

scheme is bringing spatial mechanism to flat. A simplified scheme is built for mechanisms to the plane of symmetry and load that acts in this plane. By the simplified scheme given approximately mechanisms arbitrary configuration. The analysis of the geometry and kinematics of the mechanism for its simplified scheme. Using the simplified scheme investigated static spatial system drive-type mechanism gexapod. Determined efforts to link mechanism arising under the influence of gravitational forces and security factors that determine the payload on the system. Useful load is presented in the form of power and steam action plane coincides with the plane of symmetry mechanism. For specific implementation mechanism set changes its geometric and force parameters that occur when you change the length of the drive. Determined how the position of individual components of the system and its center of mass. The effect of changing the length of each of the parts of the path of movement of the center of mass. This effect is nonlinear and depends on the initial configuration mechanism. The regularities of the so-called system of elementary movements, which are caused by changes in the length of each drive. Showing the effect of changing the sign payload efforts in some occasions. The conditions of linear dependence effort in the drive from the system parameters. Based on this set ranges rational moves some occasions.
spatial actuators, mechanism-gexapod scheme, balance the equation, simplified, kinematics, statics.

Одержано 22.10.14

УДК 621.891:631

В.В. Аулін, проф., канд. фіз.-мат. наук, С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет
А.П. Білик, доц., канд. техн. наук
Хмельницький національний університет

Трибофізичне та фізико-технологічне обґрунтування комбінованого функціонально-спрямованого зміцнення та модифікування деталей і робочих органів СГТ

Дано трибофізичне обґрунтування механізму зниження інтенсивності різних видів тертя та зношування деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки (СГТ) зміною адгезійних і підвищенням міцнісних властивостей зміцнених та модифікованих шарів з використанням впливу на матеріали лазерного випромінювання (ЛВ). При цьому враховано багатofакторність впливу ЛВ, закономірності формування структурно-фазових станів поверхневих шарів, міжфазних напружень та стимулювання утворення дислокацій та дефектів впакування, підвищення їх щільності та пересичення дефектами міжкристалітних областей, роль мало- і великокутових границь в структуроутвореннях, подрібнення зерен карбідів, оксидів та боридів, збільшення ступеню розчинності легувальних елементів. Виявлено, що механізм зміцнення і модифікування поверхневих структур у полі лазерного випромінювання визначається особливостями фізичних властивостей окремих фазових складових та характером міжфазних взаємодій.

Показано, що розв'язання проблеми підвищення зносостійкості деталей і робочих органів СГТ при використанні ЛВ базується на встановленні зв'язків між рівнями його енергетичного впливу та умовами трибомеханічного навантаження в процесі експлуатації. Сформульовано принципи фізико-технологічного обґрунтування функціонально-спрямованого зміцнення та розробки схеми комбінованого зміцнювального впливу на робочі поверхні деталі (робочого органу) СГТ. Для функціонально-спрямованого зміцнення та модифікування розроблені технології та технологічні схеми їх реалізації з використанням ЛВ. Запропонована технологія виготовлення деталей і робочих органів лазерним різанням. Наведені технологічні схеми та результати, що підтверджують ефективність розробленої технології та їх обґрунтування.

© В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.П. Білик, 2014

триботехнічне та фізико-технологічне обґрунтування, лазерне випромінювання, зміцнення, модифікування, функціонально-спрямоване зміцнення, лазерне різання, знос, самоорганізація

В.В. Аулин, проф., канд. физ.-мат. наук, С.В. Лысенко, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

А.П. Билык, доц., канд. техн. наук

Хмельницкий национальный университет

Трибофизическое и физико-технологическое обоснование комбинированного функционально-направленного упрочнения и модифицирования деталей и рабочих органов СХТ

Дано трибофизическое обоснование механизма снижения интенсивности различных видов трения и износа деталей и рабочих органов сельскохозяйственной техники (СХТ) изменением адгезионных и повышением прочностных свойств упрочненных и модифицированных слоев с использованием воздействия на материалы лазерного излучения (ЛИ). При этом учтена многофакторность воздействия ЛИ, закономерности формирования структурно-фазовых состояний поверхностных слоев, межфазных напряжений и стимулирование создания дислокаций и дефектов упаковки, повышения их плотности и насыщения дефектами межкристаллитных областей, роль мало- и большеугловых границ в структурообразовании, измельчения зерен карбидов, оксидов и боридов, увеличение степени растворимости легирующих элементов. Обнаружено, что механизм упрочнения и модифицирования поверхностных структур в поле ЛИ определяется особенностями физических свойств отдельных фазовых составляющих и характером межфазных взаимодействий.

Показано, что решение проблемы повышения износостойкости деталей и рабочих органов СХТ при использовании ЛИ базируется на установлении связей между уровнями его энергетического воздействия и условиями трибомеханического нагружения в процессе эксплуатации. Сформулированы принципы физико-технологического обоснования функционально-направленного упрочнения и разработаны схемы комбинированного упрочняющего воздействия на рабочие поверхности детали (рабочего органа) СХТ. Для функционально-направленного упрочнения и модификации разработаны технологии и технологические схемы их реализации с использованием ЛИ. Предложена технология изготовления деталей и рабочих органов лазерным резанием. Приведены технологические схемы и результаты, подтверждающие эффективность разработанной технологии, дано их обоснование.

триботехнічне та фізико-технологічне обоснование, лазерное излучение, упрочнение, модифицирование, функционально-направленное упрочнение, лазерная резка, износ, самоорганизация

Постановка проблеми. Уникнути або звести до мінімуму імовірність відмов деталей та спряжень, відхилення від виконання якісного технологічного процесу робочих органів (РО) сільськогосподарської техніки (СГТ) можливо на основі розробки і застосування комбінованих ефективних методів нанесення покриттів, модифікуванням складу, структури і властивостей матеріалів їх поверхневих шарів при розумному поєднанні положень трибофізики та фізико-технологічного обґрунтування вибору і раціонального використання технологій зміцнення та модифікування [1, 2].

Процеси і стани в матеріалах деталей і РО, як елементах триботехнічних систем (ТТС) СГТ, що є об'єктом трибофізики, мають ряд особливостей: розглядається їх взаємодія, розвиток комплексу характеристик та властивостей в умовах зовнішньої впливу речовини і енергії, фізичних і різноманітних перетворень (деформаційних, теплових, електричних, світлових, дифузійних, хімічних, структурно-фазових і т.п.), включаючи появу і еволюцію дефектів в поверхневих шарах матеріалів на всіх рівнях аж до їх руйнування та трансформацій характеристик і властивостей, прилеглих до них шарів робочих (технологічних) середовищ.

Характерним для сучасного етапу трибофізики є комплексний підхід до вивчення і пізнання механізмів процесів, що протікають на поверхні і в поверхневому шарі взаємодіючих елементів ТТС, тобто між трибоелементами (ТЕ), ТЕ і робочими (технологічними) середовищами, застосування високоефективних фізичних, хімічних і математичних методів досліджень, побудови фізичних та математичних моделей, обробки і аналізу бази даних з використанням пакетів прикладних програм на ПК [3,4].

При розробці і оптимізації методів зміцнення і модифікування елементів ТТС перш за все вирішуються два основні завдання: вплив технологічних методів на характер

розвитку і протікання процесів та еволюції станів ТТС, їх зв'язку з триботехнічними характеристиками та проведення фізико-технологічного обґрунтування. Зазначене дає можливість отримати необхідний комплекс характеристик і властивостей поверхонь тертя елементів ТТС та реалізувати процеси і стани самоорганізації в матеріалах ТЕ, робочих (технологічних) середовищах і здійснити автоматичне та синергетичне керування ТТС СГТ [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема підвищення зносостійкості та надійності деталей і РО СГТ в умовах їх вибіркового зношування може бути вирішена шляхом комбінованого зміцнення і модифікування їх робочих поверхонь з використанням лазерного випромінювання (ЛВ). Перспективність його застосування, як часткового випадку концентрованих потоків енергії (КПЕ), наголошується в роботах А.С. Верещаки, С.Н. Григор'єва та В.П. Табакова [6-8], М.І. Черновола [9] та ін.

В поверхневих шарах матеріалів деталей при цьому реалізуються нерівноважні процеси і стани, формуються нові сполуки, екстремальні розподіли легуючих елементів і дефектів [10-11], які дають можливість отримувати поверхневі композити, багатошарові покриття, формуються вторинні структури (ВС), гарантуються необхідні функціональні властивості поверхні і поверхневих шарів (зносостійкість, антифрикційність, несуча здатність, опір проти втоми) і суттєво підвищуються експлуатаційні характеристики. Технології зміцнення з використанням ЛВ є екологічно чистими та економічно ефективними, легко автоматизуються. Дозуючі теплові навантаження регулюються потужністю і тривалістю ЛВ, забезпечуючи практично будь-який температурний режим [11]. ЛВ дозволяють змінювати фізико-механічні властивості матеріалів деталей внаслідок модифікації структури їх поверхневих шарів [12] та отримати якісно нові властивості цих шарів, які не досягаються іншими методами зміцнення і модифікування. Виявлені закономірності формування нерівноважних структур і текстур поверхонь робочих деталей під впливом потоків ЛВ густиною $q = 10^8 \dots 10^{11}$ Вт/м² можна використати для розробки трибофізичних та фізико-технологічних основ зміцнення і цілеспрямованої зміни комплексу властивостей поверхні деталей і РО СГТ модифікуванням ЛВ. При цьому основними технологічними параметрами ЛВ є: довжина хвилі випромінювання, густина потужності, тривалість взаємодії випромінювання зі зміцнюваною поверхнею, її поглинаюча здатність, а характеристиками модифікованого зміцненого шару є: мікроструктура, твердість, глибина, ширина, форма зони термічного впливу та комплекс експлуатаційних властивостей.

Разом з тим є потреба в трибофізичному і фізико-технологічному обґрунтуванні процесів і станів поверхневих шарів матеріалів деталей і РО СГТ при комбінованому функціонально-спрямованому їх зміцненні і модифікуванні.

Мета даної роботи є трибофізичне та фізико-технологічне обґрунтування вибору ефективних методів комбінованого функціонально-спрямованого зміцнення і модифікування робочих поверхонь деталей і РО та розробка технологічних схем їх реалізації.

Виклад основного матеріалу. З трибофізичної точки зору зниження інтенсивності різних видів тертя та зношування деталей і РО СГТ може бути забезпечене шляхом керування інтенсивністю вказаних процесів за допомогою зміни адгезійних і підвищення міцнісних властивостей зміцнених та модифікованих поверхневих шарів, утворенням локальних областей твердих розчинів та зносостійких сполук, впровадження атомів легуючих елементів в поверхневий шар з розподілом їх концентрації, що характерна для нерівноважних процесів і станів [13].

При цьому ефективність комбінованого зміцнення і модифікування досягається активізацією адгезійних і дифузійних процесів, що обумовлює зменшення зони вторинних деформацій, виникнення вторинних структур (ВС) й підвищення опору адгезійно-втомленому зносу. За фізичною суттю механізми зміцнення і модифікування

деталей і РО СГТ можна поділити на групи:

- перенос речовини від деякого джерела до очищеної робочої поверхні;
- перенос енергії від джерела до поверхні, яка в результаті наступного локального енергетичного впливу набуває нових характеристик та властивостей;
- використання джерела речовини, частинки якої нагріваються і розганяються до високої енергії та впроваджуються або прилипають до робочої поверхні, формуючи на ній шар нового покриття, або комбінацію декількох покриттів;
- перенос енергії та речовини до робочої поверхні, на якій попередньо сформовано шар покриття та ін.

В процесі вторинного припрацювання поверхні тертя, підлеглого комбінованому зміцненню та модифікуванню, утворюється оптимальний мікрорельєф (рівноважна шорсткість), обумовлений реальними умовами експлуатації. Різка нерівноважність (через адгезію) процесу утворення зміцненого шару, у відповідності з принципом самоорганізації, сприяє утворенню більш впорядкованих структур, ніж вихідні ВС.

Багатофакторність впливу ЛВ, поряд із структурними особливостями, надзвичайно ускладнює вивчення закономірностей формування поверхневих структурно-фазових станів поверхневих шарів. Встановлено, що високоенергетичний вплив на конструкційні матеріали змінює як мікроструктуру, так і субструктуру окремих фазових складових [14]. Згідно даним рентгеноструктурного аналізу матеріалів під дією ЛВ виявляється зростання концентрації дефектів кристалічної будови зміцнювальних сполук, таких як карбідів, оксидів, боридів. При цьому α -Fe фази підлягає подрібненню блоків мозаїки, збільшується мікроспотворення кристалічної ґратки, формується розвинута дислокаційна структура, збільшується концентрація дефектів упакування. Крім того відбувається підсилення ліній гексагональної модифікації заліза. При максимальних густинах потужності ЛВ рефлекси від Fe – фази зникають, що, можливо, пов'язано з розупорядкуванням структури до рівня метастабільної аморфітизації. Залежність параметрів субструктури фазових складових поверхневого шару носить екстремальний характер.

Високі температури в зоні ЛВ сприяють значному збільшенню міжфазних напружень, стимулюють утворення лінійних (дислокацій) та двомірних (дефектів упакування) порушень структури [15]. Найбільш ймовірно це відбувається за механізмом зсуву і ковзання атомних ланцюжків і площин фаз в умовах всебічного стиску. В якості додаткового механізму генерації дефектів можна розглядати хаотичне розупорядкування кристалічної ґратки зміцнювальних фаз за рахунок теплових ефектів розупорядкування, атомного змішування і розсіювання пружних хвиль на вузлах ґратки з наступною релаксацією надвисоких концентрацій точкових дефектів [16] в процесі тертя і зношування.

Визначено істотну роль мало- і великокутових границь в процесах структуроутворення при високоенергетичному впливі [16], що пояснюється мікроструктурними змінами в поверхневих шарах при ЛВ. Зі збільшенням густини потужності ЛВ спостерігається значне подрібнення зерен карбідів, оксидів та боридів, а також втрата їхньої первісної форми. Неоднорідність стиску цих сполук з боку заліза сприяє деформації їх зерен по пересиченим дефектами міжкристалічним областям при одночасному інтенсивному їх розчиненні в рідкому залізі до нерівноважних концентрацій. Збільшення ступеня розчинності додаткових елементів в залізі сприяють високі швидкості процесів [13].

Охолодження розплаву після завершення ЛВ викликає випадання дрібнодисперсних виділень в місцях найбільш структурних неоднорідностей фаз і надвисоких концентрацій легуючих елементів в залізі, переважно вздовж границь поділу фаз, про що свідчать електронно-мікроскопічні дослідження поверхні [16]. Структурні зміни, що виникають в зазначених фазах, можна охарактеризувати як результат високошвидкісної, динамічної рекристалізації в умовах всебічного стиску з боку заліза при наявності градієнта розподілу термомеханічних напружень по глибині від опроміненої поверхні. З цієї позиції еволюцію

дефектної структури карбідів, оксидів та боридів в залежності від режимів ЛВ, можна пояснити реалізацією двох конкуруючих процесів – зміцнення і знеміцнення. З одного боку, відбувається релаксація виникаючих при опроміненні значних міжфазних напружень та генерація дефектів, а з іншого – високі температури в зоні ЛВ сприяють відпалу спотворень структури і коалесценції субзерен.

Експериментальні дослідження свідчать, що домінуючим процесом, який визначає формування кінцевої структури, є процес генерації дефектів, границя насичення якими визначається температурою в зоні ЛВ, що залежить від густини потужності випромінювання. При підвищенні границі розчинності дефектів у вихідній структурі фаз, відбувається їх інтенсивний відпал, що обумовлює збільшення ступеня досконалості кристалічної структури в області модифікування. Механізм зміцнення і модифікування поверхневих шарів у полі ЛВ визначається особливостями фізичних властивостей окремих фазових складових та характером міжфазних взаємодій. При цьому основними особливостями сполук, що відповідають за формування кінцевих структур, є відмінність коефіцієнтів термічного розширення, підвищена розчинність та висока міцність міжатомних зв'язків. Аналіз еволюції зміцнювальних структур з позиції механізмів модифікування дає можливість визначити режими ЛВ, при яких спостерігається значне покращення необхідного комплексу характеристик і властивостей робочих поверхонь деталей і РО СГТ.

Зміна структури і фазового складу модифікованих матеріалів під впливом ЛВ реалізується по різним механізмам й визначає більшість фізико-механічних характеристик поверхневих шарів, їх пластичне деформування і руйнування при терті і зношуванні. В зв'язку з цим, одним із найбільш важливих питань трибофізики проблеми підвищення зносостійкості матеріалів ТЕ модифікуванням КПЕ є встановлення взаємозв'язків між рівнями енергетичного впливу та умовами трибомеханічного навантаження деталей та РО СГТ в процесі експлуатації.

У відповідності до синергетичної концепції дії ЛВ на матеріали спостерігаються стадії еволюції станів, які характеризуються різним ступенем самоорганізації процесу переносу: на першій самоорганізується рух квазічастинок – фононів, на другій – відбувається самоорганізація руху частинок речовини. При цьому структурно-фазові перетворення в сталях під дією ЛВ, в залежності від ступеню віддаленості від рівноважного стану, можуть бути лімітовані як процесами тепломасопереносу, так і характеристиками в'язкості вихідних та утворених фаз.

Для підвищення зносостійкості деталей і РО СГТ, реалізації повного потенціалу їх працездатності з проявом ефекту самоорганізації поверхонь тертя на сьогодні широко застосовують спеціальні покриття з використанням різних композицій матеріалів і технологій їх нанесення та модифікування, що базуються на ЛВ. Це дає можливість розробити принципово новий клас методів і способів формування покриттів триботехнічного призначення та модифікування поверхневих шарів й забезпечити принципово нову сукупність властивостей і належну якість робочих поверхонь. Передбачається реалізація додатних і від'ємних градієнтів властивостей, як вздовж робочої поверхні, так і по товщині поверхневого шару, тобто реалізується функціонально-спрямоване зміцнення: формування зміцнених шарів на окремих локальних ділянках робочих поверхонь одним або сукупністю різних способів, а також використання різних способів модифікування. Це дозволяє врахувати вибіркоче зношування деталей і РО СГТ, максимально підвищити їх параметри і характеристики за рахунок збільшення можливостей локальних областей та реалізації різних видів самоорганізації робочих поверхонь в процесі експлуатації. Зміцнювальні покриття і модифіковані поверхневі шари при цьому максимально адаптуються до умов експлуатації і реалізується принцип рівнозначності та з'являється можливість суттєвого підвищення техніко-економічних показників створюваних і зміцнюваних ТТС СГТ.

При фізико-технологічному обґрунтуванні процесу функціонально-спрямованого зміцнення розроблена загальна методологія, в основі якої лежать принципи:

- ізоморфно-топологічна відповідність геометричних параметрів кожної зміцнюваної локальної області поверхні деталі і РО СГТ, в якій реалізується задана експлуатаційна функція з необхідним комплексом характеристик і властивостей;
- функціональна відповідність між параметрами якості покриттів та модифікованих поверхневих шарів в кожній локальній області особливостям зміни в них триботехнічних та експлуатаційних параметрів;
- повна або часткова реалізація процесів і станів самоорганізації різних функціональних областей поверхонь модифікованих поверхневих шарів деталей і РО, які мають мінімальну інтенсивність зношування, оптимальний коефіцієнт тертя та мінімальні витрати енергії в процесі експлуатації.

На основі розроблених принципів функціонально-спрямованого зміцнення забезпечується адаптація поверхонь тертя деталей, РО СГТ та комплекс необхідних експлуатаційних властивостей. При цьому основа деталі і РО може виготовлятися з недорогих матеріалів, а нанесені покриття і модифіковані поверхневі шари забезпечують повний потенціал функціональних можливостей, що значно підвищує техніко-економічні показники при їх виготовленні і експлуатації. Загальна методологія функціонально-спрямованого зміцнення, схема якої наведена на рис. 1, обумовлена полем різних якостей локальних областей робочих поверхонь, загальною структурою і параметрами, у відповідності з їх функціональними особливостями та характером вибіркового зношування.

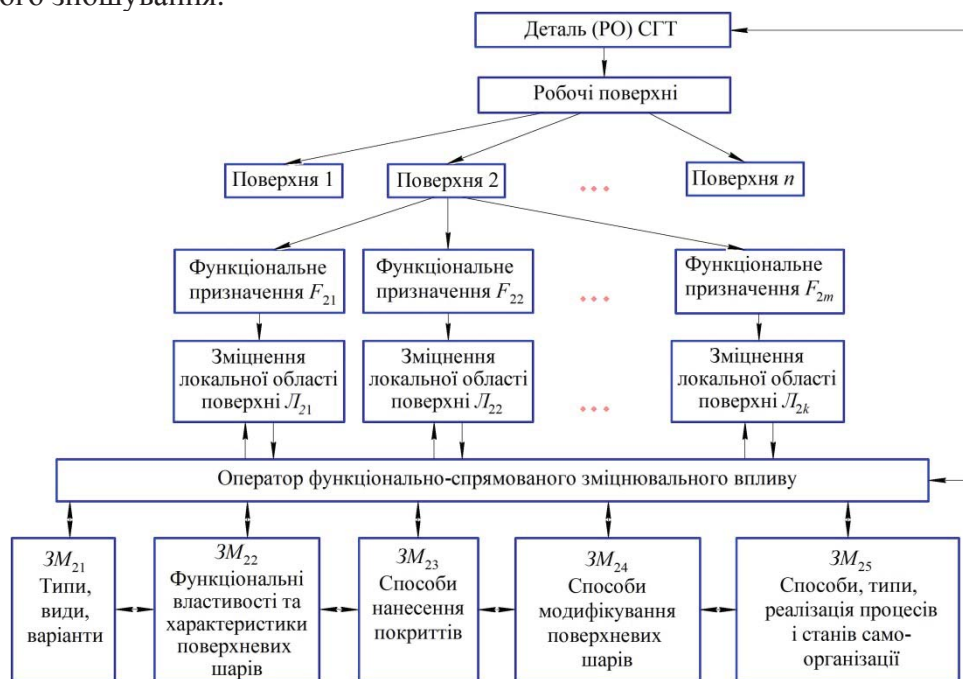
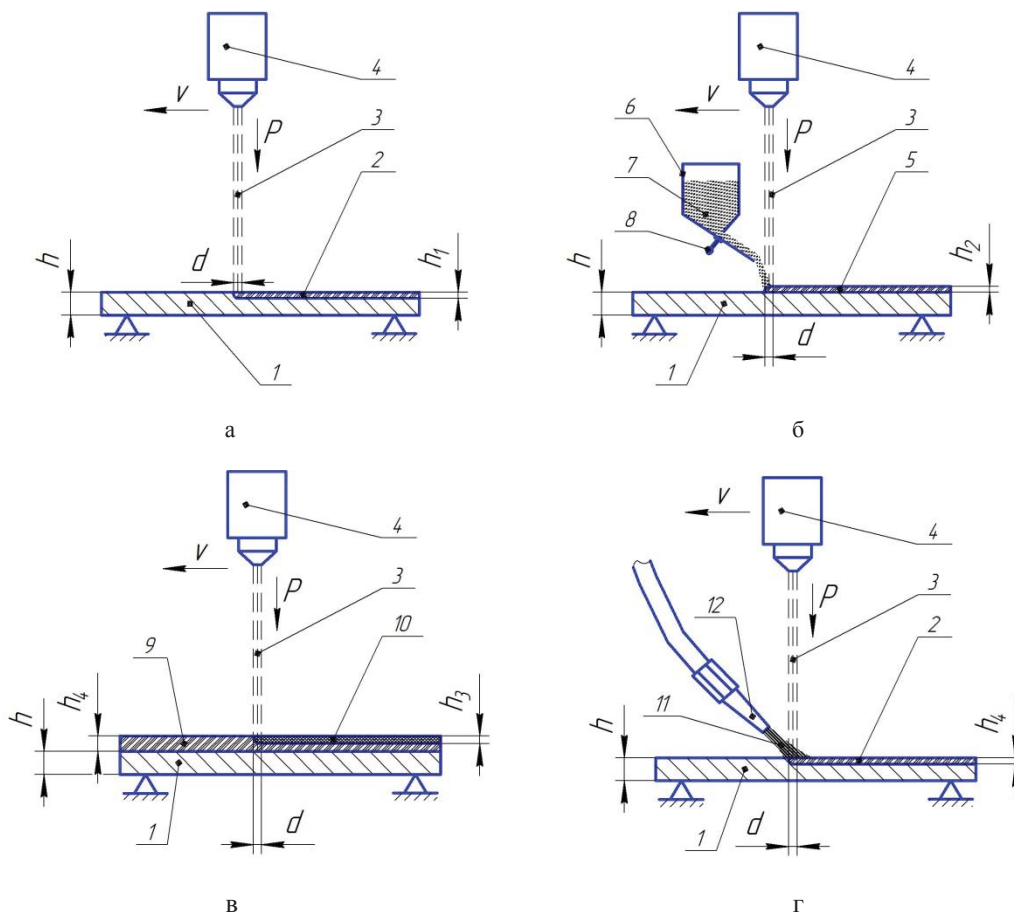


Рисунок 1 – Схема комбінованого функціонально-спрямованого зміцнювального впливу на робочі поверхні деталей СГТ

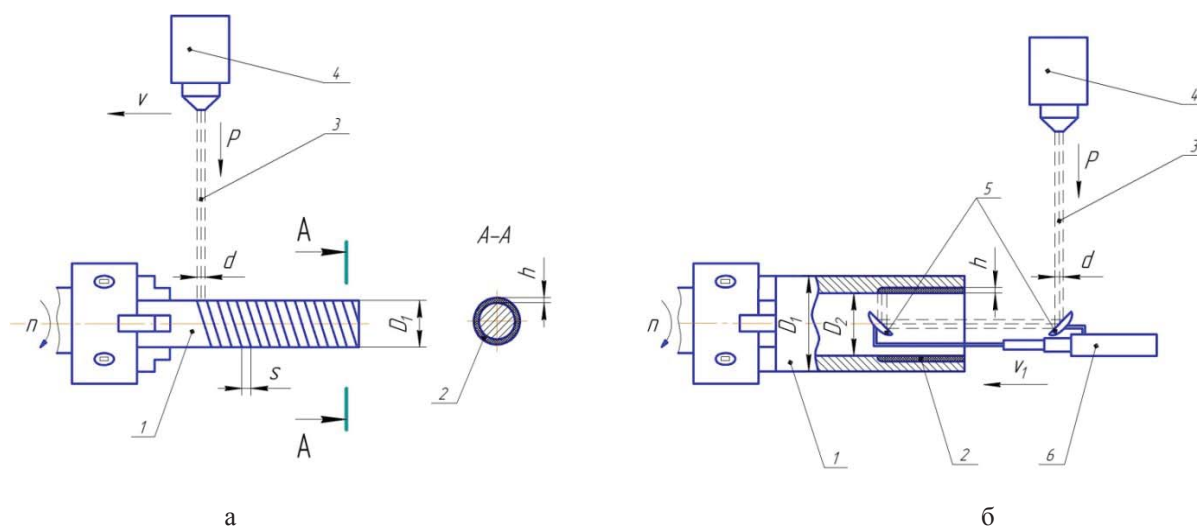
При функціонально-спрямованому зміцненні деталей СГТ з використанням ЛВ були розроблені технології та технологічні схеми їх реалізації, наведені на рис.2 і рис.3.

У випадку термозміцнення (рис. 2, а), лазерний промінь діаметром d регулюється за допомогою фокусуючого пристрою та потужністю P переміщується вздовж оброблюваної поверхні товщиною h зі швидкістю v . Зміцнення здійснювали на товщину h_1 як без оплавлення поверхні, так і з оплавленням поверхні деталі СГТ. Наплавлення функціонально-спрямованих зміцнювальних КМ (КП) на робочі поверхні деталей реалізовували застосуванням схеми, представленої на рис. 2, б. Процес відбувається аналогічно термозміцненню, але в зону дії лазерного променя за допомогою дозатора [17] подають порошковий матеріал, що знаходиться в бункері. При цьому утворюється наплавлений шар товщиною h_2 .



1 – деталь; 2 – зміцнений шар; 3 – лазерний промінь; 4 – джерело лазерного випромінювання; 5 – наплавлений шар; 6 – бункер; 7 – наплавлювальна суміш; 8 – дозатор; 9 – попередньо сформований шар; 10 – модифікований шар; 11 – газ з легуючими елементами; 12 – мундштук

Рисунок 2 – Технологічні схеми зміцнення поверхонь деталей та РО СГТ з використанням ЛВ: а – термозміцнення; б – наплавлення; в – модифікування попередньо сформованого покриття або поверхневого шару; г – легування



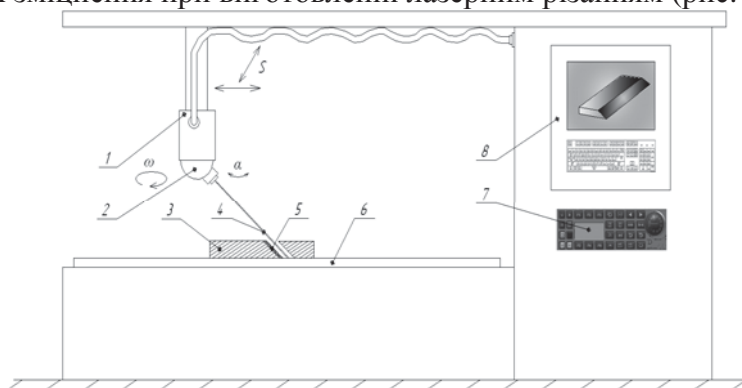
1 – деталь; 2 – зміцнений шар; 3 – лазерний промінь; 4 – джерело ЛВ; 5 – дзеркало; 6 – система подачі дзеркала; D_1 та D_2 – зовнішній та внутрішній діаметр деталі

Рисунок 3 – Технологічні схеми зміцнення зовнішніх (а) та внутрішніх (б) поверхонь деталей обертання лазерною обробкою

З метою покращення фізико-механічних, фізико-хімічних, реологічних та триботехнічних показників попередньо сформованого покриття застосовували схему модифікування, подану на рис. 2, в. Керуючи параметрами P , v , d , змінювали режими модифікування та товщину h_3 зміцненого поверхневого шару. В зону дії лазерного променя, реалізуючи схему легування поверхневого шару деталей, через мундштук подавали газ (рис. 2, г) [18], що містить легуючі елементи. При цьому товщина зміцненого шару становить h_4 .

У випадку зміцнення деталей обертання, застосовували технологічні схеми, подані на рис. 3. При зміцненні зовнішньої поверхні деталі типу "вал" (рис. 3, а), їй надається обертальний рух з частотою n . На оброблювану поверхню під прямим кутом спрямовується лазерний промінь потужністю P та діаметром d . В процесі обробки деталей також можна переміщати вздовж осі обертання зі швидкістю v , створюючи на поверхні зміцнений шар товщиною h з кроком s . У випадку зміцнення внутрішніх поверхонь деталей обертання (рис. 3, б) застосовували систему рухомих дзеркал. При цьому джерело ЛВ було нерухомим і в процесі зміцнення змінювалась лише відстань між дзеркалами із попередньо заданою швидкістю v_1 . Режими зазначених лазерних технологій зміцнення і модифікування деталей і РО СГТ розглянуто в роботі [19].

Для забезпечення самоорганізації форми РЕ в процесі експлуатації РО СГТ, запропоновано їх зміцнення при виготовленні лазерним різанням (рис. 4).



1 – лазерний модуль; 2 – позиціонувальна головка; 3 – деталь; 4 – лазерний промінь; 5 – зміцнена поверхня різального елемента; 6 – робочий стіл; 7 – блок керування процесом лазерного різання; 8 – пристрій програмування руху лазерного променя

Рисунок 4 – Схема технологічного комплексу виготовлення деталей і РО з РЕ лазерним різанням, при реалізації в процесі ефекту самоорганізації форми (лазерна установка AMADA LC-3015 X1 NT, $P = 4\text{кВт}$) [20]

Запропонована технологія дозволяє об'єднати операції формування і зміцнення різальної кромки, автоматизувати виробництво і виготовляти деталі складних геометричних форм, забезпечує їх високу зносостійкість. При цьому тривалість виготовлення деталей зменшується, зростає зносостійкість, зменшуються загальні витрати на енергоносії. Це приводить до зниження їх собівартості виготовлення, підвищення ресурсу, що очевидно буде вигідним як для виробника, так і споживача.

Для визначення характеру, інтенсивності зношування та порівняльного аналізу деталей, які виготовлені за базовою та запропонованою технологіями, були проведені експериментальні дослідження на круговому стенді. В якості дослідних зразків були використані лапи культиватора зі зміцненою нижньою частиною в процесі лазерного термозміцнення при різанні та з об'ємним гартуванням, робоче середовище – суміш чорнозему з піском у співвідношенні 90:10, вологість ґрунту підтримували в межах 8...12%. Деталі рухались по колу і періодично, через кожні 30 км напрацювання, досліджували зміни форми їх профілю (табл. 1).

Динаміка зміни профілів РЕ з напрацюванням свідчить, що при об'ємному

термічному зміцненні процес затуплення різальної кромки розвивається з напрацюванням 30 км і при шляху тертя від 60 км до 120 км – спостерігається несуттєва зміна форми профілю, але радіус заокруглення різальної кромки вже при шляху тертя 60 км становить 1,2...1,5 мм, що є підставою для вибракування РОГМ. В той же час РЕ, зміцнені при лазерному різанні, показують дещо іншу динаміку зміни форми профілю і при напрацюванні до шляху тертя 30 км відбувається процес припрацювання робочих поверхонь РЕ, тобто самоорганізація форми. Радіус заокруглення при цьому дещо збільшується, але несуттєво – до 0,5...0,6 мм. Зі збільшенням шляху тертя форма профілю РЕ практично не змінюється і зберігається його гострота до 120...150 км шляху тертя. Це дає можливість підвищити напрацювання РЕ до вибракування в 1,8...2,3 рази. Порівняльні результати дослідження триботехнічних характеристик РЕ РОГМ наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Відбитки профілів РЕ стрілочастих лап культиваторів

Спосіб виготовлення	Шлях тертя, км				
	0	30	60	90	120
Базова технологія об'ємного термічного зміцнення					
Запропонована технологія лазерного різання					

Таблиця 2 – Залежність інтенсивності зношування РЕ лап культиватора від шляху тертя і способу зміцнення

Спосіб зміцнення РЕ	Інтенсивність зношування, мм/км при шляху тертя					Середні значення	
	30 км	60 км	90 км	120 км	150 км	інтенсивності зношування \bar{I} , мм/км	квадратичного відхилення $\bar{\sigma}_I \cdot 10^{-3}$, мм/км
Об'ємне гартування	0,073	0,074	0,072	0,073	0,073	0,073	0,4
Лазерна термообробка при різанні	0,046	0,045	0,044	0,045	0,044	0,045	0,6

Випробування свідчать, що інтенсивність зношування РЕ, зміцнених в результаті лазерного різання, в 1,6...2,1 рази менше у порівнянні з РЕ, виготовлених за базовою технологією.

За запропонованим способом лазерного різання можна виготовляти РЕ, плоскорізів, дискових робочих органів, щілинорізів, сошників і т.п. [20]. Широкі можливості позиціонування лазерного променя дозволяють формувати не тільки РЕ, а також РОГМ складної геометричної конфігурації.

Аналіз конструкцій дискових робочих органів, величини і характеру зношування їх робочих поверхонь, технології процесу виготовлення та експлуатації, дав можливість запропонувати нову конструкцію РОГМ, виконану у вигляді сферичного диска з внутрішніми вирізами, що включає зовнішні та внутрішні різальні кромки з кутом загострення α (рис. 5).

Запропонована конструкція РОГМ, виготовлена лазерним різанням, у порівнянні з існуючими конструкціями має ряд переваг:

- виконання квадратного отвору для кріплення диску дозволяє зміцнити його робочі поверхні й забезпечити їх високу зносостійкість;
- внутрішні вирізи зменшують металоємність, що дає можливість збільшити

кількість дисків в батареї ґрунтообробного агрегату й забезпечити більшу ширину захвату і підвищення продуктивності;

– завдяки наявності різальних кромок з кутом α , що знаходиться в межах 18...25°, їх зміцнення на ширину 15...20 мм і глибину 0,5...1,5 мм, реалізується ефект самогострювання, підвищується ресурс РОГМ та якісний обробіток ґрунту;

– за рахунок зміцнення різальних кромок дискового робочого органа вдається знизити інтенсивність зношування його робочих поверхонь та зменшити енерговитрати при обробітку ґрунту.

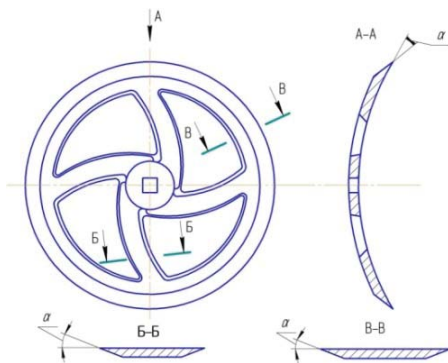


Рисунок 5 – Запропонований дисковий робочий орган ґрунтообробних знарядь [21]

Модернізуючи технологічний процес виготовлення деталей і РО СГТ, з'являється можливість підвищення їх зносостійкості та забезпечення різних форм самоорганізації в процесі експлуатації, зниження собівартості продукції за рахунок зменшення кількості операцій, тобто така продукція буде конкурентоспроможною.

Висновки

1. Дано трибофізичне обґрунтування процесів і станів в матеріалах деталей і РО СГТ при дії лазерного випромінювання. Виявлена специфіка впливу ЛВ під час зміцнення і модифікування на структуру, структурно-фазові стани, субструктуру окремих фазових складових та поверхневого шару, міжфазні напруження, генерацію дефектів та їх розподіли, істотну роль мало- і великокутових границь в процесах структуроутворення.

2. Встановлено, що механізм зміцнення і модифікування поверхневих шарів у полів ЛВ визначається особливостями фізичних властивостей окремих фазових складових та характером міжфазних взаємодій, коефіцієнтом термічного розширення, підвищеною розчинністю та високою міцністю міжатомних зв'язків і режимів.

3. Показано, що у відповідності до синергетичної концепції дії ЛВ на матеріали спостерігаються стадії еволюції станів, які характеризуються різним ступенем самоорганізації переносу: самоорганізується рух фононів та частинок речовини. Структурно-фазові перетворення при цьому можуть бути лімітовані процесами тепломасопереносу та характеристиками в'язкості вихідних та утворюваних фаз.

4. На основі загальної методології розроблено принципи фізико-технологічного обґрунтування комбінованого функціонально-спрямованого зміцнення та модифікування деталей і РО СГТ. Показано, що при цьому забезпечується адаптація їх робочих поверхонь та комплекс необхідних експлуатаційних властивостей. Розроблена схема зміцнювального впливу з урахуванням поля різних якостей локальних робочих поверхонь, їх структури і параметрів, у відповідності з їх функціональними особливостями за характером вибіркового зношування, з урахуванням етапів життєвого циклу деталей і РО СГТ на базі граничного критерію якості

5. Розроблено технології зміцнення та модифікування з використанням ЛВ та запропоновано технологічні схеми їх реалізації. Для забезпечення самоорганізації форми різальних елементів РО СГТ запропоновано їх зміцнення при виготовленні лазерним

різанням. На цій основі розроблено технологію виготовлення дискового РО ґрунтообробних знарядь.

Список літератури

1. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.
2. Дворук В.І. Трибофізика: підручник / В.І. Дворук, В.А. Войтов. – Харків: ФП Томенко Ю.І., 2014. – 374 с.
3. Аулин В.В. Физические основы разработки технологических методов модификации и трибофизические основы модифицированных материалов / В.В.Аулин // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 9-й междунаучн.-техн.конф., 25–29 мая 2009, г. Ялта. – К.: АТМ України, 2009. – С.16-19.
4. Аулін В.В. Трибофізичне обґрунтування зміни напружено-деформованого стану ґрунту під час дії РОГМ / В.В. Аулін // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин // Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2012р. – Вип.42. Частина I – С. 13-20.
5. Аулін В.В. Принципи автоматичного керування процесами в триботехнічних системах / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький. ХНУ, 2013. – №4 – С.129-136.
6. Верещака А.А. Методология создания функциональных покрытий для режущего инструмента / А.А. Верещака, А.С. Верещака. Современные технологии машиностроения: Сб. научн. статей. – НТУ "ХПИ", 2007. – С.192-235.
7. Верещака А.С. Методологические принципы создания функциональных покрытий нового поколения для применения в инструментальном производстве / А.С. Верещака, С.Н. Григорьев, В.П.Табаков // Справочник. Инженерный журнал. – 2011. – № 12. – С. 18-22.
8. Табаков В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента / В.П. Табаков. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.
9. Черновол М.И. Технологические основы восстановления деталей сельскохозяйственной техники композиционными покрытиями: Автореф. дисс. докт. техн. наук: 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / М.И. Черновол. –М.: КИСМ, 1992. – 35 с.
10. Аулін В.В. Фізика структурних перетворень матеріалу в зоні обробки концентрованими потоками енергії та тертя і зношування /В.В. Аулін// Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький. ХНУ, 2007. – №2 (44) – С. 57-59.
11. Аулин В.В. Модификация композиционных покрытий триботехнического назначения концентрированным потоком энергии / В.В.Аулин // II-й Евразийская научн.-практ. конф. "Прочность неоднородных структур". ПРОСТ 2004, 20-22 апреля 2004г.: сб. тезисов докладов. – М., МИСиС, 2004. – С.75.
12. Аулін В.В. Модифікація структури поверхневих шарів деталей лазерним випромінюванням / В.В. Аулін, В.Б. Батехін, В.М. Бобрицький, Ф.Й. Златопольський // 6-й междунаучн.-техн.конф. "Инженерия поверхности и реновация изделий", 30 мая – 1 июня 2006.: материалы. – К.: АТМ України, 2006. – С.18-20.
13. Аулін В.В. Поверхнева сегрегація атомів в конструкційних матеріалах, підлеглих лазерній обробці та вплив її на трибологічні властивості / В.В.Аулін, С.О.Магопєць, С.М.Лізунов, В.М.Бобрицький // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Вип. 13. – 2003. – С.289-294.
14. Аулін В.В. Створення композиційних дисперсно-зміцнених покриттів на деталях СГТ з використанням лазерного випромінювання / В.В.Аулін // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. – Вип. 33. – Кіровоград, КДТУ. – 2003. – С.310-316.
15. Аулін В.В. Вплив лазерної обробки на протікання фізико-хімічних процесів в конструкційних матеріалах / В.В.Аулін, М.І.Черновол // 4-а Міжнар. міждисц. наук.-практ. конф. "Сучасні проблеми науки та освіти", 1-10 травня 2003 р.: матеріали – Харків. – 2003. – С.15-16.
16. Аулін В.В. Неврівноваженість зернограничних перетворень в конструкційних матеріалах в полі лазерного випромінювання/ В.В.Аулін, В.М.Бобрицький, С.К.Солових, В.О. Дубовик// 6-й междунаучн.-техн.конф. "Инженерия поверхности и реновация изделий", 30 мая – 1 июня 2006.: материалы. – К.: АТМ України, 2006. – С.20-23.
17. Аулін В.В. Абразивна зносостійкість лазерно-модифікованих композиційних покриттів / В.В.Аулін // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Вип. 12. – 2003. – С.219-223.
18. Аулін В.В. Модифікування структури і властивостей поверхневого шару деталей машин концентрованими потоками енергії / В.В. Аулін, В.Б. Батехін // Зб. наук. праць Держ. льотної академії "Наукові праці академії". – Кіровоград: ДЛАУ. – 2003. – Вип. 7, ч.ІІ. – С.213-217.

19. Аулін В.В. Визначення технологічних параметрів лазерної обробки деталей з урахуванням специфіки впливу променю на конструкційні матеріали / В.В.Аулін, О.Й.Мажейка, Є.К. Солових // Вісник академії інженерних наук. – №2. – 2002. – С. 30-25.
20. Пат. 48190 Україна, МПК(2009) В23К 26/00. Спосіб отримання самогострюваних різальних елементів деталей машин / Аулін В.В., Бобрицький В.М., Тихий А.А., Лисенко С.В. та ін.; заявник і патентотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u200909376; заявл. 11.09.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.
21. Пат. 33420 Україна, МПК А01В 7/00 (2006). Дисковий робочий орган ґрунтообробних знарядь / Аулін В.В., Зайцев О.Ю., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u200800971; заявл. 28.01.2008; опубл. 25.06.2008; Бюл.№ 12.

Viktor Aulin, Sergey Lysenko

Kirovohrad national technical university

Artiom Bilyk

Hmelnickiy National University

Tribophysical and physical-technological substantiation of the combined functional-directional reinforcement and modification of parts and working elements AM

Given tribophysical justification mechanism reduce the intensity of the different kinds of friction and wear of parts and working elements of agricultural machinery (AM) change and improve the adhesion strength properties of reinforced and modified layers with effects on materials of the laser radiation (LR). Thus considered multifactor impact LR, regularities of structural-phase state of the surface layers, the interfacial stress and stimulate the creation of dislocations and stacking faults, increasing their density and satiety defects intercrystalline regions, the role of small and large angular boundaries in pattern formation, grinding grain carbides, oxides and borides increase the solubility of alloying elements. It is found that the mechanism of strengthening and modification of surface structures in the field of LR is determined by the physical properties of individual phase components and the nature of interfacial interactions.

It is shown that the solution of problems of increasing the durability of parts and working elements AM using LR is based on establishing a relationship between the level of its energy impact conditions tribomechanical stress during operation. The principles of physical and technological justification functional-directional reinforcement and development of the scheme combined reinforcing effect on the working surface of the component (working element) AM. For functional-directional reinforcement and modification of developed technologies and technological schemes for their implementation using LR. The proposed technology manufacturing parts and working elements of laser cutting. The technological scheme and the results confirm the efficiency of the technology and their rationale.

tribotechnical and physical-technological substantiation, laser radiation, strengthening, modification, function-directional hardening, laser cutting, wear self-organization

Одержано 21.11.14

УДК 621.175

П.А. Барабаш, ст. научн. сотр, канд. техн. наук, Я.Е. Трокоз, научн. сотр.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

В.В. Горин, ст. научн. сотр., канд. техн. наук

Коростенский завод химического машиностроения «Химмаш»

Состояние вопроса о гидродинамике и теплообмене турбулентного потока рабочего тела внутри труб