



УКРАЇНА

(19) UA (11) 90378 (13) C2
(51) МПК (2009)
C21D 1/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИРОБІВ

1

(21) а200809410

(22) 18.07.2008

(24) 26.04.2010

(46) 26.04.2010, Бюл.№ 8, 2010 р.

(72) ТЮРІН ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ГОЛОВЕНКО
СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ, ДУДА ІРИНА МИХАЙЛІВНА(73) ТЮРІН ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ГОЛОВЕНКО
СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ, ДУДА ІРИНА МИХАЙЛІВНА

(56) SU 1064629 A1; 20.05.1997

SU 1312974 A1; 11.04.1984

SU 1470781 A1; 07.04.1989

SU 1560573 A1; 30.04.1990

RU 2077611 C1; 20.04.1997

RU 2095430 C1; 10.11.1997

RU 2138564 C1; 27.09.1999

RU 2006123385 A; 20.01.2008

US 6139656 A; 31.10.2000

Тюрин Ю.Н., Погребняк А.Д. Особенности электродитно-плазменной закалки (ЭПЗ) // Журнал технической физики. - 2002. - том 72, вып. 11. - С. 119-120.

(57) 1. Спосіб термічної обробки виробів, що включає термоциклічні зміни поверхні металічної деталі, що нагрівається плазмовим шаром, який утворюється між електролітом та поверхнею металічної деталі, шляхом підвищення і зниження електричного потенціалу між виробом й електролітом; який відрізняється тим, що електричний потенціал подають по затоплених струменях електроліту від електрода до виробу, його знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі сплаву вище температури фазових перетворень, і підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що нижче тем-

2

ператури фазових перетворень, кількість циклів зниження й підвищення потенціалу повторюють до досягнення необхідної глибини нагрітого шару, а загартування здійснюють відключенням підвищеного потенціалу.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що електричний потенціал подають по затоплених струменях електроліту, які мають сумарний переріз на електроді вище ніж на виробі в 5...10 разів.

3. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що максимальний потенціал електричної енергії між виробом й електролітом 260...340 В, мінімальний потенціал 180...220 В.

4. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що кількість циклів включення зниження й підвищення потенціалу електричної енергії повторюють до нагрівання шару глибиною 1...10 мм.

5. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що загартування здійснюють включенням потенціалу електричної енергії 10...40 В.

6. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що потенціал електричної енергії знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі сплаву на 100...200 °С вище температури фазових перетворень, і підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що на 100...200 °С нижче температури фазових перетворень.

7. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що електричний потенціал знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі плавлення сплаву, й підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, рівній точці Кюрі.

Винахід є спосіб термічної обробки та відноситься до галузі машинобудування, а саме до способів загартування виробів й може бути використаний в металургійному виробництві.

Відомий спосіб термічної обробки сталевих деталей SU №1064629 від 1997.05.20 МПК: C21D 1/74. Винахід відноситься до технології обробки металів й їхніх сплавів шляхом нагрівання поверхні деталі концентрованим джерелом енергії й може застосовуватися для загартування робочих частин ріжучих й інших інструментів (зубів пил,

мітчиків, викруток, зубил і т.п.), а також для відпалу, плавлення й зварювання металів та їхніх сплавів. Задача способу - підвищення продуктивності й ефективності процесу загартування деталей. Задача досягається тим, що на дно діелектричної ванни з рідиною-електролітом, поміщають підключений до джерела напруги електрод, що є анодом, який виконаний з матеріалу, що не випаровується. Оброблювана деталь підключається до другого полюса того ж джерела напруги і є катодом. Поверхня деталі підводиться до зіткнення з поверхнею

(13) C2

(11) 90378

(19) UA

електроліту до виникнення плазмової дуги й нагрівання нею деталі до гартівної температури з наступним відключенням напруги на момент занурення оброблюваної деталі в гартівне середовище. Пристрій для реалізації способу термічної обробки містить нерухомий неплавкий анод, що розміщений у глибині електроліту, залитого у ванну. Оброблювана деталь - інструмент є катодом. У зазорі між катодом-деталлю й анодом створюється напруженість електричного поля в об'ємі електроліту. Зіткнення деталі з поверхнею електроліту збуджує плазмову дугу, що формує парогазовий шар, що розділяє поверхню деталі - катода та поверхню електроліту (водяного розчину солі). Після нагрівання, охолодження робочих частин інструментів здійснювалося в електроліті. Пропонований спосіб плазмово-дугового зміцнення різального інструменту простий по своїй сутності, економічний.

Недоліком цього відомого способу є високі напруги в загартованому шарі, низька ударна міцність, що обумовлено труднощами керування температурою нагрівання, високою швидкістю нагрівання й охолодження.

Цей спосіб термічної обробки має обмежене застосування для обробки високовуглецевих сталей, тому що високі градієнти температур спричиняють утворення високих напруг.

Відомий також спосіб обробки поверхонь і пристрій для його здійснення RU № 2077611 від 1997.04.20 МПК: C25D5/00, що включає розміщення виробів в електропровідному середовищі - електроліті на деякій відстані від електроду-аноду, і подальший вплив на його поверхню за допомогою електричних розрядів. На поверхні виробу створюють шар електророзрядної плазми, для чого анод встановлюють еквідистантно оброблюваній поверхні. При цьому в аноді рівномірно по всій площі виконують канали для примусової подачі електроліту в зону обробки, а в міжелектродному просторі додатково встановлюють елемент для рівномірного розподілу потоку електроліту на оброблюваній поверхні. Анод виготовляють із хімічно-інертного матеріалу, наприклад вуглецю, а значні по площі плоскі об'єкти обробляють із двох сторін одночасно, для чого даний об'єкт розміщують між двома паралельно встановленими анодами.

Цей спосіб, так само як і попередній застосовується для обробки поверхні виробів з вуглецевих сплавів. Він характеризується високою швидкістю нагрівання, відсутністю контролю й керування температурою нагрівання поверхні, що ускладнює дотримання технологічних режимів.

Недоліком цього відомого способу, також як і попереднього, є високі напруги в загартованому шарі через високу швидкість нагрівання й охолодження.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу є спосіб термічної обробки виробів, що включає термоциклічний вплив шляхом підвищення і зниження електричної напруги на електродах на 50-100В А.С. №1312974 пріоритет від 11.04.84 МПК: B21D 1/78, C21D 1/74.

Цей спосіб припускає істотне поліпшення фі-

зико-механічних властивостей сплавів за рахунок періодичного нагрівання й охолодження поверхні виробу електричною напругою між електролітом і поверхнею виробу. Зміна напруги на 50... 100В забезпечує зміни режиму нагрівання поверхні. При низькій напрузі знижується щільність енергії в електричних розрядах. Нагрівання поверхні зменшується, плазмовий шар вироджується. Підвищення напруги збільшує щільність енергії в електричних розрядах й, відповідно, збільшується нагрівання поверхні.

До недоліків цього відомого способу - прототипу відноситься те, що він не передбачає можливості керування температурою поверхневого шару. Відсутність у способі істотних ознак, які забезпечують автоматизацію процесу термоциклювання, а також керування й контроль температури сплаву обмежує його область застосування. Крім того, у способі немає ознак, які регламентували би режим термоциклювання й метод керування термоциклювання. Спосіб-прототип не має також ознак, які служили би для інтенсифікації процесу нагрівання, шляхом збільшення гідродинамічної складової провідності електроліту.

Задача, що розв'язує винахід є створення системи керування й контролю термоциклюванням, а також збільшення ефективності нагрівання.

Для реалізації запропонованого способу розроблений пристрій для термічної обробки, що має безконтактний датчик для виміру температури поверхні виробу й систему керування нагріванням.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб термічної обробки виробів, містить у собі відомі за прототипом ознаки - це термоциклювання в електроліті шляхом підвищення, що чергується, із зниженням електричного потенціалу між виробом й електролітом, а також істотні відмінні ознаки: це те, що електричний потенціал подають по затоплених струменях електроліту від електрода до виробу, його знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі сплаву вище температури фазових перетворень, і підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що нижче температури фазових перетворень, а кількість циклів включення зниження й підвищення потенціалу повторюють до досягнення необхідної товщини нагрітого шару, загартовування здійснюють відключенням підвищеного потенціалу при випромінюванні поверхні відповідної максимальної температури сплаву.

Крім того до істотних відмінних ознак відноситься те, що електричний потенціал подають по затоплених струменях електроліту, які мають сумарний перетин на електроді вище чим на виробі в 5...10 разів, а максимальний потенціал між виробом й електролітом становить 260...340В, мінімальний потенціал становить 180...220В.

До істотних відмінних ознак відноситься також те, що кількість циклів включення зниження й підвищення потенціалу повторюють до нагрівання поверхневого шару товщиною 1...10мм, а загартовування здійснюють включенням електричного потенціалу 10...40В.

При виконанні способу істотною ознакою є також те, що електричний потенціал знижують при

випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі сплаву на 100...200°C вище температури фазових перетворень і підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі поверхні сплаву, що на 100...200°C нижче температури фазових перетворень.

При обробці низьковуглецевих сталей максимальний ефект зміцнення досягається тоді, коли електричний потенціал знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі плавлення сплаву й підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву рівного крапці Кюрі.

Запропонований винахід містить у собі істотні ознаки відомі раніше по сукупності з іншими ознаками, що забезпечують інший ефект. Це наступні ознаки: нагрівання здійснюють електричними розрядами через шар плазми в зазорі між поверхнею електроліту й оброблюваною поверхнею й те, що кількість імпульсів періодичного зниження й підвищення напруги електричного потенціалу в міжелектродному зазорі багаторазово повторюють, а охолодження здійснюють електролітом на водній основі.

Для підвищення якості обробки поверхні термоциклюванням були введені у винахід нові істотні ознаки: електричний потенціал подають по затоплених струменях електроліту від електроду до виробу, потенціал знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі сплаву вище температури фазових перетворень, і підвищують потенціал при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що нижче температури фазових перетворень; кількість циклів включення зниження й підвищення потенціалу повторюють до досягнення необхідної товщини нагрітого шару; загартування здійснюють відключенням підвищеного потенціалу при випромінюванні поверхні відповідної максимальної температури сплаву.

Сукупність відомих і невідомих відмінних ознак, що включають подачу електричного потенціалу по затоплених струменях електроліту, зниження потенціалу при випромінюванні від виробу, що відповідає температурі сплаву вище температури фазових перетворень, і підвищення потенціалу при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що нижче температури фазових перетворень, а також повторення кількості циклів зниження й підвищення потенціалу до досягнення необхідної товщини нагрітого шару й здійснення загартування, шляхом відключення підвищеного потенціалу при випромінюванні поверхні відповідної максимальної температури сплаву забезпечує формування на поверхні виробу шару з підвищеною твердістю й пластичністю.

Для підвищення ефективності обробки, шляхом збільшення провідності струменю електроліту, у спосіб застосована також істотна ознака, що регламентує геометричні співвідношення затоплених струменів електроліту - сумарний перетин струменів на електроді повинне бути вище ніж на виробі в 5...10 разів, а величини електричного потенціалу змінюються в діапазоні максимального 260...340В й мінімального 180...220В.

Підвищення ефективності термоциклічної обробки забезпечується також тим, що у винахід введені такі відмінні ознаки, як те, що кількість циклів включення зниження й підвищення потенціалу повторюють до нагрівання шару, товщиною - 1...10мм, а загартування здійснюють включенням електричного потенціалу 10...40В.

Високовуглецеві сплави ефективно обробляються при виконанні наступних істотних ознак - електричний потенціал знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі сплаву на 100...200°C вище температури фазових перетворень і підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що на 100...200°C нижче температури фазових перетворень.

При обробці низьковуглецевих сталей максимальний ефект зміцнення досягається тоді, коли електричний потенціал знижують при випромінюванні від поверхні виробу, що відповідає температурі плавлення сплаву й підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву рівного крапці Кюрі.

Дотримання цих істотних ознак забезпечує ефект багаторазового здрибнювання зерна аустеніту й гомогенізацію аустеніту перед загартуванням, що збільшує ударну в'язкість зміцненого шару. Висока швидкість нагрівання й охолодження забезпечується нагріванням за допомогою електричних розрядів при напрузі між поверхнею електроліту на водній основі й виробу 280...320В й 180...220В. Для одержання товщини зміцненого шару до 10мм, що відповідає допуску на зношування виробу, кількість циклів нагрівання й охолодження повторюють 5...20 разів, а остаточне охолодження здійснюють електролітом на водній основі при напрузі між поверхнею електроліту на водній основі й виробу 20...40В. Це забезпечує охолодження з досить низькою швидкістю, щоб уникнути одержання гартівних тріщин.

Крім того, обробка поверхні виробу термічними циклами забезпечує пошарову зміну твердості поверхні або чергування твердих шарів і шарів зі зниженою твердістю. Подібна будова поверхневого шару по властивостях міцності наближається до характеристик «булатної» сталі.

Особливістю пропонованого способу є гнучкість керування режимом термоциклювання. Залежно від вимог технології можливе перемикання напруги з режиму нагрівання в режим охолодження при формуванні потоку випромінювання від поверхні виробу, що має довжину хвилі, характерну для випромінювання сплаву що має температуру вище температури фазових перетворень сплаву на 200...300°C, а перемикання в режим нагрівання з режиму охолодження, при формуванні випромінювання від поверхні виробу, що має довжину хвилі, характерну для випромінювання сплаву при температурі нижче температури перетворень на 50...60°C. Можливо також зміна завдання й здійснення перемикання напруги при інших режимах перегріву або охолодження поверхневого шару.

Для зміцнення високовуглецевих сталей, де необхідно жорстко регламентувати швидкість охо-

лодження нагрітого шару, охолодження виробу здійснюють електролітом на водній основі при напрузі між електродами 20...40В з максимальної й(або) мінімальної температури поверхні виробу. Керування процесом охолодження, згідно винаходу пропонується здійснювати за допомогою аналізу потоку випромінювання від нагрітої поверхні й формування керуючого сигналу в автоматизованій системі керування. Наприклад, при довжині хвилі, характерної для випромінювання сплаву що має температуру вище температури фазових перетворень сплаву на 200...300°C, напруга перемикається на режим охолодження після виконання заданої кількості циклів нагрівання й охолодження.

Високовуглецеві інструментальні сталі можливо охолоджувати також електролітом на водній основі при напрузі між електродами 20...40В з мінімальної температури поверхні виробу, при формуванні потоку випромінювання що має довжину хвилі, характерну для випромінювання сплаву що має температуру нижче температури фазових перетворень сплаву на 50...60°C.

Електричні розряди формують у шарі плазми, що утвориться між хвилеподібною поверхнею електрода з електроліту на водній основі й гладкій оброблюваній поверхні. Амплітуда хвиль на поверхні рідкого електрода змінюється залежно від витрати електроліту й досягає 1...2мм.

Формування рідкого електролітного електрода із системи затоплених струменів забезпечує хвилеподібність поверхні й коливання величини зазору в межах 0,1-2мм. Це забезпечує створення змінної напруженості електричного струму в міжелектродному зазорі (100 000-150 000В/м) й пробої шару плазми електричними розрядами з дифузійною прив'язкою до поверхні рідкого електрода.

Застосування способу в повному обсязі забезпечує високу якість термоциклічної обробки й надійність виконання технології обробки виробів з різних сплавів.

Установка містила датчик, встановлений в корпусі нагрівача, який уловлював випромінювання від нагрітої поверхні. Інтенсивність нагріву визначається за допомогою спеціальної аналогової сис-

теми, яка видає керуючий сигнал на автоматизовану систему керування перетворювачем електричного струму. Залежно від температури поверхні, датчик перетворює зміну у відповідний сигнал, а аналогова система виробляє керуючий сигнал на перетворювач електричного струму, забезпечуючи відповідний режим термоциклічної обробки.

Перетворювач електричного струму, залежно від керуючого сигналу, видавав на нагрівач різний, заздалегідь установлений потенціал. Високий електричний потенціал установлювався в діапазоні 280-320В, знижений потенціал установлювався 180-220В, а низький установлювався 20-40В.

Автоматизована система керування забезпечувала сигнал на перемикання потенціалу при характерному випромінювання поверхні, що відповідало б заданим параметрам керування технологією.

Приклад 1

Наприклад, зразки зі сплаву на основі заліза (0,4% С) піддавали термоциклічній обробці по заявленому способу. Пристрій для термоциклічної обробки відповідав вище наведеному опису. Міжелектродний зазор установлювався Н - 35мм. На перетворювачі електричної енергії встановлювався високий електричний потенціал - 320В, знижений потенціал встановлювався 200В, а низький встановлювався 30В.

Автоматизована система програмувалася на перемикання з високого на низький потенціал при досягненні рівня випромінювання, що відповідає температурі поверхні, що відповідає температурі сплаву на 100...200°C вище температури фазових перетворень і підвищують при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що на 100...200°C нижче температури фазових перетворень.

Змінювалося співвідношення перетинів затоплених струменів електроліту на аноді й поверхні виробу. Термоциклічна обробка проводилася, при сумарному перетині на електроді вище чим на виробі в 1; 3; 5; 10 й 15 разів. Ефективність термоциклічної обробки визначалася по товщині зміцненого шару, отриманого за 20 секунд обробки. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№ п\п	Співвідношення між сумарними перетинами затоплених струменів електроліту на електродах	Товщина зміцненого шару, мм	Примітка
1	1	3	Ерозія аноду
2	3	4	Ерозія аноду
3	5	5	
4	10	5	
5	15	5	
6	20	5	

Результати експерименту показали, що найбільш оптимальне співвідношення сумарного перетину затоплених струменів електроліту на електродах, по яких подають електричний потенціал вище ніж на виробі в 5... 10 разів. Зменшення співвідношення веде до втрат енергії й ерозії електрода-анода. Збільшення співвідношення понад 10 не

дає технічного ефекту, але ускладнює конструкцію нагрівача.

Приклад 2

Приклад 2, здійснювався на тих самих режимах і з використання того ж устаткування, що й приклад 1. Технологію термоциклічної обробки здійснювали при співвідношенні сумарного пере-

тину затоплених струменів електроліту - 10 разів.

Змінювався максимальний потенціал і мінімальний потенціал між виробом й електролітом у діапазоні для максимального 240...360В, для мінімального потенціалу в діапазоні 140...250В, а

для низького в діапазоні 10...60В. Ефективність обробки визначалася по товщині й твердості зміцненого шару, отриманого за 20 секунд обробки. Результати наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

№ п/п	Електричний потенціал, В			Зміцнений шар		Примітка
	Max	Min	Cool	Товщина, мм	Твердість, МПа	
1	240	220	30	-	-	НН
2	260	220	30	-	-	НН
3	280	220	30	-	-	НРН
4	300	220	30	3	650	
5	320	220	30	5	860	
	340	220	30	6	880	
	360	220	30	-	-	ППС
	320	160	30	-	-	НН
	320	180	30	2	600	
	320	200	30	3	700	
	320	220	30	5,3	860	
	320	240	30	5,5	870	
	320	260	30	-	-	ППС
	320	200	10	3	900	
	320	200	20	3	890	
	320	200	30	3	870	
	320	200	40	3	700	
	320	200	50	3	600	
	320	200	60	3	500	

НН - Немає нагрівання поверхні.

НРН - Нестійкий режим нагрівання.

ППС - Пробій плазмового шару.

Результати експерименту показали, що найбільш оптимальне співвідношення електричних потенціалів між електродом анодом і поверхнею деталі в діапазоні 300...340В, мінімальне в діапазоні 200...220В і охолодження 20...40В. Збільшення потенціалу спричиняє перегрів поверхні й(або) пробій плазмового шару, зниження потенціалу спричиняє порушення режиму нагрівання. Потенціал при охолодженні впливає на швидкість охолодження й при низькому потенціалі виходить тверда поверхня з високим рівнем напруг. При високому потенціалі швидкість охолодження низька, що не забезпечує повного загартування.

Приклад 3

Приклад 3, здійснювався на тих же режимах і з використання того ж устаткування, що й приклад 1. Технологію термоциклічну обробку здійснювали при співвідношенні сумарного перетин затоплених струменів електроліту - 10 разів.

Установлювався максимальний потенціал 320В і мінімальний потенціал 220В між виробом й електролітом, для охолодження приймався потенціал 30В.

Змінювалися настройки керуючим потенціалом системи. Ці настройки в першому випадку забезпечували те, що електричний потенціал знижували при випромінюванні від виробу, що відповідає температурі сплаву на 100...200°C вище температури фазових перетворень і підвищували при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що на 100...200°C нижче температури фазових перетворень.

У другому випадку настройки забезпечували зниження електричного потенціалу при випромінюванні від виробу, що відповідає температурі плавлення сплаву й підвищували при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву рівного точці Кюрі

Ефективність термоциклічної обробки оцінювалася за графіком зміни твердості зміцненого шару, а також по товщині й твердості зміцненого шару отриманого за 30 секунд обробки. Результати наведені на мал. 2 й у таблиці 3. Кожен результат у таблиці усереднювався по п'ятих вимірах.

Таблиця 3

№ п. п.	Глибина шаруючи, де вимірялася твердість, мм	Твердість шаруючи після варіантів обробки, МПа	
		Варіант - 1	Варіант - 2
1	0	830	860
2	5	810	730
3	1,0	820	880
4	1,5	760	710
5	2,0	840	900
6	2,5	780	680
7	3,0	810	870
8	3,5	850	720
9	4,0	770	840
10	4,5	820	760
11	5,0	790	820
12	5,5	680	750
13	6,0	560	700
14	6,5	400	620

Експерименти показали, що залежно від настройки керуючої системи на поверхні утворюється зміцнений шар з різними властивостями. Перший експеримент: настройка системи керування по варіанту - 1 (див. таблицю 3) так, щоб електричний потенціал знижували при випромінюванні від виробу, що відповідає температурі сплаву на 100...200°C вище температури фазових перетворень і підвищували при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву, що на 100...200°C нижче температури фазових перетворень. Результати експерименту показали, мал. 2, що твердість поверхні змінюється по товщині й ці зміни в межах 50 од. HRC твердості.

Другий експеримент це настройка системи керування по варіанту - 2 (див. таблицю 3) так, щоб електричний потенціал знижували при випромінюванні від виробу, що відповідає температурі плавлення сплаву й підвищували при випромінюванні, що відповідає температурі сплаву рівній точці Кюрі. Більша амплітуда температур нагрівання й охолодження обумовила утворення шаруватої структури на поверхні зразка, де під твердим шаром

розміщався більш м'який на 200...250 од. У зміцненому шарі, товщиною 5мм, розмістилося до 5 твердих прошарків.

Подібна геометрія зміцненого шару дозволяє одержувати на поверхні виробу зміцнені шари, типу «булатне зміцнення», де тверді шари будуть сприймати навантаження, а м'які будуть забезпечувати релаксацію напруг.

Запропонований спосіб і пристрій для його реалізації забезпечують одержання принципово нового - шаруватого поверхневого шару, що має кілька твердих шарів, що чергуються із шарами більше м'якими. Це забезпечує релаксацію напруг і підвищення фізико-механічних властивостей поверхні виробів.

При його здійсненні, у порівнянні із прототипом, забезпечується повна автоматизація керування режимом зміцнення і якістю виробу.

Крім того заявлений спосіб відповідає екологічно чистим і ресурсозберігаючим методам обробки й при широкому освоєнні в промисловості забезпечить багаторазову економію енергії.