



УКРАЇНА

(19) UA (11) 74616 (13) C2
(51) МПК (2006)
G06K 1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ІМПУЛЬСНИЙ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИЙ СПОСІБ СТВОРЕННЯ РОЗПІЗНАВАЛЬНОГО МАРКУВАННЯ НА ОБ'ЄКТИ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ВТІЛЕННЯ

1

2

(21) 2003076932

(22) 23.10.2000

(24) 16.01.2006

(86) PCT/EP00/10438, 23.10.2000

(46) 16.01.2006, Бюл. № 1, 2006 р.

(72) Малюшевський Павло, Рябцев Володимир,
Хьойдаль Мальвін, NO, Хьойдаль Татіана, NO

(73) ІНТЕРНЕТ ПІП ТЕХНОЛОДЖІ ЕНД МЕ-
НЕДЖМЕНТ (АЙРЛЕНД) ЛІМІТЕД, ІЕ

(56) DE 19814318 A1, G06K1/12, 07.10.1999

WO 9411146, B23K26/00, G06K1/12, 26.05.1994

(57) 1. Імпульсний електроерозійний спосіб створення розпізнавального маркування (81-87) у вигляді сукупності зон з локальними структурними змінами матеріалу на об'єкті (2), виготовленому з електропровідного матеріалу з кристалічною структурою, який **відрізняється** тим, що включає визначення взаємного розташування зон (12) на поверхні об'єкта (2), які підлягають електроерозійному обробленню, і проведення для кожної вибраної зони:

позиціонування електрода (5) над вибраною зоною, подання рідкого електроліту (10) між електродом і вибраною зоною і

генерування електричного імпульсу між електродом і вибраною зоною через рідкий електроліт, з напругою і потужністю, достатніми для забезпечення пробою рідкого електроліту і локальної структурної зміни матеріалу в кожній вибраній зоні (12).

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що об'єкт (2) виготовлений з металу.

3. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що об'єкт (2) виготовлений зі сталі.

4. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що об'єкт (2) являє собою трубу.

5. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що включає додатковий крок, на якому перед генера-

цією електричного імпульсу між електродом (5) і вибраною зоною (12) установлюють легуючий елемент, такий що під дією імпульсу щонайменше його частина поглинається об'єктом (2) зі зміною хімічного складу у вибраній зоні (12).

6. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що рідкий електроліт (10) являє собою водний електроліт.

7. Спосіб за п.6, який **відрізняється** тим, що водний електроліт (10) являє собою водний розчин солей металів.

8. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що розпізнавальне маркування являє собою взаємне розташування оброблених вибраних зон (12) і неопрацьованих ділянок відповідної довжини між ними, які у сукупності визначають число в двійковому коді, причому кожна вибрана зона (12) відповідає "1", а кожна із зазначених ділянок - "0" або навпаки.

9. Пристрій для створення імпульсним електроерозійним способом розпізнавального маркування (81-87) на об'єкті (2) з електропровідного матеріалу з кристалічною структурою у вигляді сукупності зон з локальними структурними змінами матеріалу, який **відрізняється** тим, що містить:

камеру (1), виконану з можливістю монтування на поверхні об'єкта (2) і можливістю містити рідкий електроліт (10),

електрод (5), який має кінцівку (5b, 9), що знаходиться в контакт з рідким електролітом в камері, і генератор електричних імпульсів (20), з'єднаний з електродом і виконаний з можливістю подання з електрода крізь рідкий електроліт до локальної зони (12) на поверхні об'єкта, що знаходиться біля згаданого кінчика електрода (5), електричного імпульсу з напругою і потужністю, достатніми для забезпечення пробою рідкого електроліту і локальної структурної зміни матеріалу в кожній вибраній зоні (12).

Винахід взагалі стосується розпізнавального маркування об'єктів, виготовлених з електропровідних матеріалів з кристалічною структурою. Зокрема, це винахід стосується способу і пристрою

для створення розпізнавального маркування на різних об'єктах, виготовлених зі сталей і сплавів, що містять вуглець, таких як труби, інструменти, запасні частини та інші конструкції, які використо-

(13) C2
(11) 74616
(19) UA

вуються в нафтовій, газовій, важкій, автомобільній галузях промисловості та ін.

Сталеві труби є типовим прикладом названих вище об'єктів. Сталеві труби широко застосовуються у різних галузях промисловості, таких як нафтова та газова. Надалі в цьому описі на сталеву трубу буде робитися посилання як на приклад об'єкту, на який можна нанести розпізнавальне маркування з використанням способу і пристрою цього винаходу. Однак слід наголосити, що цей винахід не обмежується сталевими трубами, а може бути застосований практично до будь-якого типу об'єктів, виготовлених з електропровідного матеріалу, що має кристалічну структуру.

Відомі різні способи створення розпізнавального маркування на сталевих трубах та інших конструкціях. До цих способів відносяться: трафаретне фарбування на поверхні сталевих об'єктів, наклеювання на об'єкт етикетки з кодом, імплантація електронного відповідача в об'єкт, гравірування розпізнавального маркування за допомогою лазерного променя на поверхні об'єкту і т. ін. Ці відомі способи мають різні недоліки. Наприклад, розпізнавальне маркування, нанесене шляхом фарбування поверхні об'єкту або приклеювання етикетки на його поверхні, може випадково частково або повністю пошкодитися при недбалому поводженні, яке може трапитися протягом терміну служби об'єкту. Електронні відповідачі містять чутливі електронні схеми, які можуть бути пошкоджені або перестати нормально функціонувати з іншої причини протягом терміну служби об'єкту.

[В патенті Великобританії GB-A-2 340 640] описано спосіб збереження двійкової інформації на кристалічному матеріалі, такому як сплав із запам'ятовуванням форми. Лазерний або електронний промінь опромінює поверхню матеріалу за наперед визначеним профілем. Окремі кристали нагріваються так, що в кожному з них відбуваються структурні зміни, а отже змінені кристали відображають інформацію, збережену в кристалі. Збережену інформацію можна пізніше зчитати шляхом сканування поверхні матеріалу електронним або лазерним променем, аналізу відбивання променя від поверхні і декодування інформації.

Недоліком способу, описаного [в патенті GB-A-2 340 640], є те, що структурна модифікація матеріалу обмежується лише окремими кристалами у поверхневому шарі матеріалу. Отже, якщо з матеріалом поводяться недбало (наприклад, при звичайному поводженні зі сталевими конструкціями, характерному для будь-якої з названих вище галузей промисловості), існує ймовірність пошкодження модифікованого поверхневого шару, що зробить неможливим зчитування інформації, яка там зберігається. Крім того, той факт, що модифікація відбувається для окремих кристалів, обмежує область застосування цього способу лише певними придатними матеріалами, наприклад, сплавами із запам'ятовуванням форми. Більше того, для проведення надзвичайно локалізованого нагрівання, призначеного для зміни структури окремих кристалів, необхідно застосовувати сучасне високоточне обладнання.

Метою цього винаходу є покращення розпізнавального маркування сталевих конструкцій та

інших об'єктів, виготовлених з електропровідного матеріалу з кристалічною структурою. Зокрема, метою цього винаходу є створення розпізнавального маркування, яке характеризується високою якістю, тривалим терміном служби і високою стійкістю до впливу зовнішніх факторів, наприклад, до абразивного зносу. Більш конкретно, метою винаходу є створення гнучкого розпізнавального маркування, яке дозволяє зберігати розпізнавальну інформацію, що містить довільні дані, у довільно-му форматі.

В загальному аспекті, вказані вище цілі були досягнуті шляхом наступного осмислення винаходу. Розпізнавальне маркування об'єкту можна представити як множину зон на його поверхні, причому структура матеріалу цих зон змінюється локально шляхом прикладання електричних імпульсів високої напруги між електродами і поверхнею об'єкту через робоче текуче середовище. Електричний імпульс створює плазмовий канал (потік сильно концентрованої енергії) в робочому текучому середовищі, який входить у вигляді енергії в поверхневу зону об'єкту. Структура матеріалу об'єкту локально змінюється під дією цієї енергії, причому модифіковані зони зміцнюються (стають більш твердими) порівняно з початковою структурою матеріалу. Крім того, хімічний склад та/або механічні властивості модифікованих зон можуть відрізнятися від властивостей вихідного матеріалу.

Модифіковані зони можна в подальшому виявити за допомогою відомих вимірювальних пристроїв. Перевагою цього способу є те, що розпізнавальне маркування можна представити множиною модифікованих зон разом з проміжними немодифікованими ділянками, причому модифіковані зони можуть відповідати першому типу цифри (наприклад, логічній "1") двійкового коду, тоді як немодифіковані зони - протилежному типу двійкової цифри (наприклад, логічному "0").

Названі вище цілі досягаються за допомогою способу і пристрою відповідно до незалежних пунктів формули винаходу, що додається. Інші цілі, властивості та переваги цього винаходу описано в наступному детальному описі, кресленнях, що додаються, а також в залежних пунктах формули винаходу.

Нижче наведено детальний опис переважного і альтернативних варіантів виконання цього винаходу з посиланням на супровідні креслення, де:

на Фіг.1 показано схематичне зображення пристрою для створення розпізнавального маркування на об'єкті за кращим варіантом виконання цього винаходу.

На Фіг.2 показано збільшене зображення частини Фіг.1;

На Фіг.3 показано блок-схему способу згідно з винаходом;

На Фіг.4 показано графік залежності поверхневої твердості об'єкту зі створеним на ньому розпізнавальним маркуванням згідно з винаходом;

На Фіг.5 показано графік залежності залишкового напруження об'єкту зі створеним на ньому розпізнавальним маркуванням згідно з винаходом;

На Фіг.6 показано графік залежності мікроструктури об'єкту зі створеним на ньому розпізнавальним маркуванням згідно з винаходом;

На Фіг.7 показано графік залежності стійкості до розтріскування об'єкту зі створеним на ньому розпізнавальним аркуванням згідно з винаходом; і

На Фіг.8 показано приклад двійкового розпізнавального маркування згідно з винаходом.

На Фіг.1 показано схематичне зображення пристрою за переважним варіантом виконання винаходу, призначеного для створення розпізнавального маркування на об'єкті 2. На Фіг.1 об'єкт 2 показаний у вигляді сталеві труби. Однак, як вже було вказано вище, винахід однаковою мірою може використовуватися для різних типів об'єктів, виготовлених з електропровідного матеріалу з кристалічною структурою.

Сталева труба 2 кладеться на опору 3, яка в свою чергу розташовується на землі або підлозі. Маркувальна камера 1 розміщується зверху на сталевій трубі 2 вздовж частини її зовнішньої поверхні. Нижня частина маркувальної камери 1 вигнута відповідно до вигину поверхні сталеві труби 2, щоб надійно сидіти на сталевій трубі 2. Перевагою також є те, що наявні зовнішні кріпильні засоби для прикріплення маркувальної камери до сталеві труби 2.

Частина набору маркувальних електродів 5 вставляється всередину маркувальної камери 1 крізь відповідні отвори на верхній поверхні камери 1. Як буде більш детально описано нижче, кожен електрод під дією електричних імпульсів високої напруги створює плазмовий канал в поверхневій зоні сталеві труби 2. Плазмовий канал локально змінює структуру матеріалу в модифікованій зоні 12 на Фіг.2, і саме ці модифіковані зони являються собою розпізнавальне маркування труби.

Кожен електрод 5 має верхній кінець 5a та нижній кінець 5b, причому останній розташовується на малій відстані від поверхні сталеві труби 2, як більш детально показано на Фіг.2. Верхній кінець 5a прилаштований так, щоб забезпечити короткочасне електричне з'єднання з рухомих контактом 16, який встановлено на лінійній напрямній в точці 21 на Фіг.1 так, що він може ковзати вздовж довжини напрямної. В свою чергу рухомий контакт 16 приєднано до генератора електричних імпульсів 20. Під дією сигналів керування блоку контролера електродів, який не показано на кресленнях, рухомий контакт 16 рухається відповідно до запрограмованої послідовності кроків між відповідними верхніми кінцями 5a різних електродів 5 для прикладання відповідних електричних імпульсів до поверхневої зони сталеві труби 2.

Генератор електричних імпульсів 20 містить елемент 23, а саме, конденсатор, який може накопичувати електричну енергію, що потім використовується для генерації електричних імпульсів за допомогою електроду 5. Він також містить розрядний ключ 22, який у відкритому стані дає можливість зарядити конденсатор 23 від зовнішнього джерела живлення, не показаного на кресленні. При замиканні розрядного ключа 22 конденсатор 23 швидко розряджається через рухомий контакт 16 на один з електродів 5, як буде більш детально описано нижче. При цьому генератор електричних імпульсів 20 виступає катодом через рухомий контакт 16 і електрод 5, тоді як поверхня сталеві труби 2 виступає як анод через корпус маркуваль-

ної камери 1, електропроводку та іншу обкладку конденсатора 23 в генераторі електричних імпульсів. Генератор електричних імпульсів 20 як такий не є основним елементом цього винаходу. Для його реалізації може бути використано різне обладнання, що є у продажу, і тут не робиться детальний опис його складових частин.

Резервуар 18 і насос 17 введені для постачання робочого текучого середовища 10 (див. Фіг.2) по трубопроводах 19 у маркувальну камеру 1. Робоче текуче середовище призначене для проведення електричного імпульсу, створеного генератором електричних імпульсів 20 з нижнього кінця 5b електрода 5 до локальної поверхневої зони 12 сталеві труби 2. Як буде більш детально описано нижче, робоче текуче середовище повинно бути електропровідним, однак як робоче текуче середовище можна використовувати різні інші речовини. Звичайна вода з водопроводу, масло, інертний газ або сольовий розчин являють собою лише невелику частину прикладів робочих текучих середовищ. Кількість робочого текучого середовища всередині маркувальної камери 1 є не дуже критичною, поки воно цілком покриває поверхню сталеві труби 2, а також нижні кінці 5b електродів 5. Після генерації електричного імпульсу до з'єднання між відповідним електродом 5 і вершиною маркувальної камери буде прикладена значна сила протидії. Тому кожен електрод 5 надійно закріплено у відповідному отворі маркувальної камери 1. Більше того, всі електроди 5 розташовані на певній мінімальній відстані від внутрішньої стінки маркувальної камери 1, з тим щоб електричний імпульс не притягувався до внутрішньої стінки маркувальної камери, а замість цього направлявся до поверхневої зони сталеві труби 2. Було встановлено, що придатна мінімальна відстань між внутрішньою стінкою маркувальної камери та найближчим електродом складає близько 4см.

На Фіг.2 показано більш детально нижню частину 5b електрода 5 разом з робочим текучим середовищем 10 та поверхневою зоною сталеві труби 2. Електрод 5 має ізолююче покриття 7 та провідне осердя 8, яке переходить у кінчик електрода 9. Як видно з Фіг.2, нижня частина електрода 5 цілком оточена робочим текучим середовищем 10. Крім того, кінчик 9 електрода 5 розташований на певній відстані D від поверхні сталеві труби 2. Фактичне значення відстані D визначається при врахуванні кількох параметрів системи, таких як напруга електричного імпульсу U_0 , властивість робочого текучого середовища 10 та матеріал сталеві труби 2. Для напруги $U_0=40-50\text{кВ}$ відстань може складати 80-100мм. В цьому випадку площа поверхні модифікованої зони складатиме $2-3\text{мм}^2$. З іншого боку, якщо відстань D між кінчиком 9 електрода 5 та сталеві трубою 2 значно менша, наприклад $D=5-10\text{мм}$, тоді площа поверхні модифікованої зони 12 складатиме $2-2,5\text{см}^2$.

Коли електричний імпульс подається від генератора 20 через електрод 5 від кінчика 9, формується канал електричної плазми 11 крізь робоче текуче середовище 10, який входить у вигляді енергії в поверхневу зону сталеві труби 2. В результаті локальна зона сталеві труби 2 швидко нагрівається плазмовим каналом 11, після чого

вона така само швидко охолоджується завдяки наявності робочого текучого середовища 10. Швидкість імпульсного нагрівання локальної поверхневої зони сталевий труби 2 може складати $50-1000 \times 10^5 \text{ K/c}$, а швидкість охолодження - $20-1000 \times 10^5 \text{ K/c}$. Густина електричної енергії, яку передає плазмовий канал 11 в локальну поверхневу зону сталевий труби 2 може складати $40-1100 \times 10^6 \text{ Вт/м}^2$.

В локальній поверхневій зоні 12, де електрична плазма 11 досягає сталевий труби 2, локально змінюється структура матеріалу. Діаметр $\delta_{\text{діам}}$ та глибина проникнення $\delta_{\text{глиб}}$ модифікованої зони 12 залежить, серед іншого, від типу та розміру електрода 5, відстані D, матеріалу сталевий труби 2, а також від характеристик електричного імпульсу. Наприклад, діаметр $\delta_{\text{діам}}$ може бути від 5 до 20 мм, а глибина проникнення $\delta_{\text{глиб}}$ - порядку 100 мкм-1 см або навіть більше.

Канал електричної плазми, генерований в провідному матеріалі як відклик на прикладання електричного імпульсу, докладніше описано в патентах [GB-1,429,464] (під назвою "Створення високого тиску в рідині"), [US-3,997,468] (під назвою "Спосіб створення високого та надвисокого тиску та пристрій для витрат неметаловміщуючих матеріалів") і [GB-1,428,253] (під назвою "Покращення процедури очищення труб"), і на всі ці патенти робиться посилання при описі винаходу. Отже, в цьому винаході використаний новий підхід до застосування каналу електричної плазми в провідному матеріалі, що генерується при прикладанні електричного імпульсу. В загальному аспекті цього винаходу процес генерації плазмового каналу можна розділити на три основних етапи.

На етапі 1 електрична енергія, яка перевищує граничне значення енергії пробією робочого середовища (робочого текучого середовища 10), накопичується на катоді і зрештою досягає свого максимального значення. Під час короткочасної затримки між катодом і анодом починає протікати слабкий електричний струм.

Після цього, на етапі 2, слабкий струм, який почав протікати на етапі 1, починає утворювати канал між катодом і анодом. Пробій робочого середовища починається, коли енергія досягає свого максимуму, при цьому починає формуватися канал з високою провідністю. Енергія трохи знижується, а електричний струм зростає, причому провідність каналу також зростає під час цього етапу.

Нарешті, на етапі 3 вся накопичена енергія (крім невеликої її частини, що пішла на створення каналу) передається з катода на анод протягом дуже короткого інтервалу часу (приблизно 10-100 мкс). Це відбувається завдяки дуже високій провідності каналу. Температура матеріалу каналу підвищується до $(15-40) \times 10^3 \text{ K}$, а тиск підвищується до 300-1000 МПа. Канал росте радіально з дуже великою швидкістю завдяки підвищеному внутрішньому тискові. Зростання каналу викликає стиснення робочого середовища, тим самим викликаючи зустрічний тиск в ньому, що в свою чергу обмежує радіальне збільшення каналу. Локальна структурна зміна матеріалу анода (тобто локальної зони 12 в поверхневій зоні сталевий труби 2) відбувається в результаті дії високої енергії, що

передається крізь плазмовий канал в анод, як було описано вище. Як вже було вказано, локальна структурна зміна матеріалу модифікованої зони 12 являє собою кодовий елемент в розпізнавальному маркуванні сталевий труби 2.

Розглянемо принцип дії обладнання, показаного на Фіг.1 і 2, посилаючись на Фіг.3. Надалі при описі припускається, що на сталевий трубі 2 створюється просте двійкове розпізнавальне маркування, яке має значення "11011011". На практиці таке коротке розпізнавальне маркування має обмежене застосування, оскільки з його допомогою можна представити лише 256 різних кодових комбінацій. В реальних застосуваннях для розпізнавального маркування використовується значно більша кількість кодових позицій (двійкових цифр), що не складно реалізувати для спеціаліста у цій справі. Звернемося тепер до Фіг.3. На першому кроці 30 оператор обладнання для створення розпізнавального маркування вводить бажане розпізнавальне маркування (в цьому прикладі "11011011") за допомогою відповідного пристрою введення, такого як клавіатура комп'ютера. Після цього введене розпізнавальне маркування зчитується контролером електрода (не показаний на кресленнях), який на кроці 31 генерує команди керування окремими електродами 5, які необхідно активізувати для генерування відповідного двійкового значення у бажаному розпізнавальному маркуванні. В даному прикладі двійкова "1" буде представлена модифікованою зоною 12 на сталевий трубі 2, тоді як двійковий "0" - немодифікованою зоною. Отже, в даному випадку контролер електрода має послідовно активізувати електроди №1, 2, 4, 5, 7 та 8 для генерування бажаного розпізнавального маркування "11011011".

В цьому документі не робиться детального опису реалізації контролера електрода, оскільки для цього винаходу може бути використаний практично будь-який контролер, що є у продажу. Отже, вважається, що вибір і програмування відповідного контролера з метою виконання винаходу, описаного в цьому документі, досвідчений спеціаліст може здійснити.

Далі, на кроці 32, оператор вмикає генератор електричних імпульсів 20 шляхом, наприклад, вмикання вимикача електроживлення, не показаного на кресленні. Після цього, як показано в блоках кроків 33-37, контролер електрода виконує цикл стільки разів, скільки двійкових цифр у введеному розпізнавальному маркуванні. Таким чином, оскільки бажане розпізнавальне маркування в цьому прикладі містить 8 двійкових цифр, то відбудеться 8 ітерацій циклу 33, як показано на Фіг.3.

На кроці 34 контролер електрода визначає, чи дорівнює 1 відповідна бітова позиція 1-8 у введеному бажаному розпізнавальному маркуванні. Якщо це так, то програма переходить на крок 35, на якому рухомий контакт 16 пересувається вздовж лінійної напрямної 15 до відповідного електрода 5 для утворення електричного контакту між електродами і генератором електричних імпульсів 20. Потім на кроці 36 заряджається генератор електричних імпульсів 20, а точніше - конденсатор 23, що входить до його складу. Коли конденсатор 23 повністю заряджається на кроці 36, на кроці 37

ключ 22 замикається для прикладання електричного імпульсу до відповідного електрода 5, при цьому відбувається обробка поверхні плазовим каналом, як описано вище, і на сталевій трубі 2 формується локальна поверхнева зона 12 зі зміненою структурою матеріалу, що й буде відповідати конкретному значенню біта і.

Після завершення кроку 37, виконання програми повертається на крок 33 для проведення чергової ітерації циклу, якщо і не досягло 8. Інкремент і відбувається кожен раз після завершення кроку 37, поки і не стане рівним 9. Після цього виконання циклу 33-37 припиняється і програма завершується на кінцевому кроці 38.

Якщо на кроці 34 відповідне двійкове значення не дорівнює 1 (тобто дорівнює 0), тоді кроки 35-37 не виконуються. Замість цього виконання одразу повертається на початковий крок 33 циклу. Отже, в цьому випадку на відповідний окремий електрод 5 не подається електричний імпульс, в результаті відповідна локальна поверхнева зона на сталевій

трубі 2 під відповідним електродом 5 залишається незмінною, що відповідає двійковому 0.

Для сталевих конструкцій зміна структури матеріалу, викликана електричним імпульсом та плазовим каналом, супроводжується значним зміцненням (затвердінням) локальної поверхневої зони, до якої прикладається електричний імпульс. До того ж змінена структура матеріалу може характеризуватися зміною хімічного складу і/або механічних властивостей на додачу до зміни твердості, як детальніше буде описано нижче в цьому розділі з посиланням на велику кількість результатів випробувань. Основною особливістю модифікованої зони 12 з локально зміненою структурою матеріалу є те, що вона залишається міцною і не викликає пошкодження позначуваного матеріалу 2 або погіршення його властивостей.

Нижче в таблиці показано три типи сталей, що випускаються промислово, які було випробувано у зв'язку з цим винаходом.

Таблиця

Назва	Хімічний склад						
	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	S, % не більше	P, % не більше
Сталь 1	0,42-0,52	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,25	0,040	0,040
Сталь 2	0,11-0,17	0,80	0,80	16,0-18,0	1,50-2,50	0,025	0,025
Сталь 3	0,14-0,20	0,17-0,20	0,25-0,55	1,35-1,65	4,00-4,40	0,025	0,025

Типове значення глибини проникнення $\delta_{\text{глиб}}$ зони 12 зі зміненою структурою матеріалу складає від 90 до 200мкм для сталі 1, від 30 до 200мкм для сталі 2 та від 40 до 350мкм для сталі 3. Однак додаткові випробування показали, що в деяких випадках зміна структури матеріалу відбувається значно глибше, ніж ці значення. Зрештою, як діаметр $\delta_{\text{діам}}$ модифікованої зони 12, так і її глибина проникнення $\delta_{\text{глиб}}$ залежать від різних факторів: величини електричного імпульсу, типу і властивостей сталевих матеріалу, геометрії електроду та характеристик робочого текучого середовища.

Було проведено різні випробування названих вище та інших типів сталей, як описано далі з посиланням на Фіг.4-7.

1. Візуальний ефект

Спостерігач на місці модифікованої зони 12 бачить коло. Навколо модифікованої зони можна помітити кілька концентричних переливчастих кілець, які виглядають так через зміни температури нагрівання навколо плазового каналу. Для всіх досліджених типів сталей шорсткість поверхні обробленої зони склала $R_z=60-100\text{мкм}$.

2. Поверхнева твердість (зерниста структура)

Дослідження за допомогою мікроскопа показали, що на поверхневому рівні матеріалу з'являється аморфний або дрібнозернистий "білий шар". Білий шар виникає в результаті одночасної дії теплового і ударного імпульсів. Типове значення твердості білого шару у 1,5-3,5 рази вище, ніж значення твердості немодифікованого матеріалу. Крім того, під білим шаром є додатковий шар, в якому зерна менші, ніж у білому шарі. На Фіг.4 показано залежність поверхневої твердості H_v від глибини модифікованої зони δ_c (що відповідає гли-

бині проникнення $\delta_{\text{глиб}}$ на Фіг.2) після обробки поверхні плазовим каналом для сталі 1 (пунктирна лінія 41) та сталі 3 (суцільна лінія 42).

Білий шар сталі 1 товстіший за цей шар для сталі 2, що можна пояснити більшим процентним вмістом вуглецю в сталі 1. Наявність нікелю також сприяє виникненню білого шару, оскільки нікель прискорює процес розчинення карбідів в аустеніті. В сталях з низьким вмістом вуглецю після їхньої обробки плазовим каналом було знайдено кілька зерен фериту. Цей факт підтверджує те, що перетворення $\alpha \leftrightarrow \gamma$ відбувається без дифузії в результаті дуже швидкого нагрівання і охолодження. Що стосується сталі 3 (основний матеріал ферит-перліт), то дослідження, проведені за допомогою електронного мікроскопа показали, що її білий шар являє собою мартенсит і залишковий аустеніт, а також карбіди $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$.

3. Залишкове напруження

На Фіг.5 показано залишкове напруження σ_{res} для сталі з 4% вмістом вуглецю і 1% вмістом хрому (крива 51), а також для сталі з 14% вмістом вуглецю і 17% вмістом хрому (крива 52). Параметри електричного імпульсу, які використовувалися для проведення цього випробування: $U_0=30\text{кВ}$ і $C=12\text{мкФ}$.

На Фіг.5 показано залишкове напруження поверхні при розтягуванні та залишкове напруження при її стисненні на глибині 400мкм для кривої 51, яка знаходиться нижче названого вище білого шару. Залишкове напруження при стисненні для кривої 52 починається на глибині 200мкм.

4. Мікродеформації

На Фіг.6 показано результати досліджень мікродеформацій в матеріалі після його обробки плазовим каналом. Крива 61 на Фіг.6 відповідає ста-

лі з 4% вмістом вуглецю і 1% вмістом хрому, а крива 62 - сталі 3 з наведеної вище таблиці. Мікродеформації визначалися шляхом оцінювання розподілу мікронапружень при вимірюванні деформацій в різних шарах зразка матеріалу. Вимірювання проводилися шар за шаром, після чого кожен шар видалявся травленням. Для вимірювання деформацій в шарах використовувався тензодатчик. Залишкове напруження на головній вісі обчислювалося на основі отриманих значень деформації при таких припущеннях:

Поверхнєве напруження зразка матеріалу не перевищує умовну границю текучості.

Поверхнєве напруження зразка матеріалу має рівномірний розподіл.

Поверхнєві сили статично врівноважені.

Крайовий ефект поширюється на відстань, яка не перевищує ширину зразка матеріалу.

Для підрахунку залишкового напруження на головній вісі було використано таку формулу:

$$\sigma_{res} = -B_{\sigma} (d\varepsilon/d\delta_i) + [A_{\delta_{i-1}} (d\varepsilon/d\delta_{i-1}) d\delta_{i-1}],$$

де B_{σ} і $A_{\delta_{i-1}}$ - коефіцієнти, що залежать від товщини видаленого шару, ε - деформація, δ_i - товщина видаленого шару i , де $i=1, 2, 3 \dots$

Товщина видаленого шару δ_i визначається вимірюванням втрат матеріалу за одиницю часу (швидкість травлення):

$$\delta_i = R[1 - (G_1/G_2)],$$

де R - ширина зразка матеріалу до травлення, G_1 - вага зразка матеріалу після травлення, G_2 - вага зразка матеріалу до травлення.

Дані розподілу залишкового напруження являють собою усереднені результати вимірювань для трьох і більше зразків матеріалу.

Мікронапруження також було досліджено з використанням радіографічного методу, загально відомого як метод Дебая-Шеррера. Залишкове напруження в позначеній зоні 12 є результатом локальних пластичних деформацій, фазових переходів і нерівномірного нагрівання та охолодження матеріалу. По суті, радіографічний метод полягає в аналізі залишкового напруження шляхом вимірювання зміни $\Delta\theta$ дифракційної картини. У най-

простішому випадку нормальне напруження пов'язане зі зміною дифракційної картини $\Delta\theta$ таким рівнянням:

$$\sigma = E \cdot (\cos\theta/\sin\theta) \cdot (\Delta\theta/\mu),$$

де E - модуль пружності першого роду, μ - коефіцієнт Пуассона. Мікронапруження призводять до розширення дифракційних ліній. Мікронапруження вимірювалися за змінами та розширенням дифракційних ліній за стандартною процедурою.

5. Стійкість до розтріскування

На Фіг.7 показано результати вимірювань стійкості до розтріскувань, обчислених за критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень. Бруски з прямокутним поперечним перетином (18 на 10мм) згиналися під дією статичного навантаження зі швидкістю 0,6мм/с. Поява тріщин реєструвалася за допомогою тензометрів. Криві 71, 72 та 73 відображають сталь з 4% вмістом вуглецю та 1% вмістом хрому, яка не піддавалася обробці плазмовим каналом. Відповідно криві 74, 75 та 76 відображають зразки матеріалу з тієї ж самої сталі, однак піддані дії плазмового каналу.

6. Зносостійкість

Для проведення випробувань на знос було використано обладнання, яке складається з круга, що обертається, та нерухомого блока (обладнання загально відомо як машина типу MI-1M). Швидкість круга - 0,89м/с. До блока прикладалася сила $P_F=0,3-0,4$ МПа для випробування тертям без використання мастила. Для проведення стандартного випробування тертям з використанням абразивного змащування до стандартного промислового мастила було додано 0,1% кварцового піску. В цьому випадку швидкість круга складала 0,89м/с, а прикладена сила - $P_F=2,0-3,9$ МПа. Знос визначався за втратою ваги кожним зі зразків. Експерименти показали, що плазмова обробка підвищує зносостійкість матеріалу. В наведеній нижче таблиці показано втрати ваги (в мг) сталі 2 при контактуванні сталевих зразка та чавуна при наявності тертя без і з використанням мастила, перед та після обробки плазмовим каналом відповідно.

Таблиця

	Тертя без мастила				Мастило з абразивним матеріалом				Тертя без мастила				Мастило з абразивним матеріалом			
	круг		блок		круг		блок		круг		Блок		круг		блок	
Перед	240	мг	630	мг	180	мг	56	мг	420	мг	550	мг	220	мг	230	мг
Після	140	мг	390	мг	80	мг	28	мг	320	мг	350	мг	180	мг	80	мг

Дослідження інших типів сталей показали, що зносостійкість після проведення обробки плазмовим каналом зростає у 1,5-2,5 рази.

На додаток до зміни структури матеріалу, про що було сказано в попередніх розділах, існує можливість в рамках цього винаходу змінити також хімічний склад матеріалу. Наприклад, в деяких сталевих матеріалах оброблювані зони можуть поглинати легуючі елементи з навколишнього середовища під час процесу плазмової обробки завдяки прискореному процесу дифузії в матеріал та активному перенесенню хімічних елементів до нього. Така зміна хімічного складу матеріалу може

підвищити контрастність та довговічність розпізнавального маркування.

Для сталей з низьким вмістом вуглецю одним з варіантів зміни хімічного складу є розміщення перед електродом 5 дуже маленького шматка дроту з дуже високим вмістом марганцевої або нікель-хромистої сталі, або іншого сплаву. Це дозволяє створити локальний процес легування в зоні 12. Тонкий дріт діаметром, наприклад, 0,05-0,15мм, швидко випаровується під дією електричного імпульсу і переходить у плазмовий стан. Активні легуючі елементи з металеві плазми після цього переносяться у сталеву структуру під час контакту

плазми з її поверхню. Цей вибух тонкого дроту відбувається у робочому текучому середовищі 10 і генерує плазму з густиною до $0,01\text{г/см}^2$ та температурою близько $20\text{--}35 \times 10^3\text{К}$. Ця плазма має високий ступінь іонізації, є дуже активною та агресивною при взаємодії з сталевим матеріалом.

За іншим варіантом зміна хімічного складу матеріалу реалізується у такий спосіб. Тонкий шар (1мкм) ізотопів Fe55, Fe59 з OD 12мм наноситься на поверхню матеріалу з використанням електрохімічної реакції. Тонкий шар ізотопів необхідно розмістити на наперед визначених позиціях відповідно до бажаного малюнку розпізнавального маркування. Зразки з ізотопами необхідно занурити у воду. Два маркувальних електрода (анод і катод) розташовуються над поверхню зразка і знаходяться один напроти іншого для уникнення безпосереднього контакту між плазмою та шаром ізотопів під час розряду. Відстань від електродів до поверхні зразка повинна бути у 1,5 рази більша, ніж відстань між електродами.

Після ввімкнення генератора електричних імпульсів і генерації електричних імпульсів між парою електродів необхідно по можливості повільно перемістити їх вперед-назад кілька разів повз зону маркування.

Шар за шаром було проаналізовано залишкову інтеграцію ізотопів в поверхневий шар зразків (з кроком 0,3-0,7мкм). В результаті було визначено, що мінімальна глибина інтеграції радіоактивного ізотопу Fe⁵⁵⁺⁵⁹ складає приблизно 20мкм.

Таке перенесення маси не може бути результатом змішування двох компонентів у твердому стані, інакше глибина інтеграції в цьому випадку складала б лише порядку 0,1мкм. Вважається, що найбільший внесок до розвитку цього процесу роблять міжвузлові атоми. Слабка радіоактивність кожної позначуваної зони робить достатньо простим її розпізнавання з використанням існуючого стандартного обладнання. Вищесказане підтверджує, що існує можливість перевищити максимальний ступінь інтеграції у твердому стані і додати в матеріал легуючий елемент для створення нового сплаву в локальній поверхневій зоні відповідно до наперед визначених технічних умов.

Нижче буде наведено ще один приклад описаних вище процесів. В результаті надшвидких термічних циклів (нагрівання і охолодження) під час дії електричного імпульсу відбувається інтенсивне розтирання початкової структури. Це підвищує кількість кристалічних дефектів (на краях зерен та вузлів) та густину дислокацій, яка сприяє процесам дифузії. Електричний імпульс створює ударне стиснення поверхні матеріалу на додачу до теплового впливу, що приводить до активізації дислокаційного руху. При цьому зростає також густина дислокацій. Таким чином, процес дифузії прискорюється завдяки процесу дислокації в металах. Під час дії електричного імпульсу електрична плазма активізує цей процес. Отже, в результаті такого процесу швидкої дифузії хімічний склад матеріалу можна змінити у локальній поверхневій зоні, що буде являти собою частину розпізнавального маркування. Досягти цього можна шляхом перенесення легуючих елементів в локальну зону з робочого середовища. Активний хімічний компо-

нент в робочому середовищі насичує поверхневий шар матеріалу. Для цього можуть бути використані солі легуючих металів, розчинені у воді. Наприклад, використання замість звичайної води водного розчину хлориду хрому підвищує вміст хрому в поверхневому шарі зразка, зробленого зі сталі L-80, на 450%. Можна використовувати й інші рідини. Так, використання трансформаторного масла (макромолекулярного вуглеводню) підвищує вміст вуглецю в поверхневому шарі зразків, зроблених зі сталі L-80, на 400%.

Напевно ювенільні поверхні, утворені під дією електричної плазми, виступають в ролі катализаторів для дифузійних атомів, що рухаються з робочого середовища в оброблюваний матеріал. Результати експериментальних досліджень підтверджують можливість застосування описаного вище методу електричних імпульсів для легування поверхні сталі і для попереднього визначення хімічних характеристик нового сплаву шляхом маніпуляцій з робочим середовищем.

На Фіг.8 показано ще один більш реалістичний приклад розпізнавального маркування, створюваного на сталевій трубі 2 згідно з цим винаходом. На Фіг.8 зроблено припущення, що оператор хоче маркувати сталеву трубу 2 десятиковим значенням "9356097", яке може позначати, наприклад, номер виробу або серійний номер сталевий труби 2, її виробника, власника і т. ін. На Фіг.8 кожна десятикова цифра в розпізнавальному коді представлена відповідним набором з шести двійкових цифр 81-87, тобто двійкових секстетів. Таким чином, загальний розпізнавальний код (який містить сім десятикових цифр) формується з семи двійкових секстетів 81-87, кожен з яких містить шість двійкових цифр, що позначають відповідне десятикове значення. Кожна з цих двійкових цифр представляється локальною поверхневою зоною 12 з модифікованою структурою матеріалу у разі, якщо відповідна двійкова цифра дорівнює 1, що було докладно описано з посиланням на попередні креслення. З іншого боку, якщо двійкова цифра дорівнює 0, то відповідна локальна поверхнева зона на сталевій трубі 2 не піддається дії плазмового каналу а, отже, структура матеріалу цієї зони залишається незмінною.

Для полегшення подальшого зчитування розпізнавального маркування 81-87, кожен двійковий секстет завжди починається з двійкової 1 і так само завжди закінчується двійковою 1. Тому, фактично, інформація, представлена кожним двійковим секстетом, складається з чотирьох проміжних двійкових цифр між першою і останньою двійковою 1, як показано на Фіг.8. Наприклад, перша десятикова цифра в розпізнавальному маркуванні, тобто 9, представлена двійковим секстетом 81 на Фіг.8, який починається і закінчується двійковою 1 і містить посередині між ними двійкове значення "1001". З техніки добре відомо, що двійкове значення "1001" відповідає десятиковому значенню 9.

Крім того, для покращення зчитування розпізнавального маркування перед розпізнавальним кодом бажано записати окремий початковий секстет 80, який завжди має двійкове значення "111111". Відповідно розпізнавальний код в цьому випадку завжди завершується кінцевим секстетом

88, який завжди має двійкове значення "111001".

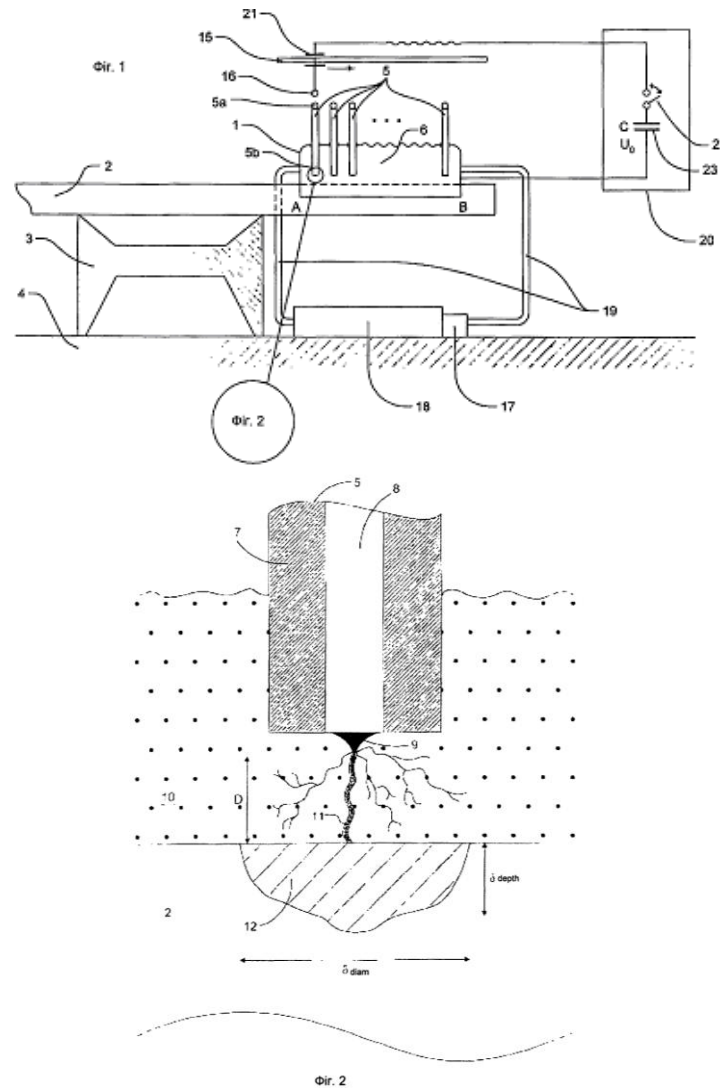
Наведені на Фіг.3 і 8 приклади форматів розпізнавального маркування є лише двома можливими прикладами з практично необмеженої кількості можливих форматів коду. Більше того, навіть коли двійковий формат розпізнавального коду видається практично доцільним, принаймні на сьогодні, цей винахід передбачає також використання форматів розпізнавального коду, що базуються на недвійкових системах числення. Наприклад, при використанні легуючої властивості, описаної вище для деяких варіантів конструкції (в яких змінюються не лише структура матеріалу, а й його хімічний склад), з'являється можливість використання як основи системи числення не лише 2 (двійкова система), але й інших основ для розпізнавального коду. В цьому випадку перший тип хімічного складу у модифікованій зоні може відповідати першій цифрі в системі числення, в той час як другий хімічний склад - другій цифрі і т.д.

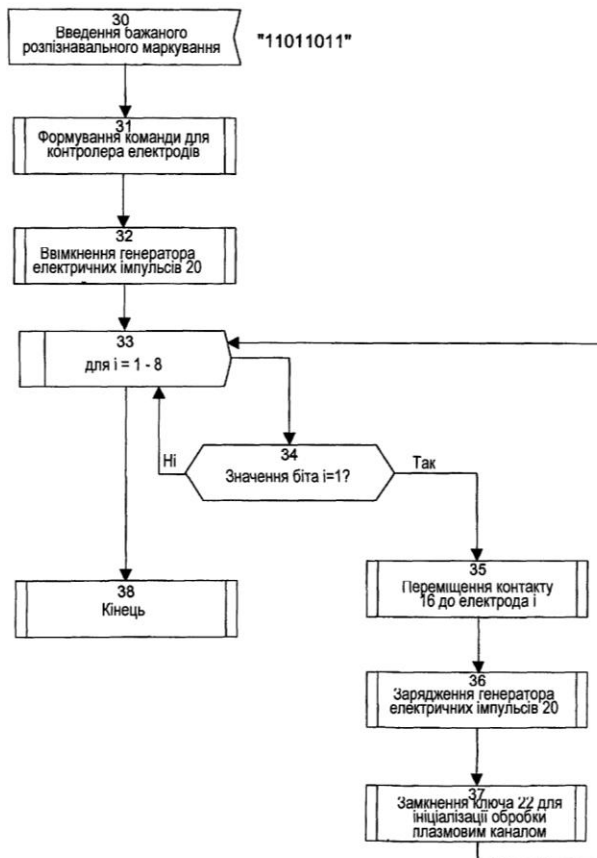
Що стосується конструкції окремих електродів 5, цей винахід, звичайно, не обмежується прикла-

дами, наведеними вище. Кількість, відстань і конструкція набору електродів 5 може варіюватися без яких-небудь обмежень в рамках цього винаходу залежно від конкретного застосування. Наприклад, замість використання набору електродів 5, можна використовувати всього лише один електрод 5, що рухається між відповідними позиціями розпізнавального коду для створення необхідного локального маркування.

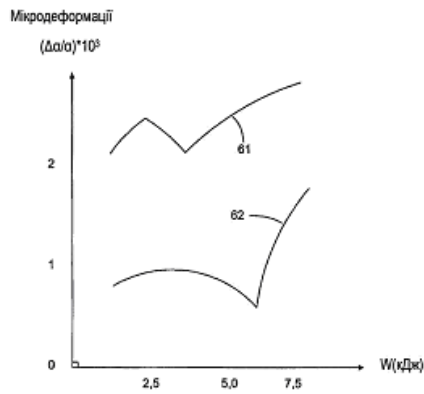
Нарешті, знову наголошується на тому, що цей винахід в жодному разі не обмежується сталевими матеріалами або трубами. Практично на будь-якому об'єкті з електропровідного матеріалу з кристалічною структурою можна у принципі створити розпізнавальне маркування відповідно до винаходу.

Цей винахід було описано вище з посиланням на деякі варіанти виконання. Однак, так само можливі й інші варіанти виконання в рамках цього винаходу, відмінні від тих, на які робилися посилання вище, які описані в незалежних пунктах формули винаходу, що додаються.

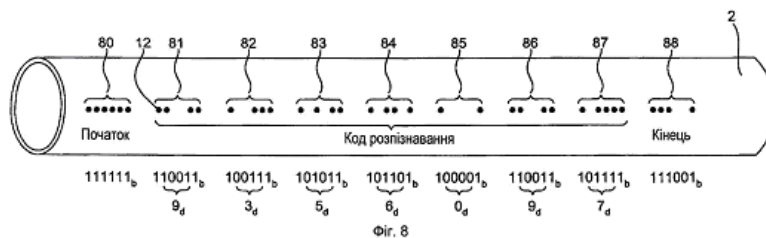




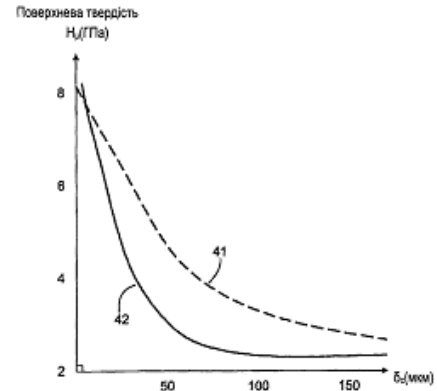
Фіг. 3



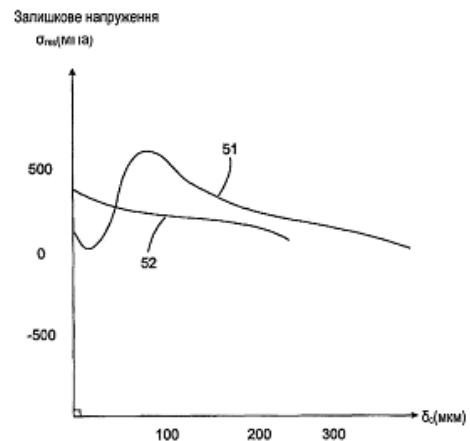
Фіг. 6



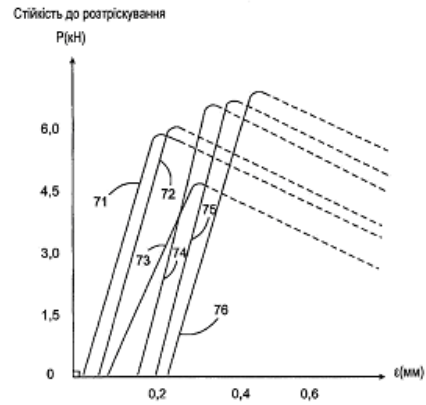
Фіг. 8



Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 7