

УДК 622.24.051:536.2:004.942

**В. А. Дутка***Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля  
НАН України, м. Київ***КОМП'ЮТЕРНА ОЦІНКА ТВЕРДОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ  
ДЕРЖАВКИ РІЗЦЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ЗАГАРТУВАННЯ**

Запропоновано чисельну методику оцінки твердості та товщини загартованого приповерхневого шару державки твердо-сплавного різця в результаті загартування у водяному розчині солей і основ після індукційного паяння. Приведено результати для випадків загартування в рідині з температурою 300, 200 і 100 °С. Показано, що шляхом варіації охолоджувальних властивостей гартівної рідини можна забезпечити високий рівень твердості робочої поверхні державки.

**Ключові слова:** *комп'ютерне моделювання, поверхнєве загартування у розчині солей і основ, твердість, загартований шар.*

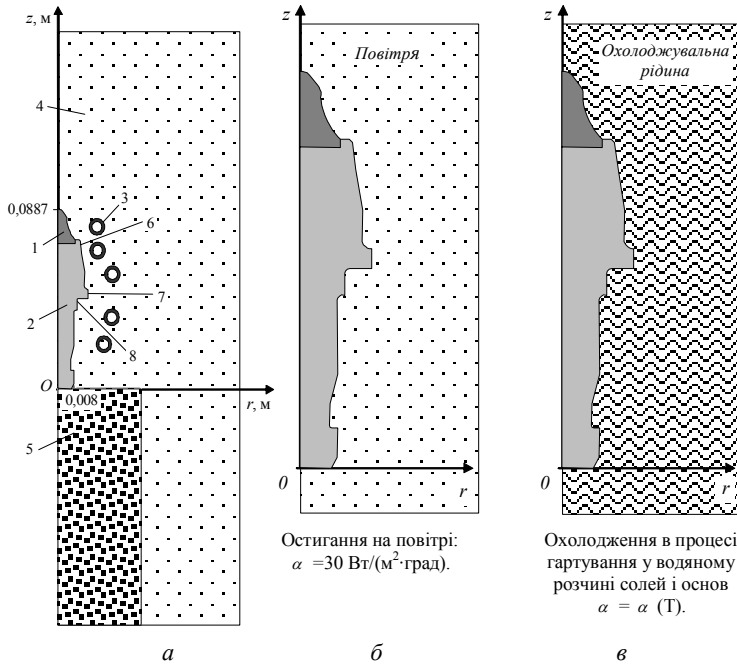
**Вступ.** Стійкість робочої поверхні сталльної державки твердо-сплавного різця під час роботи по міцних середовищах (асфальтобетон, граніт) прямо пропорційна твердості поверхневого шару державки. Для суттєвого підвищення твердості сталі (на 20-30 HRC) проводять її загартування [1, с.67; 2, с.212]. З метою зменшення матеріалота енерговитрат здійснюють загартування зразу ж після індукційного припаювання твердосплавної вставки до державки [3]. При цьому необхідно перед загартуванням забезпечити на поверхні державки відповідний рівень та розподіл температури [1, с.68-69; 4]. З цією метою в роботі [4] виконано комп'ютерне моделювання температурного поля в різці в процесі його індукційного паяння та охолодження на повітрі при перенесенні від індуктора в гартівну рідину. В результаті проведених комп'ютерних експериментів було вибрано потрібну конфігурацію індуктора. Для цієї конфігурації індуктора з метою здійснення індукційного паяння при різних частотах та величинах електричного струму було виконано обчислення розподілу температури в різці для інтервалів частоти струму індуктора 20-66 кГц та діючої величини струму індуктора 400-750 А. За отриманими результатами побудовано в тривимірному просторі координат "сила струму індуктора-частота струму-тривалість індукційного паяння" поверхню параметрів для вибору оптимальних режимів паяння.

Наступним кроком після формування температурного поля в різці для загартування його сталльної державки є вибір оптимальних режимів загартування. Тому в даній статті з цією метою, а також з метою визначення можливості загартування робочої поверхні держа-

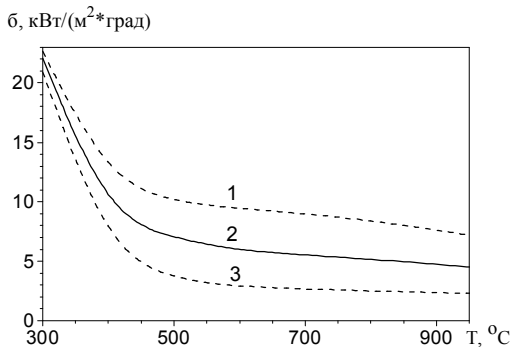
вки різця проведено комп'ютерне оцінювання твердості та товщини приповерхневих шарів. Розглянуто випадки загартування у водяному розчині солей і основ з різною температурою гартівної рідини.

**Чисельна методика оцінки твердості та товщини загартованого приповерхневого шару державки різця.** Методика комп'ютерної оцінки твердості та товщини загартованого приповерхневого шару державки різця полягає в наступному: 1) спочатку будуються графіки зміни в часі температури в точках поверхні державки та приповерхневого шару під час гартування; 2) за цими графіками та з використанням термодинамічних діаграм (ТКД) для сталі визначаються товщина загартованого шару та твердість. При цьому, як і в роботі [4], використовується раніше розроблена чисельна осесиметрична модель температурного поля різця на трьох стадіях його термічної обробки: 1) в процесі індукційного паяння, 2) під час охолодження на повітрі при перенесенні в гартівну рідину, 3) при охолодженні в процесі загартування. Розрахункові просторові області зображено на *рис. 1*. Обчислення виконано для тих самих конфігурацій різця та індуктора, що і в [4], і таких параметрів режиму термообробки: діюча величина струму в індукторі – 500 А, частота струму – 66 кГц, охолодження різця на повітрі при перенесенні його від індуктора в гартівну суміш – протягом 15 с, після цього – охолодження в гартівній суміші. Значення теплофізичних властивостей матеріалів було вибрано такими, як і в [4], температурна залежність коефіцієнту теплообміну (тепловіддачі)  $\alpha$  на поверхні різця при його охолодженні у водяному розчині солей і основ була вибрана такою, як вказано на *рис. 2* суцільною лінією. Штриховими лініями тут позначено верхню та нижню межі значень температурної залежності коефіцієнту  $\alpha$  при охолодженні металічного зразка у водяному розчині солей і основ [1, с.58].

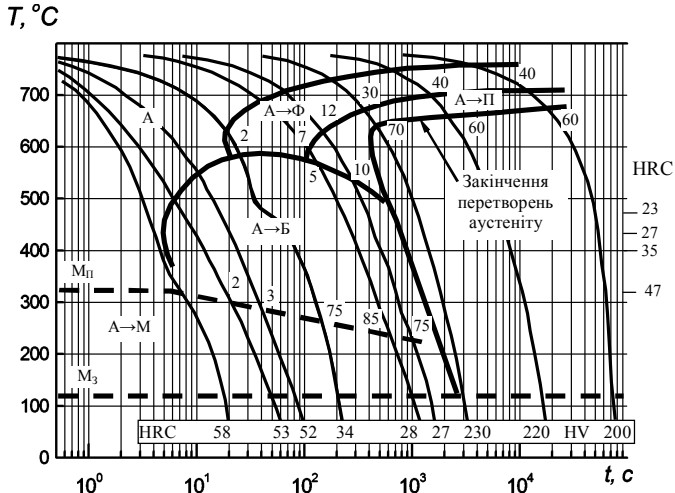
Для визначення товщини загартованого шару сталевий державки та твердості було використано ТКД для сталі. Оскільки в літературних джерелах не вдалось знайти ТКД для сталі 35ХГСА, то було використано діаграму для сталі 35ХМ [5, с.192] (*рис. 3*) – заміника сталі 35ХГСА. Жирними лініями на *рис. 3* позначено границі областей фазових перетворень: А → Ф – аустеніт → ферит, А → П – аустеніт → перліт, А → Б – аустеніт → бейніт, А → М – аустеніт → мартенсит. Тонкі лінії відповідають експериментальним траєкторіям охолодження зразків (ТКД-траєкторії), цифрами позначено відсотковий вміст фериту, перліту та бейніту при виході із відповідних областей. Також на даній діаграмі вказано за шкалами Роквелла та Віккерса твердість зразків, охолоджених по відповідних ТКД-траєкторіях. Штриховими лініями позначено температурні межі початку та закінчення мартенситних перетворень в сталі 35ХГСА, визначені згідно з рекомендаціями [5, с.39-43].



**Рис. 1.** Розрахункові схеми (половина осьового перерізу): індукційного паяння різця (а), остигання на повітрі (б), охолодження при загартуванні (в): 1 – вставка різця (сплав ВК8); 2 – державка різця (сталь 35ХГСА); 3 – витки індуктора (мідь); 4 – повітря; 5 – підставка (вогнетривка цегла); 6 – зона біля вставки; 7 – буртик державки; 8 – зона біля буртика

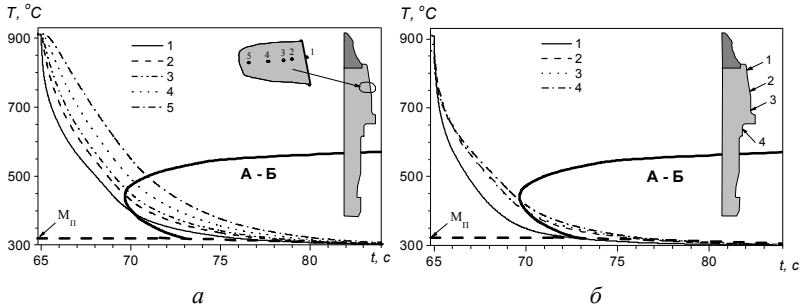


**Рис. 2.** Залежність коефіцієнта  $\alpha$  теплообміну від температури поверхні металічного зразка при охолодженні його у водяному розчині солей і основ: 1 – верхня межа значень  $\alpha$ , 2 – “середнє” значення, 3 – нижня межа значень  $\alpha$  (за даними [1, с.58])

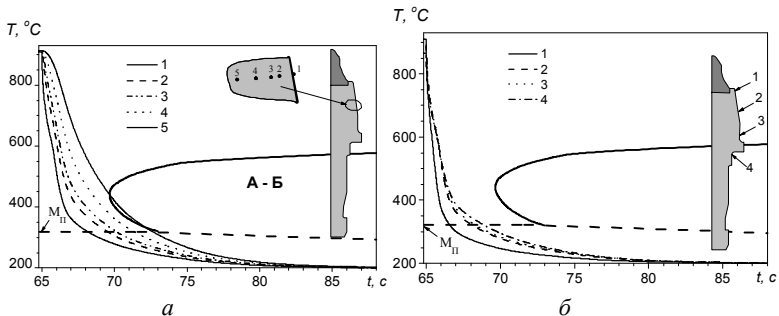


**Рис. 3.** Термокінетична діаграма перетворення переохолодженого аустеніту для сталі 35ХМ [5, с.192]: А – аустеніт, Ф – ферит, Б – бейніт, П – перліт, М – мартенсит; М<sub>п</sub>, М<sub>з</sub> – температура початку та закінчення мартенситних перетворень аустеніту (штриховими лініями позначено температурні межі початку та закінчення мартенситних перетворень для сталі 35ХГСА)

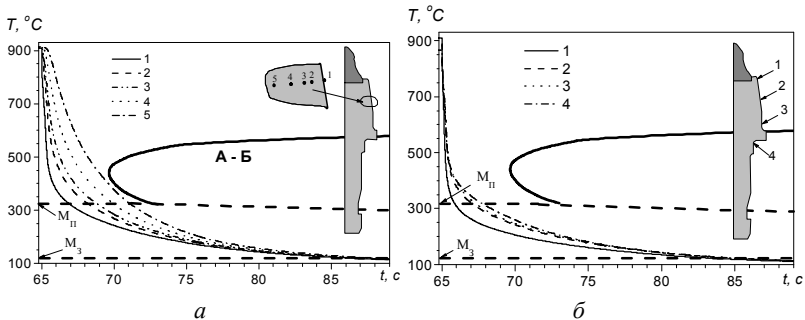
**Результати комп'ютерних експериментів.** Чисельні експерименти було виконано для трьох випадків загартування державки різця у рідині з температурою 300, 200 і 100 °С. За результатами обчислень побудовано графіки зміни в часі температури в точках приповерхневого шару державки і її поверхні та картини розподілу температури в об'ємі різця. На *рис. 4* представлено результати для випадку загартування в рідині з температурою 300 °С. Із *рис. 4а* видно, що траєкторії охолодження вказаних точок приповерхневого шару державки за 5-6 с із області аустеніту (А) потрапляють в область фазових перетворень аустеніту в бейніт (А-Б) і за 10-20 секунд, згідно з *рис. 3*, досягають температурної межі початку мартенситних перетворень М<sub>п</sub>. Причому на виході із області А→Б в зоні знаходження цих точок міститиметься близько 2 % бейніту. Якщо після досягнення межі М<sub>п</sub> далі здійснити протягом 100 секунд охолодження нижче від температурної межі М<sub>з</sub> ≈ 125 °С [1, с.33] закінчення мартенситних перетворень в сталі 35ХГСА, то в указаній зоні державки приповерхневий шар товщиною близько 4 мм (віддалі між точками 1 і 5 шару) може бути загартованим до твердості 50-52 HRC. Якщо ж після досягнення межі М<sub>п</sub> провести ізотермічне загартування державки з витримкою близько 100 с при температурі 300 °С, а потім охолодити за 1 хв. нижче від температури закінчення мартенситних перетворень в сталі, то, згідно із ТКД (*рис. 3*) можливо отримати твердість загартованого шару на рівні 45 HRC.



**Рис. 4.** Зміна температури в точках приповерхневого шару державки (а) та поверхні державки (б) в процесі загартування при температурі гартівної рідини  $T_{гр} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$  (“жирною” лінією виділено область фазових перетворень “аустеніт→бейніт”,  $M_{II}$  – температура початку мартенситних перетворень аустеніту; точки 1, 2, 3, 4 і 5 мають відповідно координати: (0,0123; 0,0676), (0,0114; 0,0675), (0,0109; 0,0675), (0,0097; 0,0673), (0,0081 м; 0,0671 м))



**Рис. 5.** Зміна температури в точках приповерхневого шару державки (а) та поверхні державки (б) в процесі загартування при температурі 200 °С гартівної рідини



**Рис. 6.** Зміна температури в точках приповерхневого шару державки (а) та поверхні державки (б) в процесі загартування при температурі 100 °С гартівної рідини

З рис. 4б видно, що по мірі наближення точок поверхні державки від зони біля буртика (рис. 1) до зони біля вставки їх ТКД-траєкторії в більш пізні моменти часу потрапляють в область А→Б. Звідси випливає, що в результаті загартування твердість поверхні державки зростає в указаному напрямі на поверхні державки.

Як показують результати обчислень, величина коефіцієнту  $\alpha(T)$  (рис. 2) достатня для того, щоб забезпечити при загартуванні державки у водяному розчині солей і основ швидкість охолодження більшу від критичної. Однак для досягнення більшої твердості поверхні державки та більшої товщини загартованого приповерхневого шару потрібно збільшити охолоджувальну спроможність гартівної рідини [6, с.204-206]. Відомо, що одним із способів збільшення охолоджувальної спроможності гартівної рідини є зниження її температури  $T_{гр}$ . Тоді ТКД-траєкторії для досліджуваних точок державки при охолодженні в процесі гартування обминають область фазових перетворень аустеніту в бейніт і прямують в область перетворень аустеніту в мартенсит. Це підтверджують результати обчислень для випадків  $T_{гр} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $T_{гр} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , представлені на рис. 5 і 6. Так, при температурі гартівної рідини  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  товщина шару, ТКД-траєкторії точок якого обминають область А-Б, дорівнює приблизно 3 мм (віддалі між точками 1 і 4 (рис. 5а), а при  $T_{гр} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  товщина цього шару перевищує 4,2 мм (рис. 6а). Відомо [1, с.32; 6, с.167], що твердість мартенситу більша від твердості всіх інших, крім цементиту, структур сталі. Із рис. 5б і 6б видно, що для двох вказаних випадків температури гартівної рідини  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ТКД-траєкторії всіх точок робочої поверхні державки прямують в область фазових перетворень аустеніту в мартенсит, обминаючи при цьому область перетворення аустеніту в бейніт. Причому, у випадку  $T_{гр} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  вже за 20 с гартування температура всієї робочої поверхні державки стає меншою від температури  $M_3$  закінчення мартенситних перетворень в сталі 35ХГСА. Звідси випливає, що в цьому випадку, згідно із ТКД (рис. 3), можна отримати твердість загартованої робочої поверхні державки, максимально можливу для даної марки сталі – близько 57 HRC [1, с.50]. З рис. 6а видно, що близькою до максимально можливої буде твердість приповерхневого шару державки товщиною 4,2 мм. З рис. 4-б з урахуванням ТКД (рис. 3) випливає, що шляхом зниження температури гартівної рідини можна досягнути вищого рівня твердості загартованого шару державки. При цьому видно, що по мірі підвищення твердості збільшується також товщина загартованого шару. Очевидно, що для більш досконалого керування рівнем твердості та товщиною загартованого шару можна використовувати різні режими гартування, наприклад, у вигляді “сходинки” [1, с.67; 6, с.214-215].

Таким чином, на підставі порівняння результатів обчислень для трьох випадків загартування у водяному розчині солей і основ можна зробити висновок, що шляхом варіації охолоджувальних властивостей

гартівної рідини – в даному випадку варіації температури гартівної рідини – можна забезпечити близький до необхідного (в рамках можливої для даної марки сталі) рівень твердості робочої поверхні державки.

**Обговорення отриманих результатів.** При моделюванні температурного поля в різці в процесі гартування використовуються дані для величини коефіцієнту теплообміну на поверхні різця в гартівній рідині. Тому при вивченні можливості загартування сталльної поверхні державки до певного рівня твердості та отримання необхідної товщини загартованого шару є важливою адекватність інформації про температурну залежність коефіцієнту теплообміну.

В даній роботі підвищення міцності робочої поверхні державки пов'язувалось з підвищенням твердості. Однак відомо [6, с.211-213; 7], що на міцність загартованої деталі впливають також як залишкові напруження, так і напруження, що виникають внаслідок фазових перетворень при загартуванні. Тому вказані обставини необхідно врахувати для уточнення характеристик міцності загартованої державки різця.

Приведені в даній статті результати числових досліджень є наступним етапом комплексної роботи по вибору оптимальних режимів індукційного паяння твердосплавних різців та їх загартування з метою забезпечення максимальної стійкості при роботі по складних середовищах. Очевидно, що отримані теоретичні результати не можна вважати остаточними для вироблення рекомендацій щодо здійснення загартування поверхні державки твердосплавних різців. Також важливим є проведення лабораторних досліджень процесу загартування. Однак результати даної роботи можуть бути корисними при виборі режимів гартування.

**Висновки.** Запропоновано чисельну методику оцінки твердості та товщини загартованого приповерхневого шару державки твердосплавного різця в результаті загартування у водяному розчині солей і основ після індукційного паяння різця. Показано, що шляхом варіації охолоджувальних властивостей гартівної рідини можна забезпечити необхідні рівень твердості робочої поверхні державки та товщину її приповерхневого загартованого шару. Встановлено, що при ізотермічному загартуванні державки різця у водяному розчині солей і основ при температурі гартівної рідини 100 °С можна отримати товщину загартованого приповерхневого шару державки близько 4 мм з твердістю на рівні максимально можливого для даної марки сталі.

#### Список використаних джерел:

1. Шмыков А. А. Справочник термиста. – М.: Машгиз, 1961. – 392 с.
2. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. и др. Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. Новіков М. В., Лукаш В. А., Вировець Л. М. Створення вітчизняного виробництва ріжучого інструменту для дорожно-фрезерних машин // Наука та інновації. – 2005. – Т.1. – № 3. – С.112-117.

4. Дутка В. А. Комп'ютерне формування температурного поля твердосплавного різця для його індукційного паяння та гартування // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 2. – С.72-78.
5. Попов Л. Е., Попов А. А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста. – М.: Металлургия, 1991. – 503 с.
6. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 360 с.
7. Жук Я. О., Червінко О. П., Васильєва Л. Я. Уточнена модель структурних перетворень в тонкому сталевому циліндрі при тепловому опроміненні торця. – Доп. НАН України. – 2007. – № 4. – С.53-58.

The numerical technique for estimation of quench hardness and thickness of hardened case of tool holder after induction brazing and case-hardening in solution of salt and alkali is proposed. The results for cases of case-hardening in quencher at temperature 300, 200 and 100 °C are presented. It is shown that by variation of the cooling properties of quencher the high hardness of hardened surface can be obtained.

**Key words:** *computer simulation, case-hardening in solution of salt and alkali, quench hardness, hardened case.*

Отримано: 05.06.2008

**Yu. Zagorodni<sup>1</sup>, V. Voytenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Kyiv National University of Taras Shevchenko*

<sup>2</sup>*King's University College, Canada*

## **CALCULATION OF FUNCTION FOR POPULATION DYNAMICS MODEL WITH CONTINUOUS-TIME AGE**

In this article, we present an approach to identify functions in population process model with continuous-time age. The main consideration was given to functions identification of birth, mortality, migration and specific function “becoming mature”. Such functions could be defined analytically or by using specific numeric procedure. A numerical example is given to demonstrate the method, along with computer application to population analysis in Canada and Ukraine.

**Key words:** *population dynamics, the birth rate, functions identification, continuous-time age.*

### **1. Model description of population dynamics with continuous-time age**

Population models are used in biology and ecology to model the dynamics of wildlife or human populations. In common, population is as an aggregate of elements of one biological type subject to particular changes [6]. For social systems, element of population is a person or group of per-