у формі фольги здійснюють за допомогою принаймні двох груп плазмових генераторів, по одній на кожну боці фольги, як показано на Фіг.1 або на Фіг.2 і на Фіг.4d-4f.

Плазмові генератори 11 з кожного боку оброблюваної фольги 2 можуть розміщуватись або навпроти один одного, як показано на Фіг.4d, або у зсунутому відносно один одного положенні, як показано на Фіг.4e та 4f. У варіантах, у яких плазмові генератори 11 є зсунутими, проміжні зони 26 між двома генераторами з одного боку фольги в оптимальному варіанті нагріваються плазмовими струменями 15 з іншого боку фольги і навпаки, що поліпшує якість обробки.

У варіанті, показаному на Фіг.4c та 4d, осі катодних генераторів є нахиленими під кутом γ по відношенню до напрямку переміщення в оброблюваної фольги таким чином, щоб збільшити площу дії плазмових струменів на оброблюваній поверх-

ні, тобто, збільшити зону обробки, що поліпшує рівномірність обробки. На практиці кут γ може становити від 30° до 60° в оптимальному варіанті - 45° .

Покриття плівкою здійснюють шляхом додавання газів або парів хімічно активних продуктів, наприклад, газоподібної суміші, яка містить металоорганічні пари, до додаткового газу Q1, Q2 або безпосередньо у зону контакту 21 плазми з оброблюваною поверхнею.

Крім того, винахід дозволяє здійснювати інші операції, такі, як шліфування, усунення поверхневих тріщин та зачищення тонкої електропровідної фольги.

Залежно від параметрів оброблюваної провідної фольги, таких, як її швидкість та її товщина, і залежно від вимог обробки (наприклад, очищення або знежирення без відпалу, знежирення з відпалом, відпал різної інтенсивності), обробка може застосовуватися до двох поверхонь фольги одночасно або послідовно, або ж на кожній з поверхонь після їх контакту з охолодженою підкладкою, наприклад, металевим роликком. Ці варіанти втілення представлено на Фіг.2, на якій показано приклад пристрою, який дозволяє здійснювати різні вищезгадані види обробки завдяки обертовому механізмові, який дозволяє встановлювати пристрій для обробки плазмовим струменем у різні позиції (I, II, III) по відношенню до оброблюваної металеві фольги. Цей механізм також має дві позиції, відповідно IV та V, для запускання плазмового генератора і для здійснення регламентних та ремонтних робіт у разі необхідності. Залежно від різних режимів обробки, передбачаються різні системи намотування.

Як видно з Фіг.11a, кращої ефективності обробки можна досягти, коли додаткові гази Q подаються через труби 27 у напрямку, наближеному до бісектриси кута, утвореного катодними струменями 15a та анодними струменями 15b.

Для досягнення належної рівномірності обробки в оптимальному варіанті додаткові гази вводять безпосередньо перед місцем дії плазмових струменів 15a, 15b на оброблювану фольгу через труби 28. Гази, спрямовані на оброблювану фольгу, збагачують її реактивними частинками, а також змушують плазму поширюватися таким чином, щоб вкривати зону обробки 21, яка є ширшою за зони, на які прямо розпилюються плазмові струмені, як показано на Фіг.11a та 11b.

В іншому варіанті втілення даного винаходу, який показано на Фіг.11c і який має на меті досягнення підвищеної ефективності взаємодії між плазмою та оброблюваною поверхнею, остання знає вібрації під дією одного або кількох генераторів 29, 30 акустичних вібрацій, розташованих перед зоною обробки та/або за нею. Частоти в оптимальному варіанті належать до ультразвукового інтервалу. Ефект вібрацій полягає у підвищенні взаємодії між оброблюваною поверхнею та плазмою, так само, як підвищується температура завдяки збільшенню кінетичної енергії атомів оброблюваної поверхні. Крім того, вібрація оброблюваної поверхні поліпшує плазмохімічні реакції між додатковим газом плазми та оброблюваною поверхнею шляхом поліпшення видалення

та заміни газу, присутнього на оброблюваній поверхні.

Акустичні вібрації також можуть бути викликані самою плазмою, подачею у плазмову дугу імпульсного струму, уніполярного або змінного. Тривалість переднього фронту імпульсів вибирають таким чином, щоб плазма спочатку поширювалася ізохорично, щоб утворювати при кожному імпульсі ударну хвилю, яка передає оброблюваній поверхні свою кінетичну енергію у формі вібрацій. В оптимальному варіанті частоту повторення імпульсів електричного струму, який утворює плазму, вибирають таким чином, щоб вона відповідала частоті вібрації оброблюваної поверхні. Авторами даного винаходу було виявлено, що коли ці імпульси викликають акустичні вібрації, плазма "співає". Явище цього "співу" автоматично супроводжується значним підвищенням ефективності обробки. Інтенсивність та частота коливань оброблюваної поверхні у даному винаході контролюються за допомогою детектора акустичних або ультразвукових вібрацій.

В іншому варіанті втілення даного винаходу, показаному на Фіг.9, плазмові струмені піддаються дії змінного магнітного поля H, яке утворюється генератором магнітного поля 30, силові лінії якого спрямовуються перпендикулярно по відношенню до ліній проходження катодних струменів 15a та анодних струменів 15b. Коливання плазмового струменя, які діють на оброблювану поверхню, є результатом дії амперних сил i, відповідним чином, очищення цієї поверхні плазмовим струменем відбувається у певних межах ширини L, яка визначається величиною електричного струму та величиною магнітного поля. Частоту ν коливань магнітного поля вибирають таким чином, щоб плазма повністю охоплювала діапазон коливань, а саме:

$$\nu \leq v/d$$

де d є діаметром проекції плазмового струменя на оброблювану поверхню, і v є швидкістю переміщення оброблюваної поверхні відносно плазмових генераторів 11a, 11b.

На Фіг.12a показано оптимальний варіант втілення для обробки довгої тонкої фольги, наприклад, алюмінієвої фольги, який включає плазмові генератори 11a, 11b, гідродинамічні опори 31, 32 та пристрій 10 для стабілізації потоку повітря. Установка, показана на Фіг.12a, може бути частиною установки для обробки, наприклад, установки, показаної на Фіг.2.

Стабілізуючий пристрій 10, розташований поблизу плазмових генераторів 11a, 11b не лише дозволяє робити потік повітря на поверхні фольги ламінарним для запобігання його зминанню, але й регулювати і контролювати кількість та склад газової суміші у зоні обробки. Він включає два елементи 33, які утворюють вузький зазор 34 для проходження фольги. Суміші з додаткових хімічно активних газів Q вводять у зазор через отвори 35 у кожному елементі 33, сполученим з впуском 36 через трубопровід 37, який забезпечує належний розподіл додаткового газу в отворах.

Аеродинамічні опори 31, 32, розташовані перед і за стабілізаційним пристроєм та плазмовими генераторами і на кожному боці фольги з частко-

вим накладенням, дозволяють туго натягати, стабілізувати і позиціонувати оброблювану фольгу по відношенню до стабілізуючих пристроїв 10 та плазмових генераторів. Аеродинамічні опори забезпечують перевагу виконання вищезгаданих функцій без будь-якого значного збільшення сили тертя. Кожна опора включає впуск для повітря 38, в який подається стиснуте повітря, і сполучається через трубопровід 39 з випускними отворами 40, спрямованими протиструминно по відношенню до переміщення фольги, для створення повітряної подушки між фольгою та корпусом опори 41. Випускні отвори 39 в оптимальному варіанті мають форму, яка є подовжньою, і розподіляються по ширині фольги. Кут δ між подовжнім напрямком отворів та напрямком переміщення v фольги є наближеним до 0° у центрі фольги і збільшується з наближенням до бокових ребер 52, як показано на Фіг.12b, до 90° .

Розташовані нижче опори 32 можуть охолоджуватися циркулюючою водою таким чином, щоб охолоджувалися і опори, і фольга за зоною обробки.

На Фіг.10a та 10b, показано приклад варіанта втілення для обробки (очищення, зачищення, відпалу, поверхневого утворення сплаву, нанесення плівки) дроту. Установка для обробки включає генератори плазмового струменя 11, розташовані навколо оброблюваного дроту 2'. Генератори в оптимальному варіанті розташовуються симетрично навколо дроту, і кількість плазмових струменів становить чотири або більше. В оптимальному варіанті катодний струмінь 11 та анодні струмені 11b розташовуються в порядку чергування. Хоча можливими є й інші конфігурації, і навіть кількість катодних струменів може відрізнятися від кількості анодних струменів, що не є відхиленням від обсягу винаходу.

Пристрій може включати одну або кілька груп 8' плазмових генераторів 11, розташованих уздовж дроту, причому кожна група 8' включає принаймні один катодний генератор і принаймні один анодний генератор. Кожна група може бути відокремлена від наступної трубчастим реактором 43, який має, наприклад, циліндричну форму для ізоляції дроту від навколишньої атмосфери і довжину, яка приблизно дорівнює відстані, на якій плазма зберігає активність. Трубчастий реактор оснащено впускним трубопроводом 43a та випускним трубопроводом 43b для додаткових реакційних газів, а також вхідними та вихідними напрямними 44 для спрямування дроту під час його проходження через пристрій. Дріт під час його проходження через пристрій, стабілізується і центрується напрямними 43. В оптимальному варіанті можна використовувати ці напрямні для надання дроту акустичних або ультразвукових коливань. Додаткові хімічно активні гази Q вводять у пристрій через припливні труби 45 і видаляються через вихідні труби 46.

На Фіг.13a та 13b показано установку для обробки предметів 2" зі складною поверхнею, таких, як деталі кузова автомобіля, виконаних з металевих листів, яка включає пристрій для обробки 8", закріплений на переміщувальному пристрої 47, такому, як промисловий робот. Пристрій для обробки включає групу блоків 48 плазмових генера-

торів 11a, 11b, які можуть переміщуватися відносно один одного таким чином, щоб ці блоки могли бути пристосовані до складної поверхні. Кожен блок може бути оснащений датчиком (не показано) для регулювання відстані між блоком та поверхнею і для керування і оточення стабілізуючого потоку газу навколо нього, таким чином, стискаючи плазму 15, спрямовану на оброблювану поверхню.

Кожен блок включає принаймні один генератор катодного струменя та принаймні один генератор анодного струменя. Кожен блок також може включати корпус, який має отвір 50 з охолоджувальною системою 51, що функціонує для стабілізації плазмового струменя і виконують обробку потоку газу навколо нього, таким чином, стискаючи плазму 15, спрямовану на оброблювану поверхню.

Приклади втілення способу згідно з даним винаходом подано нижче.

Приклад 1

Очищення алюмінієвої фольги від залишків мастил

Кожен з двох пристроїв для обробки ідентичними плазмовими струменями включає 10 пар анодних та катодних плазмових струменів, розташованих з обох боків оброблюваної фольги з метою обробки двох поверхонь фольги. Випробували дві конфігурації: у першій два пристрої розміщуються в одному місці фольги і виконують обробку двох поверхонь одночасно, як показано у позиції I на Фіг.2, а у другій два пристрої розташовуються у різних місцях фольги і виконують обробку двох поверхонь послідовно, як показано у позиціях II або III на Фіг.2. Дві конфігурації відрізняються між собою тим, що температура оброблюваної фольги у зоні обробки є вищою у конфігурації I, оскільки в ній не використовується охолодження завдяки роликam і та послідовна обробка, передбачена у конфігураціях II та III. Оброблювана фольга була алюмінієвою фольгою товщиною 100мкм і шириною 20см, виготовленою шляхом прокатування.

Параметри обробки були такими

Катодний струм (I_1)	15A
Анодний струм (I_2)	10A
Струм, що протікає через оброблюваний матеріал (I_3)	5A
Кут між віссю анодного струменя та оброблюваною фольгою	90°
Кут між віссю катодного струменя та оброблюваною фольгою	35°
Швидкість потоку захисного газу (Ar)	0,5л/хв. (кожен струмінь)
Швидкість потоку додаткового газу	
Анодний струмінь (кисень)	$Q_1=0,5\text{л/хв.}$
Катодний струмінь (повітря)	$Q_2=2\text{л/хв.}$
Швидкість переміщення фольги	3м/сек

Результати обробки контролювали шляхом типових випробувань, а саме -випробування за європейським стандартом EN 546-4, як показано на Фіг.7a-7e. Результат обробки отримав оцінку A+, а це означає, що вона є кращою за найкращі результати, досягнуті традиційними способами очищення.

Зокрема, змочуваність фольги перевіряли

шляхом нанесення кількох крапель дистильованої води на оброблювану поверхню у горизонтальній позиції, як показано на Фіг.7а, та наступного нахилення цієї поверхні, як показано на Фіг.7b.

Рівномірність також перевіряли шляхом нанесення безперервної смуги води на оброблену поверхню та її наступного нахилення, як показано на Фіг.7d.

Ці дві перевірки дозволили продемонструвати відмінну рівномірність обробки.

Визначення залишкової кількості вуглецю, яке здійснювали способом Штрельхайн (Strölhein), дало результат, який вказував на залишкову кількість решток вуглецю, нижчу за $0,1\text{г/м}^2$.

Оброблювану поверхню також перевіряли на можливу наявність твердофазних залишків, таких, як порошки оксидів або інші тверді залишки, за допомогою випробування, яке здійснювали шляхом витирання шматком гігроскопічної вати, як показано на Фіг.7e. Використаний шматок вати залишався чистим, що вказує на відсутність залишків.

Визначення шляхом електронної мікроскопії (SEM) підтвердили чистоту обробленої поверхні на рівні, який не перевищував 1000Å/см .

Приклад 2

Відпал металеві (алюмінієвої) фольги

Об'єкт випалу: алюмінієва фольга, що має товщину 100мкм

Пристрій	струм у фользі нульовий
Струм	20A
Напруга	50V
Кут між плазмовим струменем та поверхнею обробки	$\alpha=30^\circ$
Кут нахилу плазмових струменів	$\gamma=45^\circ$

Повний відпал спостерігається на швидкості переміщення фольги $0,6\text{м/сек}$.

Поверхневу структуру металу до та після обробки, яку досліджували за допомогою SEM, пока-

зано на SEM-фотографіях Фіг.8b (до) та 8a (після). На Фіг.8a показано характеристики грануляції відпалу.

На Фіг.8c показано однорідну структуру, також зернисту по всій товщині розрізу обробленої фольги.

Виміряні значення "розриву" (межа міцності при розтягненні у поєднанні з розтягненням) дорівнюють $300\pm 20\text{кПа}$. Цей показник відповідає найкращим показникам для зразків алюмінію, випалених традиційними способами. Було виявлено, що розрив був рівномірним ($\pm 10\%$) по всій ширині зразків обробленої фольги.

Приклад 3

Стерилізація сталеві фольги

Якості стерилізації згідно зі способом винаходу перевіряли шляхом забруднення сталеві фольги перед обробкою чотирма типами мікроорганізмів. Значення температури, необхідної для їх знищення через простий термічний вплив, наприклад, пастеризацію, вказано у Таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця 1 №	Мікроорганізм	Символ	Температура термічної де- струкції шля- хом 1- хвилинної дії
1	<i>Aspergillus niger</i>	A. n	68°C
2	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	S. c	78°C
3	<i>Byssoschlamys fulva</i>	B. f	98°C
4	<i>Bacillus subtilis</i>	B. s	140°C

На фольгу наносили краплі води, що містили 10 мікроорганізмів на 1мл, і висушували до її обробки. Обробку забрудненої фольги здійснювали з постійною швидкістю очищення.

Умови експерименту були такими (Таблиця 2):

Таблиця 2

Умова №	Струм (A)			Газ (швидкість потоку л/хв)		Таблиця 2	
	Катод	Анод	Фольга	Катод	Анод	Швидкість очищення м/сек	Тривалість піддання дії плазми (сек)
I	15	10	5	Ar (0,5)	Ar (0,5)	2	0,01
II	20	10	10	Ar(1)	Ar(1)	1	0,01
III	25	15	10	Ar(0,5) Повітря (2)	Ar (0,5) Повітря (2)	1	0,01
IV	25	15	10	Ar (0,5) O ₂ (0,5)	Ar (0,5) O ₂ (0,5)	0,5	0,02

Результати обробки представлено у Таблиці 3:

Таблиця 3

№	Мікроорганізми	Кількість до обробки	Виживаність після обробки			
			I	II	III	IV*)
1	A. n	$3,7 \cdot 10^7$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$
2	S. c	$5,4 \cdot 10^7$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$
3	B. f	$2,9 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^5$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$
4	B. s	$3,9 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^6$	$4,9 \cdot 10^4$	$<10^0$	$<10^0$

*) Усі результати, отримані за умов IV, показують наявність незначних змін у матеріалі, що свідчить про надмірний час піддання дії плазми.

Як показано у Таблиці 3, повна стерилізація, без будь-якого руйнування матеріалу, досягається за умов 3 при часі піддання дії 0,01сек, тобто, меншому на три порядки величини за тривалість нормальної термічної обробки.

Приклад 4:

Нанесення плівки SiO_2 на алюмінієву фольгу
Застосовували таку саму установку, як у прик-

Катодний струм (I_1)	20A
Анодний струм (I_2)	12A
Струм, що протікає через оброблювану фольгу (I_3)	6A
Кут між віссю анодного струменя та оброблюваною фольгою	$\alpha=90^\circ$
Кут між віссю катодного струменя та оброблюваною фольгою	$\beta=30^\circ$
Кут нахилу плазмових струменів	$\gamma=45^\circ$
Швидкість потоку захисного газу (Ar)	0,5л/хв.
Швидкість потоку додаткового газу	
Анодний струмінь (Ar + гексаметилдисилан + O_2)	$Q_1=0,6\text{л/хв.}$
Катодний струмінь (Ar+ O_2)	$Q_2=2\text{л/хв.}$
Швидкість переміщення фольги	0,8м/сек

Еліпсометричний аналіз показує, що обробка дозволяла здійснювати нанесення не дуже рівномірної (± 20) діелектричної плівки SiO_2 середньої товщини 100нм. Ступінь прилипання є не дуже задовільним. Діелектрична міцність плівки становить $0,2 \cdot 10^6 \text{В/см}$ після плазмової обробки. Шар SiO_2 злущувався, коли квадратний зразок обробленої фольги (10см×10см) занурювали у воду і піддавали ультразвуковим вібраціям з частотою 45кГц і потужністю 300Вт.

Величина катодного струму (I_1)	20A
Величина анодного струму (I_2)	12A
Величина струму в оброблюваному матеріалі (I_3)	8A
Відповідні кути	$\alpha=30^\circ$
	$\beta=90^\circ$
	$\gamma=45^\circ$
Частота імпульсів уніполярного струму	25кГц
Тривалість переднього фронту імпульсів струму	2мсек
Тривалість імпульсу	20мсек
Швидкість потоку газу та швидкість переміщення фольги	див. а)

Еліпсометричний аналіз показує, що обробка дозволяла здійснювати рівномірне нанесення ($\pm 5\%$) діелектричної плівки SiO_2 середньої товщини 180нм. Ступінь прилипання є задовільним. Шар SiO_2 не відлущується і не розтріскується після під-

ладі 1. Оброблюваною поверхнею була поверхня алюмінієвої фольги товщиною 30мкм, виготовленої шляхом прокатування. Очищення (активація) плазмою здійснювали згідно з даним винаходом.

Порівнювали три приклади обробки:

а) Параметри обробки постійним струмом були такими:

б) Параметри обробки постійним струмом є ідентичними параметрам прикладу а). Змінне магнітне поле з частотою 800Гц та величиною $1,5 \cdot 10^{-4} \text{Т}$, яке застосовували згідно з Фіг.13, забезпечує значне збільшення рівномірності обробки ($\pm 5\%$). Інші результати є практично ідентичними результатам прикладу а).

в) Параметри обробки імпульсами уніполярного струму були такими:

даня квадратного зразка обробленої фольги (10см×10см) під водою протягом 20хв. дії ультразвукових вібрацій з частотою 45кГц та потужністю 300Вт. Досягнута діелектрична міцність становить $0,3 \cdot 10, 10^7 \text{В/см}$.

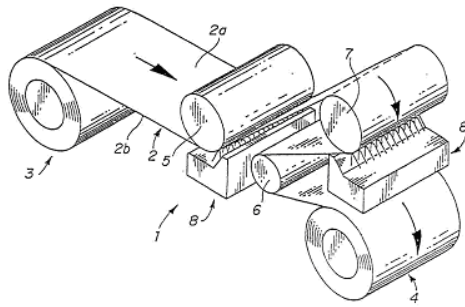


FIG. 1

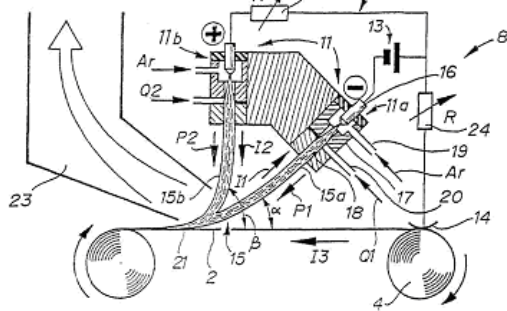


FIG. 3

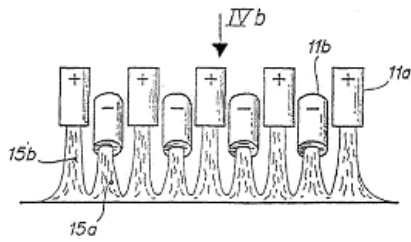


FIG. 4a

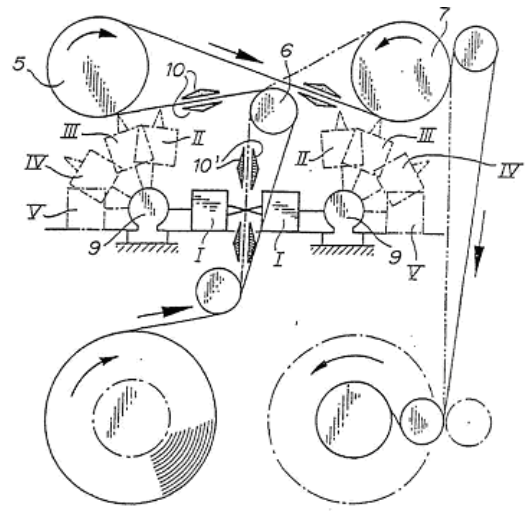


FIG. 2

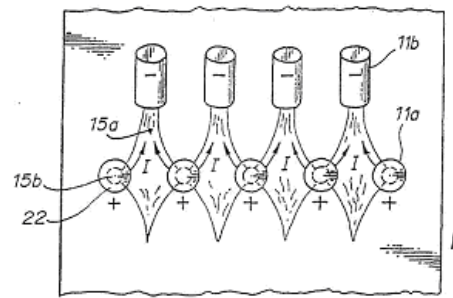


FIG. 4b

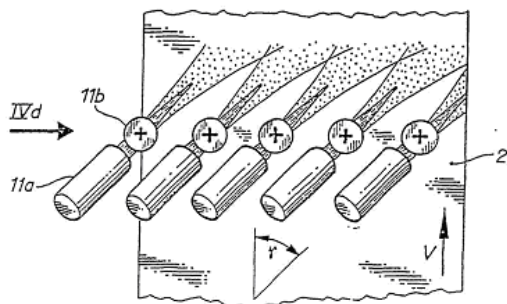


FIG. 4c

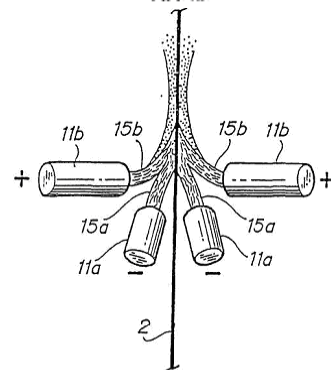


FIG. 4d

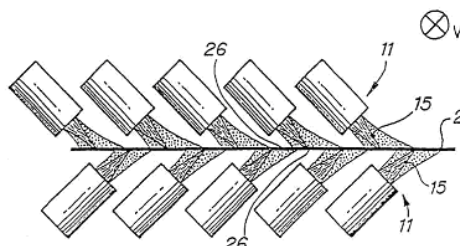
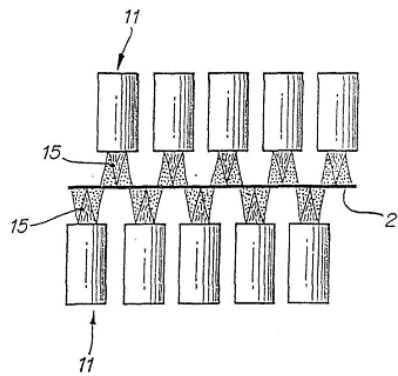
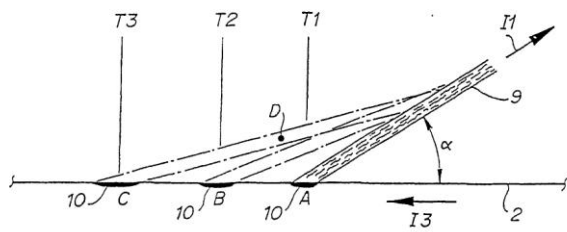


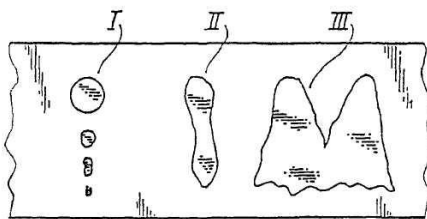
FIG. 4e



ФИГ. 4f



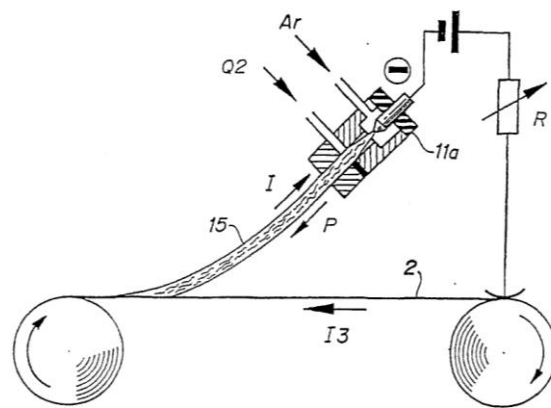
ФИГ. 6



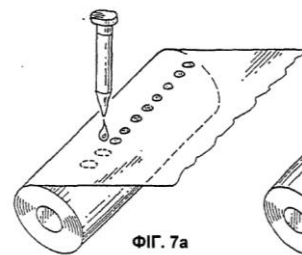
ФИГ. 7c



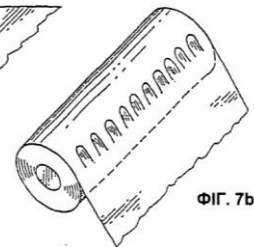
ФИГ. 8a



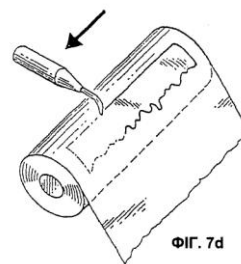
ФИГ. 5



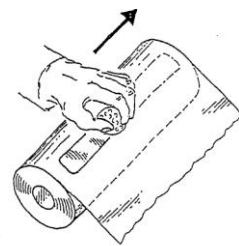
ФИГ. 7a



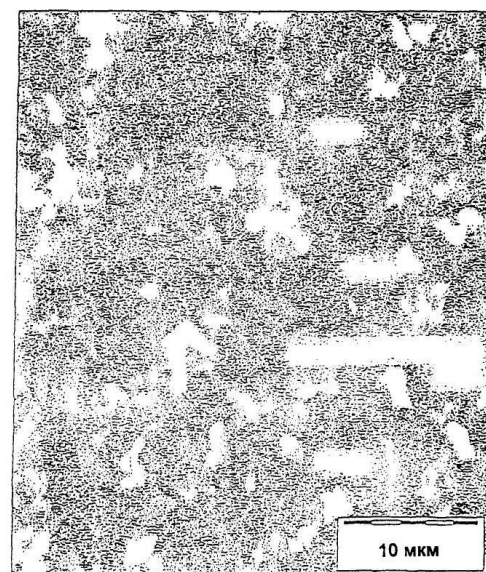
ФИГ. 7b



ФИГ. 7d



ФИГ. 7e



ФИГ. 8b

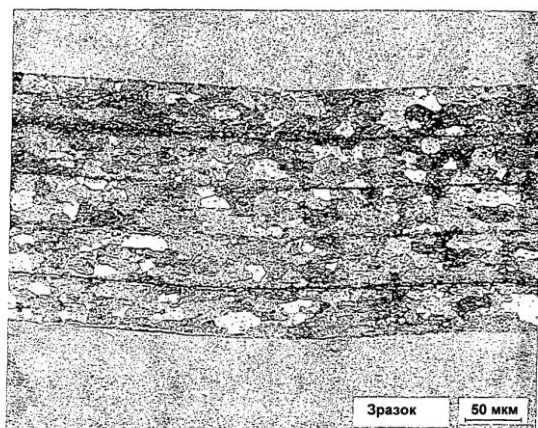
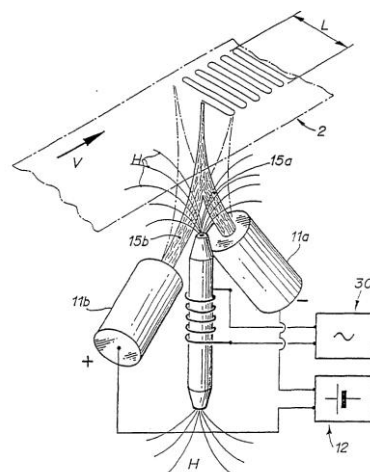
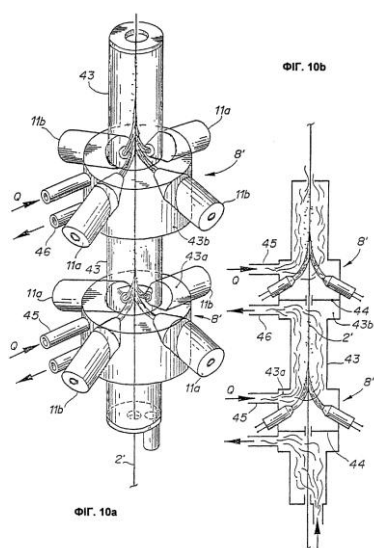


FIG. 8c



Фиг. 9



Фиг. 10а

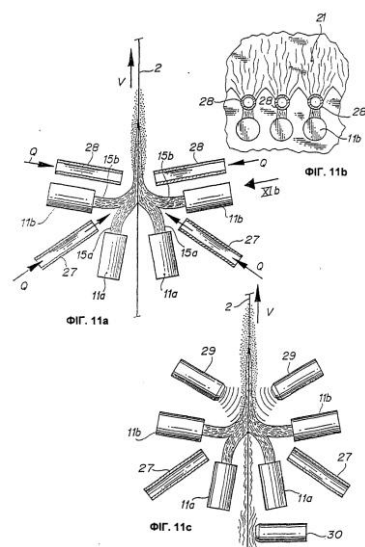
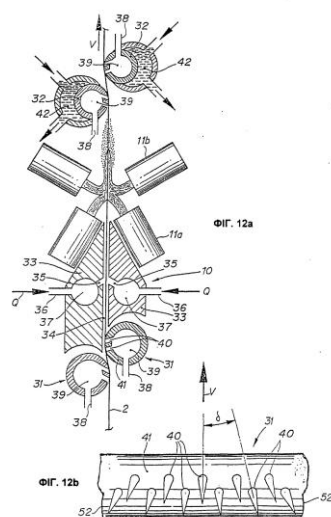


FIG. 11a

FIG. 11b

FIG. 11c



Фиг. 12а

FIG. 12b

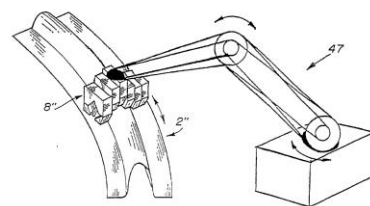
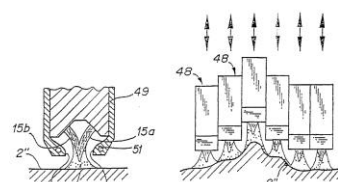


FIG. 13a



Фиг. 13с

FIG. 13b