

**Пастух І.М.,  
Соколова Г.М.**

Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна  
E-mail: pastim@mail.ru

**КОНЦЕПЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ  
ЗНОСОСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ,  
АЗОТОВАНИХ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ  
З АВТОНОМНИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

УДК 621.785.532

На основі аналізу сукупності факторів впливу сформована модель досліджень зносостійкості металевих деталей, азотованих в тліючому розряді з автономними (незалежними) параметрами технологічного режиму.

**Ключові слова:** трибосистема, зносостійкість, азотування, тліючий розряд, незалежні параметри

### Вступ

Поняття «азотування в тліючому розряді з незалежними параметрами» логічно впливає з енергетичної моделі процесу, сформульованої в [1]. Головна теза цієї моделі полягає в тому, що кожний з субпроцесів, які мають місце при азотуванні в тліючому розряді, найбільш продуктивний в певному діапазоні енергій часток, що бомбардують поверхню, маючи певну швидкість (енергетичний рівень), отриману як наслідок взаємодії з полем в межах області катодного падіння. При цьому цей потік формують не тільки заряджені частки (іони). В деяких випадках (залежно від параметрів технологічного режиму – так званих режимних, як то склад газового середовища, температура процесу, тривалість обробки та енергетичних – напруга катодного падіння, густина струму) їх навіть перевищує потік нейтральних часток, утворених в результаті резонансної перезарядки, ймовірнісні характеристики котрого іноді на порядок перевищують аналогічні показники іонізації. Проте аналіз та прогнозування впливу параметрів технологічного режиму на кінцеві результати дещо проблематичний з двох причин. По-перше, опорним аналітичним параметром порівняння, який використовується для практичного застосування енергетичної моделі процесу, є система відносних енергетичних факторів. Проте їх абсолютна величина може порівнюватись кількісно тільки в межах одного матеріалу. По-друге, теоретичний оптимум, тобто система параметрів режиму, здатних забезпечити задані з врахуванням умов майбутньої експлуатації характеристики модифікованої поверхні, рідко може бути реалізований на практиці. Справа в тому, що ведучим параметром режиму є температура процесу, яка у звичайних умовах підтримується завдяки певній комбінації енергетичних характеристик. При цьому в першу чергу змінюють напругу між електродами розрядної камери (автоматично, якщо не застосовується баластний реостат). Залежно від площі деталей, охоплених розрядом, а також з врахуванням наявності локальних винятків на поверхні цих деталей (гострі ребра, вузькі щілини, отвори малого діаметра та інше), які служать концентраторами поля та збільшують локальну температуру, змінюють (збільшують) струм розряду. З названих причин реально можлива комбінація параметрів не завжди відповідає оптимуму, оскільки потужність розряду, яка і формує температуру процесу в принципі залежить від обох енергетичних характеристик, а вони в свою чергу також окрім всього іншого залежать від умов горіння розряду, які обумовлені особливостями конструкції розрядної камери та підвіски садки. Слід також зауважити, що складові потужності по-різному формують умови модифікації, оскільки напруга розряду в основному впливає на енергетику часток потоку, які бомбардують поверхню, а густина струму (з врахуванням зазначених вище факторів) – на кількісні характеристики потоку, що бомбардують поверхню часток. Саме ця складова енергетики розряду пояснює можливість досягнення певних результатів при азотуванні з оберненою полярністю, тобто отримані в ході дослідних процесів на установках, в яких деталь була електрично з'єднана з позитивним полюсом джерела живлення. В цьому випадку іонів в околі модифікованої поверхні взагалі не може бути.

### Постановка проблеми

Узагальнені положення методики формування моделі трибосистем при азотуванні в тліючому розряді викладені в [2]. Наведена в цій роботі схема взаємозв'язків в самому загальному вигляді відображає найбільш спрощену систему взаємозв'язків між окремими факторами, котрі в основному і формують кінцевий результат дослідження – модель трибосистеми. Очевидно, що висновки з вказаної роботи слід розглядати тільки як передумову для розробки детального алгоритму визначення та співвідношення між вихідними та кінцевими характеристиками модифікації металевої поверхні. В той же час незалежно від того, які характеристики будуть прийняті в якості опорних для оцінки придатності певного технологічного режиму модифікації поверхні (рівно як і взагалі метод обробки об'єктів модифікації), кінцевою метою дослідження є пошук шляху до призначення (в тому числі і автоматизованого) оптимальних параметрів технологічного режиму обробки з метою отримання таких наслідків модифікації, які забезпечували б максимально необхідну відповідно до умов експлуатації працездатність. Природно, пови-

нні бути задіяні і критерії, які відображають економіку процесу, проте ця теза в першу чергу стосується вибору методу модифікації, тобто вже на стадії призначення способу обробки повинні бути зважені всі переваги та недоліки технологічного процесу, включаючи і показники, котрі характеризують саме економічну доцільність застосування технологічного процесу (з врахуванням специфіки конкретного підприємства). Цю тезу слід першочергово враховувати в тому сенсі, що в певних ситуаціях впровадження навіть більш прогресивного та економічно вигіднішого технологічного процесу вимагає в умовах конкретного підприємства значних капіталовкладень на його реконструкцію, що може звести нанівець доцільність застосування технології.

### Концепція методики досліджень

Загальний алгоритм та система взаємозв'язків між факторами, які впливають на формування моделі модифікації металевої поверхні показано на рис. 1. В загальній постановці модифікації розподіляється на процеси, котрі впливають на весь об'єкт або певну його частину. Подібний розподіл в певній мірі дещо умовний, оскільки поверхнева обробка не може мати нескінченно малу глибину. Можливо доречним було б встановити певні граничні співвідношення між розмірами модифікованого шару та об'єкта обробки взагалі. Одним із найчастіше використовуваних методів поверхневої модифікації металів є азотування, а в означеній групі перспективним з точки зору наслідків та економіки є азотування в тліючому розряді, котре проводиться при певному режимі. Параметри цього режиму, як зазначалося раніше, розділяються на режимні та енергетичні. Характеристики (параметри) можуть бути абсолютними, відносними, стабільними протягом всього циклу обробки, змінними, взаємозалежними (залежність може бути повною або частковою з різними комбінаціями підпорядкованості) чи автономними (незалежними один від одного). Відповідно до цього встановлюються критерії енергетики процесу, оскільки в залежності від того, який субпроцес повинен бути превалюючим, той чи інший критерій може бути вирішальним. Наприклад, інтенсивність потоку часток, що бомбардують поверхню, в основному визначається густиною струму, а їхня енергія – напругою між електродами розрядної камери. Вихідними характеристиками стану поверхні є матеріал, з якого виготовлено об'єкт модифікації, особливості його форми, що в першу чергу впливає на динаміку виходу процесу на температурний режим. Останню тезу слід розглядати, виходячи з наступних положень. Оскільки наявність концентраторів поля призводить до локального швидкого нагріву поверхні, то швидкість виводу на режимну температуру повинна бути відповідною. Недотримання цього положення призводить до того, що локально об'єкт обробки нагрівається з більшою швидкістю, температура місць, де є концентрація поля, перевищує, задану технологічним режимом. Небезпека подібного порушення технології обробки в першу чергу полягає в ймовірності перевищення температури відпуску, тобто показники модифікації можуть бути меншими, ніж вихідний стан. Вибору певних комбінацій параметрів технологічного режиму передують дослідження впливу параметрів технологічного режиму на майбутню структуру модифікованого поверхневого шару. Для встановлення означених закономірностей слід вибрати методу, яка забезпечувала б найбільшу об'єктивність та відповідність їх реальним процесам. Окрім зазначеного вище впливу матеріалу, форми, ключове значення відіграє попередня хіміко-термічна обробка (ХТО). Результати азотування об'єктів, котрі попередньо пройшли ХТО, значно кращі порівняно з тими, що не оброблялись. Проте азотування подібних деталей вимагає підвищеного рівня контролю як температури взагалі, так і динаміки її зміни. Ще один аспект, який може впливати на якість модифікації – рівномірність характеристик поверхневого шару після ХТО, що в свою чергу в певній мірі обумовлюватиме аналогічний показник після обробки. Ще одна небезпека азотування деталей із значним коливанням характеристик поверхні після ХТО полягає в тому, що призначення параметрів технологічного режиму стає проблематичним, оскільки ця фаза процесу у значній мірі залежить і від вихідного стану поверхні. Ще один з головних факторів, який повинен бути врахованим у стадії вибору параметрів технологічного режиму обробки – умови майбутньої експлуатації. Ця теза відіграє ключову роль при прогнозуванні попередньої структури поверхні. В самому загальному вигляді структура модифікованої поверхні може включати зону нітридів та зону внутрішнього азотування. В деяких випадках майбутньої експлуатації бажана структура поверхневого шару може відрізнитись від класичної. Наприклад, надмірна твердість поверхні, яка як правило характерна модифікованому шарові із значним вмістом шару нітридів, може призвести до його суттєвої крихкості, що недопустимо, наприклад, для обробляючого інструменту. З врахуванням означених факторів формується модель проектної структури поверхні, а відтак – модель попередньої структури поверхні.

Різниця між цими поняттями полягає насамперед в тому, що попередня структура враховує окрім всього іншого реальний попередній стан поверхні, включаючи реальну нерівномірність характеристик поверхні. Отримана таким чином модель попереднього стану поверхні дозволяє вибрати як енергетичні критерії процесу, так і конкретні значення показників енергетики.

Дослідженню впливу енергетичних характеристик технологічного процесу на реальну структуру передують обґрунтування методики аналізу структури поверхні, оскільки вона у значній мірі може вплинути

ти на об'єктивність результатів подібного дослідження. Отриману реальну структуру аналізують, вибравши певні параметри структури. На основі цієї процедури визначають не тільки реальні показники, котрі відображають модифіковану поверхню, але й модель зв'язку структури з параметрами процесу.

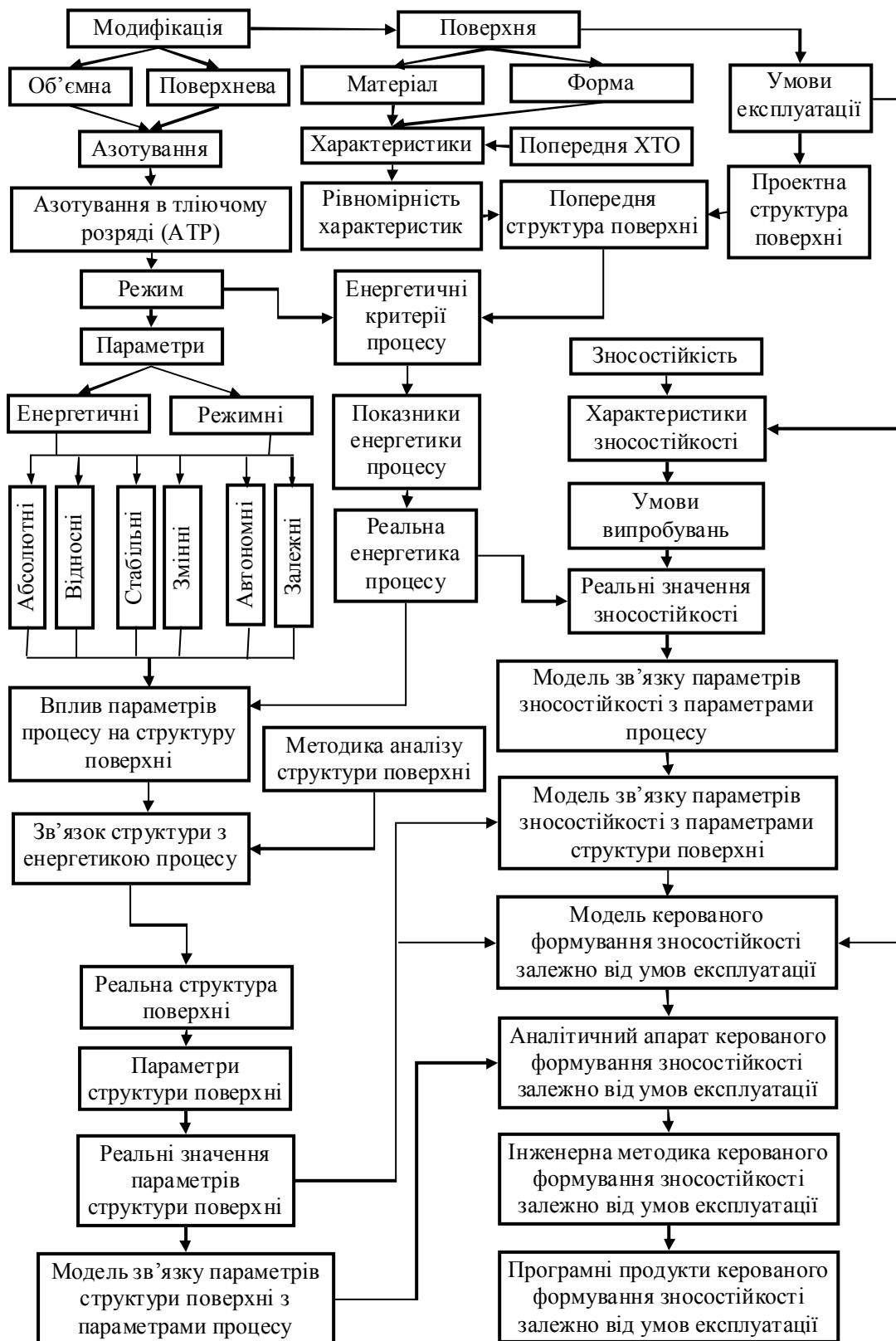


Рис. 1 – Схема взаємозв'язку в моделі модифікації поверхні азотуванням в тліючому розряді

Дослідження зносостійкості отриманої в результаті обробки поверхні проводиться після вибору характеристик, оскільки в певних умовах експлуатації пріоритет кожної з них – змінний. Важливе значення має також вибір умов випробувань, оскільки однотипна, без врахування реального стану поверхні технологія випробувань на зносостійкість може призвести до отримання необ'єктивної картини результатів обробки або термін досліджень стане не виправдано значним.

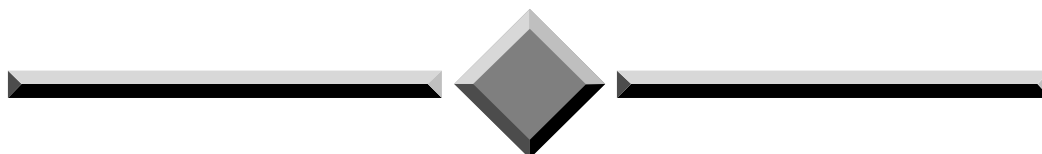
Подальше дослідження передбачає розробку моделей зв'язку параметрів зносостійкості з параметрами процесу модифікації, з врахуванням реальних значень параметрів структури – моделі зв'язку показників зносостійкості із структурою поверхні. Комплекс означених моделей дозволяє сформулювати модель керованого управління процесом за критерієм зносостійкості, яка становить основу для розробки аналітичного апарату керованого формування зносостійкості. З огляду на рівень складності аналітичного апарату розробляється інженерна методика керованого формування зносостійкості, а в залежності від рівня її складності вирішується доцільність розробки програмних продуктів, котрі дозволили б автоматизувати процес управління технологією.

### Висновки

Запропонована структура взаємозв'язків факторів та складових моделі модифікації поверхні азотуванням в тліючому розряді з незалежними параметрами може становити основу для автоматизації процесу керованого формування зносостійкості об'єктів обробки.

### Література

1. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.
2. Пастух І. М. Методика формування моделі трибосистем при азотуванні в тліючому розряді / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская, Г. И. Соколова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – №5. – С. 12-15.



## Проблеми трибології “Problems of Tribology” E-mail: [tribosenator@gmail.com](mailto:tribosenator@gmail.com)

Поступила в редакцію 27.05.2015

**Pastukh I.M., Sokolova G.M. Concept of research of the wear resistance of metal parts, nitrated in glow discharge with independent parameters.**

On the basis of impact complex the model of the study of the wear resistance of metal parts, nitrated in a glow discharge with the autonomous (independent) parameters of technological regime was generated. The structure of the relationship of factors and components of the model can be the basis for automating of the process of the wear resistance of metal parts controlled formation.

**Keywords:** nitration, tribosystem, glow discharge, model, independent parameters.

**References**

1. Pastukh I. M. *Theorija i praktyka bezvodородного азотирования в тлеющем разряде*. Kharkov, National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology". 2006. 364 p.
2. Pastuh I.M., Luk'yanyuk M.V., Kurskaya V.O., Sokolova G.I. *Metodika formuvannya modelu tribosystem pri азотуванні в тліючому розряді*. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2013. #5. S. 12–15.