

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ АЗОТУВАННІ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Наведена структура та послідовність формування моделі трибосистеми, яка утворена азотуванням в тліючому розряді

Ключові слова: трибосистема, модель, азотування, тліючий розряд.

I.M. PASTUKH, M.V. LUK'YANJUK, V.O. KURSKAJA, H.M. SOKOLOVA

Khmelnytsky National University

METHOD FOR THE FORMATION OF TRIBOSYSTEM MODELS BY NITRIDING IN A GLOW DISCHARGE

Abstract - A structural schematic and an analytical device for the formation of tribosystems (made via nitriding in a glow discharge) are developed. An analysis of factors is conducted which affect the researched tribosystem structure and properties as well as the role of each in the nitriding in a glow discharge process in general.

Keywords: nitration, tribosystem, glow discharge.

Вступ

Кінцевим результатом модифікації поверхні металів з використанням в якості активатора тліючого розряду є утворення певної структури приповерхневого шару, який в більшості випадків має призначення виконувати функції трибосистеми. Параметри цієї системи в основному залежать від сформованої як результату модифікації структури приповерхневого шару, його складу, характеристик та конкретних показників окремих елементів фаз, що входять в нього. Важливим фактором при цьому залишається питання прогнозування властивостей трибосистеми як наслідку перетворень металевої поверхні, параметрів зносостійкості і, в аспекті окремого розгалуження дослідження процесу – вибір його початкових параметрів режиму, причому, що, можливо, найбільш важливо – на основі концепції оптимізації технології. Аналітичні критерії подібної оптимізації розроблені на основі енергетичної моделі технології, основоположною засадою котрої є теза про те, що в конкретних умовах модифікації в першу чергу проходять ті субпроцеси (елементарні складові загального процесу), які в даний момент енергетично найбільш вигідні [1]. Проте слід зауважити, що отримані результати в основному характеризують процес якісно, оскільки практично адекватно відображають співвідношення параметрів та результатів модифікації в залежності від вхідних умов перетворень, але вкрай опосередковано стосуються кількісних характеристик. Іншими словами, на основі згаданої концепції можливий аналіз за схемою кращих чи гірших, відповідно – більших чи менших результатів обробки, але нереально отримати точні параметри кінцевих результатів. Для оптимізації технології в певних конкретних умовах її реалізації цього абсолютно достатньо, але в складних системах взаємовідношень вихідних та кінцевих параметрів потрібна інша модель, котра встановлювала б та враховувала б весь спектр взаємних залежностей умов модифікації та її результатів. Тому головним призначенням цієї роботи є розробка напрямків та основ переходу від параметрів технологічного режиму до характеристик результатів модифікації. Рішення подібної задачі дозволить не тільки прогнозувати потрібні результати, але й проектувати модифікаційні технології таким чином, щоб оптимально отримувати ті характеристики системи, які відповідають наперед заданим вимогам експлуатації, наприклад, з позицій зносостійкості тощо.

Взаємозв'язок факторів, які формують модель трибосистеми

В самому загальному вигляді на структуру моделі трибосистеми впливають не тільки технологічні параметри режиму модифікаційного процесу, але й структурні особливості попереднього стану поверхні, перетворення фазового складу металевої поверхні як результату обробки. На величину конкретних значень характеристик сформованої таким чином трибосистеми суттєво впливають також і методики випробувань та фіксації триботехнічних показників. В цьому випадку оптимальне рішення полягає у створенні таких умов експериментів з визначення параметрів трибосистеми, які б в ідеалі у повній мірі співпадали з реальними умовами експлуатації. Дійсно, значення зносостійкості, які отримані при контактному тиску, котрий суттєво перевищує тиск в реальній фрикційній системі, можуть зовсім неадекватно відображати працездатність модифікованого виробу, скажімо, за рахунок більшого впливу схоплювання поверхонь тощо. Спрощена структурна схема формування моделі трибосистеми показана на рис. 1.

В найпростішому вигляді модель трибосистеми є сукупністю взаємозв'язків між характеристиками окремих стадій її формування. В кінцевому варіанті саме в такій абстрактній формі ця модель являє собою залежність (точніше, багаторівневу систему залежностей) між параметрами модифікаційного процесу (факторами впливу) P та результуючими характеристиками трибосистеми R

$$R_y = r_y(P_1, P_2 \dots P_u),$$

y – індекс результуючої характеристики процесу, оскільки утворена як результат модифікації трибосистема як правило характеризується декількома показниками,

r – функція зв'язку першого переходу при формуванні багатфакторної моделі,

k – залежність певного типу між коефіцієнтами в рівняннях попереднього переходу та фактором з

індексом, рівним номеру поточного переходу,

u – число параметрів модифікаційного процесу, які впливають на результуючі характеристики трибосистеми, відповідно – число переходів формування моделі.



Рис. 1. Загальна структура формування моделі трибосистеми

Очевидно, що аналітичний опис на всіх рівнях послідовних переходів найбільш раціонально створюється за методикою формування багатофакторних моделей, викладеною в [1]. Суть її полягає в послідовному виключенні факторів впливу і, таким чином, утворенні системи залежностей, за допомогою яких розраховуються результати в залежності від всіх факторів впливу. Розглянемо означену методику на прикладі загального вигляду, при цьому введемо позначення:

R – результуюче значення моделі,

$P_1, P_2, \dots, P_u$ – вхідні параметри моделі (фактори впливу),

K – коефіцієнти рівнянь певного переходу (з відповідними переходу індексами, система формування яких викладена нижче),

$Z1, Z2, \dots, ZU$ – число коефіцієнтів в рівняннях певного переходу (обов'язковою вимогою методики формування багатофакторних моделей є те, що в будь-якому конкретному переході для всіх залежностей використовуються рівняння тільки одного типу, тобто число коефіцієнтів в одному переході завжди однакове),

Nu – номер послідовного переходу.

Послідовність залежностей у створеній моделі в дійсності обернена відносно послідовності операцій виключення факторів впливу. Це пов'язано з тим, що кінцевий результат визначається в останню чергу, першими ж в алгоритмі розрахунку є ті залежності, які стосуються фактора впливу, котрий виключається останнім [1]. Таким чином, на першому переході фактично встановлюється залежність між кінцевим результатом та тим фактором, який виключається першим. При виборі послідовності виключення факторів впливу керуються простим правилом: оскільки складність, а вірніше – громіздкість, системи залежить від числа коефіцієнтів в рівняннях певного переходу, то бажано щоб найбільш складні серед них були в структурі моделі останніми, а в алгоритмі обчислення першими. Тому на початку формування моделі проводиться зондує дослідження характеру впливу всіх вхідних параметрів на кінцевий результат і той з них, який впливає лінійно або взагалі не змінює результату, приймається в якості першого фактору виключення. Слід зауважити, що не варто зловживати спрощенням характеру впливу, оскільки це неминує призведе до зниження точності моделі. Це правило стосується також закруглення коефіцієнтів, бо в деяких випадках необхідно використовувати їх значення до декількох знаків після коми, що при сучасних методах обчислення не викликає ніякої процедурної складності.

Отже на першому переході ($Nu=1$) встановлюється залежність між конкретною результуючою характеристикою трибосистеми та першим в послідовності виключення фактором впливу (параметром модифікаційного процесу)

$$R(P_1, P_2, \dots, P_u) = r(P_1, K_1(P_2), K_2(P_2), \dots, K_{Z1}(P_2)). \quad (1)$$

Згідно з концепцією формування моделі в наступному переході ($Nu=2$) виявляється залежність коефіцієнтів в рівнянні (1) від наступного фактора впливу P_2 . При цьому число рівнянь буде дорівнювати кількості коефіцієнтів в рівнянні (1)

$$K_1(P_2) = k_1(P_2, K_{11}(P_3), K_{12}(P_3), \dots, K_{1(Z2)}(P_3)),$$

$$K_2(P_2) = k_2(P_2, K_{21}(P_3), K_{22}(P_3), \dots, K_{2(Z2)}(P_3)),$$

...

$$K_{Z1}(P_2) = k_{Z1}(P_2, K_{(Z1)1}(P_3), K_{(Z1)2}(P_3), \dots, K_{(Z1)(Z2)}(P_3)).$$

Далі (перехід, номер якого $Nu=3$) коефіцієнти в рівняннях другого переходу, позначення котрих від K_{11} до $K_{(Z1)(Z2)}$, зв'язуються залежностями з наступним в послідовності виключення параметром P_3

$$K_{11}(P_3) = k_{11}(P_3, K_{111}(P_4), K_{112}(P_4), \dots, K_{11(Z3)}(P_4)),$$

$$K_{12}(P_3) = k_{12}(P_3, K_{121}(P_4), K_{122}(P_4), \dots, K_{12(Z3)}(P_4)),$$

$$\begin{aligned} & \dots \\ & K_{1(Z2)}(P_3) = k_{1(Z2)}(P_3, K_{1(Z2)1}(P_4), K_{1(Z2)2}(P_4), \dots, K_{1(Z2)(Z3)}(P_4)), \\ & K_{21}(P_3) = k_{21}(P_3, K_{211}(P_4), K_{212}(P_4), \dots, K_{21(Z3)}(P_4)), \\ & \dots \\ & K_{2(Z2)}(P_3) = k_{2(Z2)}(P_3, K_{21(Z2)1}(P_4), K_{2(Z2)2}(P_4), \dots, K_{2(Z2)(Z3)}(P_4)), \\ & \dots \\ & K_{(Z1)1}(P_3) = k_{(Z1)1}(P_3, K_{(Z1)11}(P_4), K_{(Z1)12}(P_4), \dots, K_{(Z1)1(Z3)}(P_4)), \\ & \dots \\ & K_{(Z1)(Z2)}(P_3) = k_{(Z1)(Z2)}(P_3, K_{(Z1)(Z2)1}(P_4), K_{(Z1)(Z2)2}(P_4), \dots, K_{(Z1)(Z2)(Z3)}(P_4)). \end{aligned}$$

Структура рівнянь четвертого переходу ($Nu=4$) аналогічна попереднім, тому обмежимося тільки першим та останнім

$$\begin{aligned} & K_{111}(P_4) = k_{111}(P_4, K_{1111}(P_5), K_{1112}(P_5), \dots, K_{111(Z4)}(P_5)), \\ & \dots \\ & K_{(Z1)(Z2)(Z3)}(P_4) = k_{(Z1)(Z2)(Z3)}(P_4, K_{(Z1)(Z2)(Z3)1}(P_5), K_{(Z1)(Z2)(Z3)2}(P_5), \dots, K_{(Z1)(Z2)(Z3)(Z4)}(P_5)) \end{aligned}$$

З наведених викладок відслідковується система формування рівнянь моделі будь-якої складності, котра, як зазначалось вище визначається числом факторів впливу та кількістю коефіцієнтів в рівняннях певного переходу. Кількість рівнянь в кожному переході (за винятком першого, де завжди одне рівняння) дорівнює числу коефіцієнтів в попередньому, або, враховуючи, що в останньому переході коефіцієнти є сталими величинами, оскільки вже всі фактори впливу виключені, визначається як добуток кількості коефіцієнтів в рівняннях всіх переходів за винятком останнього. Загальне число рівнянь в моделі є сумою кількості рівнянь на всіх переходах

$$Z_p = 1 + Z1 \cdot Z2 \cdot \dots \cdot Z(u-1).$$

Для виведення принципу загальної структури рівнянь введемо поняття індексу i , який змінюється від $1 \dots 1$ (кількість одиниць на одиницю менше номера переходу Nu) до $(Z1)(Z2) \dots (Z(Nu))$. Тоді загальна структура рівнянь матиме вигляд

$$K_{(i)}(P_{Nu}) = k_{(i)}(P_{Nu}, K_{(i)1}(P_{Nu+1}), K_{(i)2}(P_{Nu+1}), \dots, K_{(i)(Zu)}(P_{Nu+1})).$$

Перевірку цього принципу проведемо на прикладі моделі, в якій чотири фактори впливу, причому приймемо, що число коефіцієнтів в переходах від першого до останнього відповідно буде рівнятись 2, 3, 2, 3. Тоді структура моделі матиме вигляд

$$\begin{aligned} R(P_1, P_2, P_3, P_4) &= r(P_1, K_1(P_2), K_2(P_2)) \\ K_1(P_2) &= k_1(P_2, K_{11}(P_3), K_{12}(P_3), K_{13}(P_3)) \\ K_2(P_2) &= k_2(P_2, K_{21}(P_3), K_{22}(P_3), K_{23}(P_3)) \\ K_{11}(P_3) &= k_{11}(P_3, K_{111}(P_4), K_{112}(P_4)) \\ K_{12}(P_3) &= k_{12}(P_3, K_{121}(P_4), K_{122}(P_4)) \\ K_{13}(P_3) &= k_{13}(P_3, K_{131}(P_4), K_{132}(P_4)) \\ K_{21}(P_3) &= k_{21}(P_3, K_{211}(P_4), K_{212}(P_4)) \\ K_{22}(P_3) &= k_{22}(P_3, K_{221}(P_4), K_{222}(P_4)) \\ K_{23}(P_3) &= k_{23}(P_3, K_{231}(P_4), K_{232}(P_4)) \\ K_{111}(P_4) &= k_{111}(P_4, K_{1111}, K_{1112}, K_{1113}) \\ K_{112}(P_4) &= k_{112}(P_4, K_{1121}, K_{1122}, K_{1123}) \\ K_{121}(P_4) &= k_{121}(P_4, K_{1211}, K_{1212}, K_{1213}) \\ K_{122}(P_4) &= k_{122}(P_4, K_{1221}, K_{1222}, K_{1223}) \\ K_{131}(P_4) &= k_{131}(P_4, K_{1311}, K_{1312}, K_{1313}) \\ K_{132}(P_4) &= k_{132}(P_4, K_{1321}, K_{1322}, K_{1323}) \\ K_{211}(P_4) &= k_{211}(P_4, K_{2111}, K_{2112}, K_{2113}) \\ K_{212}(P_4) &= k_{212}(P_4, K_{2121}, K_{2122}, K_{2123}) \\ K_{221}(P_4) &= k_{221}(P_4, K_{2211}, K_{2212}, K_{2213}) \\ K_{222}(P_4) &= k_{222}(P_4, K_{2221}, K_{2222}, K_{2223}) \\ K_{231}(P_4) &= k_{231}(P_4, K_{2311}, K_{2312}, K_{2313}) \\ K_{232}(P_4) &= k_{232}(P_4, K_{2321}, K_{2322}, K_{2323}) \end{aligned}$$

Очевидно, що реальний вигляд моделі представляється як система рівнянь конкретної форми відповідно до їхнього типу r чи k (з відповідними індексами), причому замість коефіцієнтів, позначених в

рівняннях буквою K з індексами повинні стояти конкретні числові значення, встановлені в процесі апроксимації залежностей. Найпростіше цю операцію виконувати в обчислювальній системі типу MathCAD із застосуванням процедур поліномів або функції *genfit*. І, нарешті, як зазначалось вище, послідовність розрахунків повинна бути оберненою до наведеної вище, тобто першим в наведеному прикладі обраховується значення коефіцієнта $K_{232}(P_4)$, останнім визначається результат $R(P_1, P_2, P_3, P_4)$.

Розгорнута логічна схема взаємозв'язків при утворенні моделі формування трибосистеми показана на рис. 2. В ній відображені не тільки ті фактори, котрі безпосередньо пов'язані з утворенням самої системи, але також і ті, які використовуються для оптимізації параметрів технологічного режиму модифікаційного процесу.

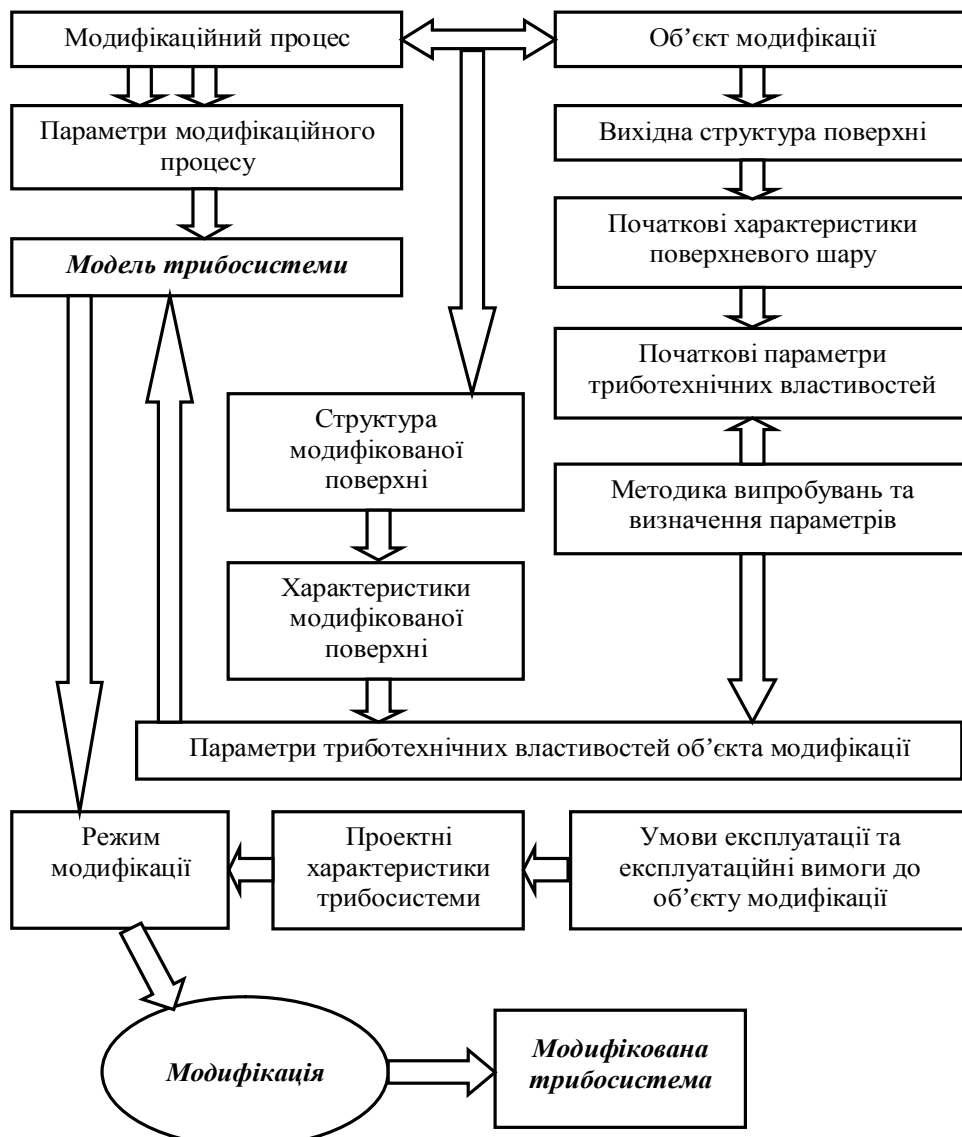


Рис. 2. Логічна схема взаємозв'язків при утворенні моделі формування трибосистеми

Висновок

Розроблений апарат формування моделі трибосистеми може використовуватись як для визначення її характеристик, так і для розробки параметрів технології, яка б забезпечувала б виконання експлуатаційних вимог. При цьому при виконанні зазначених вище умов досягається висока точність адекватності теоретичної моделі стосовно реальної.

Література

1. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Харьков, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.

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.