

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 151554

СПОСІБ КОМБІНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей  
10.08.2022.

В.о. Генерального директора  
Державного підприємства  
«Український інститут  
інтелектуальної власності»

О.В. Опанасенко



(19) UA

(51) МПК (2022.01)  
C23C 8/68 (2006.01)  
C23C 8/70 (2006.01)  
B23K 26/00

(21) Номер заявки: u 2022 01257

(22) Дата подання заявки: 14.04.2022

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 11.08.2022

(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня: 10.08.2022, Бюл. № 32

(72) Винахідники:  
Чернета Олег Георгійович, UA,  
Авер'янов Володимир Сергійович, UA,  
Сасов Олександр Олександрович, UA,  
Середа Борис Петрович, UA,  
Кубіч Вадим Іванович, UA,  
Лисенко Олександр Борисович, UA

(73) Володілець:  
ДНІПРОВСЬКИЙ  
ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
вул. Дніпробудівська, 2, м.  
Кам'янське, Дніпропетровська  
обл., 51918, UA

(54) Назва корисної моделі:

**СПОСІБ КОМБІНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ**

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб комбінованої модифікації поверхні деталі, що включає борування поверхні деталі і променеву обробку поверхні після борування, який відрізняється тим, що борування здійснюють в печі в середовищі боровмісних речовин при температурі 850 °С з витримкою 7 годин, а променеву обробку здійснюють імпульсним лазером при енергії накопичення  $E=28$  кДж діаметром лазерного пучка 8 мм, з коефіцієнтом перекриття зон обробки 15 % та тривалості імпульсу лазерного випромінювання  $1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-3}$  с і з відстанню до мішені 70 мм.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
Державне підприємство  
«Український інститут інтелектуальної власності»  
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 1944100822 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документу та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа Укрпатенту



10.08.2022

I.Є. Матусевич



УКРАЇНА

(19) UA (11) 151554 (13) U

(51) МПК (2022.01)

C23C 8/68 (2006.01)

C23C 8/70 (2006.01)

B23K 26/00

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

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2022 01257</b>	(72) Винахідник(и): <b>Чернета Олег Георгійович (UA), Авер'янов Володимир Сергійович (UA), Сасов Олександр Олександрович (UA), Середа Борис Петрович (UA), Кубіч Вадим Іванович (UA), Лисенко Олександр Борисович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>14.04.2022</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>11.08.2022</b>	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>10.08.2022, Бюл.№ 32</b>	(73) Володілець (володільці): <b>ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, Дніпропетровська обл., 51918 (UA)</b>

**(54) СПОСІБ КОМБІНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ**

**(57) Реферат:**

Спосіб комбінованої модифікації поверхні деталі включає борування поверхні деталі і променевою обробку поверхні після борування. Борування здійснюють в печі в середовищі боровмісних речовин при температурі 850 °С з витримкою 7 годин, а променевою обробку здійснюють імпульсним лазером при енергії накопичення  $E=28$  кДж діаметром лазерного пучка 8 мм, з коефіцієнтом перекриття зон обробки 15 % та тривалості імпульсу лазерного випромінювання  $1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}$  с і з відстанню до мішені 70 мм.

UA 151554 U

Корисна модель стосується технологій борування і лазерної обробки металів і може бути використана для зміцнення поверхонь деталей у машинобудівному виробництві.

Відомий спосіб лазерного насичення бором або кремнієм поверхневих шарів металів і сплавів, що включає процес насичення поверхні кремнієм, бором або їх сумішшю з твердофазних порошкових обмазок за допомогою випромінювання оптичних квантових генераторів. Великий вплив на властивості лазерно-легованих поверхневих шарів надає процес практично миттєвого поглинання енергії при лазерній обробці, який призводить до генерації хвиль напруги, що пришвидшує процес масопереносу легуючих елементів з покриттів в основний метал і до високотемпературної локальної пластичної деформації мікрооб'ємів металу. Також включення силіцидів, боридів, борокарбідів в поверхневих шарах матеріалів сприяють локалізації пластичної деформації шляхом взаємодії з рухомими в площинах ковзання дислокаціями і виникненню локальних пластичних ротацій [А.Г. Григорьянц, И.Н Шиганов, А.И. Мисюров. Лазерная обработка. - М.: Изд-во МГТУ, 2006].

Недоліком відомого способу є те, що навколо включень утворюються складно деформовані дисипативні структури, в яких спостерігається збільшення мікроступорень і зменшення блоків, тобто виявляються локальні наноструктурні ефекти. Зокрема, борування викликає появу залишкової стискуючої напруги до 0,50-10,0 ГПа.

Відомий спосіб борування із обмазок з використанням лазерного нагріву. На поверхню наносять обмазку, що складається з порошку аморфного бору і клею БФ-2 з додатком ацетону. Потім проводять обробку лазером за режимами:  $P=1-3$  кВт, швидкість пересування зразка під променем  $v=1,5-13,75$  мм/с, діаметр плями обробки  $d_n=2-6$  мм. В результаті обробки на поверхні утворюються шари товщиною 100-300 мкм із складом  $FeB+Fe_2B+Fe_3B$  [Сафонов А.Н. Особенности борування железа и сталей за допомогою непрерывного  $CO_2$ -лазера. //МиТОМ, 1998].

Недоліком даного способу є, те що поверхня при цьому має вкрай нерівний рельєф, а боровані зони нагадують кратери.

Відомий спосіб поверхневого зміцнення виробів із сталі, що включає нанесення покриттів з наступною лазерною обробкою, який відрізняється тим, що покриття наносять з осадженням хрому при катодній щільності струму 3,5-5,5  $mA/mm^2$  терміном 60-90 хв із водного електроліту або з формуванням шару боридів заліза при температурі 800-1000 °С терміном 150-180 хв із сольового розчину, а лазерну обробку проводять в режимі імпульсного випромінювання з питомою потужністю 2,4-2,6  $kW/mm^2$  і швидкістю сканування 1,75-2,25 мм/с. [Патент РФ № 2251594, С25D 5/48, С23C 8/80, 2005].

Недоліком способу є неможливість контролювати шорсткість поверхні деталі, процеси структуроутворення, концентрацію легуючих елементів в поверхневих шарах в зоні лазерної обробки.

Відомий також, вибраний як найближчий аналог, спосіб комбінованого борування вуглецевої сталі, що включає борування при температурі 940 °С терміном 3 год. в контейнері з плавким затвором з насиченою сумішшю, що складаються із 100 %  $B_4C$ , який відрізняється тим, що після борування додатково проводять обробку поверхні електронним пучком у вакуумі при  $P=2 \cdot 10^{-3}$  Па протягом 15-50 с при питомій потужності  $2,9 \cdot 10^4$  Вт/см. [патент РФ № 2210617, С23C 8/70, С23C 8/80, 2003].

Недоліком даного способу є неконтрольований процес структуроутворення і неможливість забезпечити однорідний поверхневий шар з наданими фізико-механічними характеристиками.

Крім того, додаткова електронно-променева обробка поверхні внаслідок відносно довготривалості дії випромінювання на поверхневий шар негативно впливає на процеси структуроутворення.

Відомий спосіб обробки сталевих виробів, що включає попередню обробку сталевих виробів перед формуванням боридного шару у контейнері із плавким затвором, який відрізняється тим, що попередню обробку цих виробів проводять в електролітній плазмі при розряді у водному розчині електроліту при щільності струму 0,3-0,8  $A/cm^2$ , напрузі 40-80 В протягом 15-20 хвилин з наступним насиченням вказаних виробів в порошковій суміші, що містить 18 мас. %  $B_4C$ , 3 мас. %  $NaF$  та решта - карбюризатор, при температурі 920-940 °С впродовж 3,5-4 годин [Патент України № 99119, МПК С23C 8/70, С23C 8/68, С23C 8/02, 2012].

Недоліком даного способу є те, що в поверхневий шар сталі разом з бором попадають інші компоненти суміші насичення, які не створюють фази зміцнення, і в той же час забруднюють мікроструктуру борованого шару.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу комбінованої модифікації поверхні деталі шляхом об'єднання двох послідовних операцій - насичення поверхневого шару бором в печі з утворенням надмічних фаз  $FeB$ ,  $Fe_2B$  та наступної лазерної

обробки при оптимальних режимах, які забезпечують перекристалізацію структур поверхневого шару, внаслідок чого підвищується характеристики міцності і зносостійкості.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі комбінованої модифікації поверхні деталі, що включає борування поверхні деталі і променеву обробку поверхні після борування, яке здійснюють в печі в середовищі боровмісних речовин при температурі 850 °С з витримкою 7 годин, а променеву обробку здійснюють імпульсним лазером при енергії накопичення  $E=28$  кДж діаметром лазерного пучка 8 мм, з коефіцієнтом перекриття зон обробки 15 %, та тривалості імпульсу лазерного випромінювання  $1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-3}$  с і з відстанню до мішені 70 мм.

При боруванні в печі відбувається насичення поверхневого шару бором на глибину 25 мкм. Наступний етап при модифікації поверхні - це обробка імпульсним лазером однорідної насиченої бором поверхні з зберіганням геометричних параметрів. Голчаста мікроструктура поверхневого борованого шару під дією лазерного випромінювання руйнується. Кристалічні голки мікроструктури подрібнюються і виникають нові структури гарту в поверхневих шарах типу карбоборидів  $Fe(CB)$ ,  $Fe_2(CB)$ . Знижуються на 20 % над високі напруження кристалічної решітки і мікротвердість  $H_{\mu 50}=14000$  мПа в поверхневому шарі. Надтвердий голкоподібний борований шар після лазерної обробки перетворюється на більш менші утворення, а накопичення боридів  $FeB$ ,  $Fe_2B$  трансформуються у карбобориди типу  $Fe(CB)$ ,  $Fe_2(CB)$  із зменшенням твердості поверхневого шару на 15-20 % (фото 2). При цьому пропорційно підвищується пластичність матеріалу, що позитивно впливає на загальні характеристики міцності і зносостійкості. Утворення тих чи інших фаз здійснюється миттєво, енергія імпульсної обробки розсіюється по глибині і площі з утворенням проміжних фаз, які із-за надшвидких процесів нагріву і остигання не забезпечують повного циклу перебудови кристалічної решітки, що відбувається при звичайному нагріві термічної обробки. Як наслідок, безпосередньо в зоні лазерного впливу, виникають високі внутрішні напруження в кристалічній решітці, порушення росту кристалів і дефекти, які пов'язані з накопиченням центрів утворення і хаотичним ростом кристалів. Отже лазерна обробка сприяє суттєвому подрібненню кристалів з утворенням нових фаз і структур, які при надшвидких процесах нагріву і остигання консервують новоутворення в обмежених об'ємах.

Коливання величин накопичення енергій менше ніж  $E=28$  кДж призводить до неповної перекристалізації структур поверхневого шару, наявність зон без впливу лазерного випромінювання. При використанні енергій більше  $E=28$  кДж призводить до неконтрольованого оплавлення локальних зон, порушення і руйнації мікрогеометрії поверхневого шару, виникнення кратерів і інших дефектів поверхневого шару. При коливанні коефіцієнта перекриття менш ніж 10 % окремі локальні зони не попадають під зону лазерного впливу, а більш ніж 30 % призводить до порушення балансу складових компонентів і борованого шару і неконтрольованих процесів гарту і подвійного гартування. Діаметр лазерної плями і відстань до мішені впливає на фокусування енергетичного потоку лазерного променя і сприяє досягненню максимального ефекту. При відстані до мішені менше або більше 70 мм - не відбувається фокусування максимального енергетичного потоку, а це сприяє розсіюванню променя - тобто процесу зміцнення не відбувається.

На кресленні надана принципова схема здійснення запропонованого способу комбінованої модифікації поверхні деталі, де 1 - поверхня деталі, що оброблюється, 2 - електрична піч для борування, 3 - електричний нагрівальний прилад, 4 - твердотільний імпульсний лазер.

Заявлений спосіб здійснюється наступним чином. Підготовлену поверхню деталі 1 в спеціальному контейнері завантажують в електричну піч 2 для хіміко-термічної обробки - борування (Б). Електричний нагрівальний прилад 3 забезпечує підтримку температури в печі  $T=850$  °С з витримкою 7 годин в середовищі боровмісних речовин. Другий етап процесу зміцнення - лазерна обробка (ЛО) борованого шару за наданими режимами при енергії накопичення  $E=28$  кДж, діаметрі лазерного пучка 8 мм, з коефіцієнтом перекриття зон обробки 15 %, з тривалістю імпульсу  $1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-3}$  с і з відстанню до мішені 70 мм. Після закінчення обробки поверхня деталі очищується від продуктів нагару та окислення.

На фото 1 наведена структура борованого шару без додаткової променевої обробки, на фото 2 - структура борованого шару з лазерною обробкою поверхні імпульсним лазером. З мікроснімків структури борованого шару без додаткової променевої обробки видно, як чітко віддзеркалюється поверхнева борована зона товщиною до 20 мкм з наявністю боридів типу  $FeB$  (65 %) і під ним прошарок до 40 мкм з боридами типу  $FeB$  (65 %) і  $Fe_2B$  (20 %)). Остання зона борованого шару 60-80 % має меншу концентрацію боридів, а мікроструктура підшарової зони має феритно-перлітну структуру.

Як можна спостерігати, борована поверхня, що модифікована лазером має більш зглажену поверхню, що пояснюється наявністю в поверхневому шару більшості боридів Fe<sub>2</sub>B (70 %), які мають подрібнену мікроструктуру.

5 Мікротвердість цієї структури менше до H<sub>μ50</sub>=14000 МПа ніж H<sub>μ50</sub>=16000 МПа (для FeB), а зносостійкість підвищується внаслідок зменшення поверхневих напружень, що висвітлено в таблиці. За максимальну зносостійкість приймається одиниця, а ступінь різних зон поверхневого шару без обробки, після борування і подальшою лазерною обробкою коливається від [0,2] до [0,9].

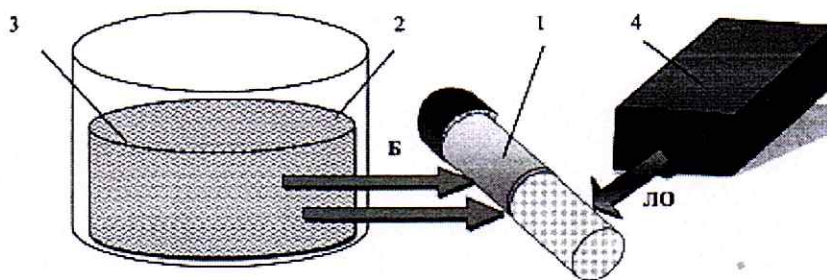
Таблиця

Товщина зміцненого шару	Зміцнюючі фази (зносостійкість)		
	Без обробки	Борування	Борування+Лазерна обробка
	Зносостійкість	Зносостійкість	Зносостійкість
h=20 мкм	Ф+П [0,3]	FeB (65 %) Fe <sub>2</sub> B (20 %) [0,7]	FeB (10 %) Fe <sub>2</sub> B (70 %) [0,9]
h=40 мкм	Ф+П [0,2]	FeB (40 %) Fe <sub>2</sub> B (40 %) [0,7]	FeB (10 %) Fe <sub>2</sub> B (70 %) [0,9]
h=60 мкм	Ф+П [0,2]	FeB (30 %) Fe <sub>2</sub> B (40 %) [0,7]	Fe(CB), Fe <sub>2</sub> (CB) [0,8]
h=80 мкм	Ф+П [0,2]	Ф+П [0,3]	Fe(CB), Fe <sub>2</sub> (CB) [0,8]

10 Таким чином, запропонований спосіб комбінованої модифікації поверхні деталі дозволяє одержати більш технологічні надміцні структури з широким спектром фізико-механічних характеристик.

15 **ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ**

20 Спосіб комбінованої модифікації поверхні деталі, що включає борування поверхні деталі і променевою обробку поверхні після борування, який відрізняється тим, що борування здійснюють в печі в середовищі боровмісних речовин при температурі 850 °С з витримкою 7 годин, а променевою обробку здійснюють імпульсним лазером при енергії накопичення E=28 кДж діаметром лазерного пучка 8 мм, з коефіцієнтом перекриття зон обробки 15 % та тривалості імпульсу лазерного випромінювання 1·10<sup>-3</sup>-2·10<sup>-3</sup> с і з відстанню до мішені 70 мм.



**Принципова схема**

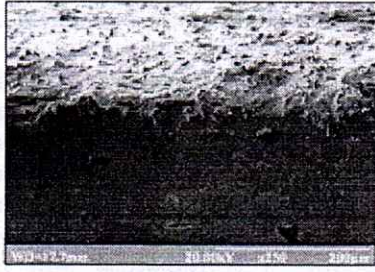


фото 1

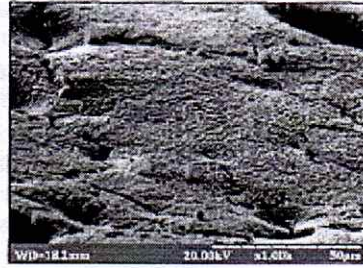


фото 2