

УДК 004.942:621.785:621.9.025.7

В. А. Дутка, канд. техн. наук; **А. Л. Майстренко**, докт. техн. наук;
В. М. Колодніцький, канд. фіз.-мат. наук; **В. А. Лукаш**, канд. техн. наук;
Л. М. Вировець, інж.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ У ТВЕРДОСПЛАВНОМУ РІЗЦІ В ПРОЦЕСІ ЙОГО ІНДУКЦІЙНОГО ПАЯННЯ ТА НЕІЗОТЕРМІЧНОГО ГАРТУВАННЯ

The results of numerical investigation of temperature field in cutters with the hard-alloy inserts during three stages of thermal treatment – induction soldering, cooling in air and hardening in liquid medium are presented. The inductor configuration for induction soldering and creation temperature field for hardening is obtained. The numerical simulation of temperature field in cutter body during hardening-process for two cases of choice of the hardening compound is considered: 1 case – water solution of salt and alkali, and 2 case – liquid nitre. It is shown, that in two cases the temperature fields in steel cutter body are analogous in the same time moments in begin of hardening-process. It follows that in two cases in the same time moments in begin of hardening-process the analogous structural transformation will occur. But with time the analogy of temperature fields in steel cutter body in two cases of hardening disappears.

На заключному етапі виготовлення твердосплавних різців (рис. 1) для дорожньо-фрезерних машин є важливою їх термічна обробка, яка складається із трьох послідовних стадій. На першій стадії здійснюється індукційне паяння різця [1], на другій стадії відбувається остигання різця на повітрі при перенесенні його від індуктора в рідку охолоджувальну суміш для загартовування і на третій стадії проводиться різке охолодження різця в процесі його ізо-термічного гартування в розчині солей і/або основ.

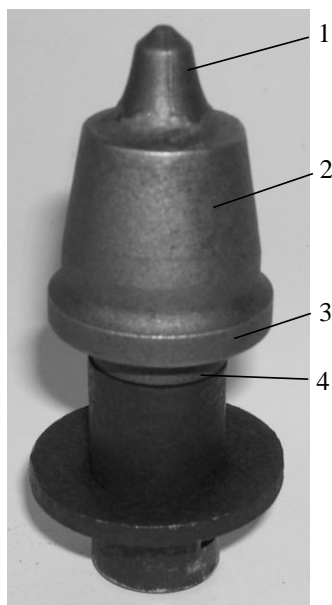


Рис. 1. Різець для оснащення дорожньо-фрезерних машин: 1 – твердосплавна вставка; 2 – державка; 3 – буртик; 4 – зона за буртиком різця.

На першій стадії процес індукційного нагрівання різця проводять таким чином, щоб, по-перше, за відносно короткий час (≈ 60 с) забезпечити якісне припаювання твердосплавної вставки 1 до сталевій державки 2 різця (див. рис. 1) і, по-друге, в кінці другої стадії забезпечити в зоні закріплення різця на ріжучому барабані дорожньо-фрезерної машини – в зоні 4 за буртиком 3 різця – температуру для загартовування близько 870°C [2]. Якщо для припаювання вставки використовують припій МНМц 68-4-2-ТУ-48-21-674-80, то в кінці першої стадії на всій поверхні контакту вставки з державкою слід забезпечити рівень температури його плавлення не менше 930°C [3, 4].

Крім того, на першій стадії треба провести індукційне нагрівання таким чином, а тривалість другої стадії вибрати такою, щоб в кінці другої стадії рівень температури в зоні припаювання вставки до державки різця був нижчим на $15\text{--}20$ градусів від температури плавлення припою. Тривалість другої стадії вибирається по можливості якнайкоротшою (з точки зору досягнення високої продуктивності праці), однак з таким розрахунком, щоб реалізувати вказані вище умови, а також щоб не перевищити допустимої швидкості нагрівання твердосплавної

вставки, про що відзначено в [1]. Реалізація процесу термообробки різця на перших двох стадіях здійснюється шляхом вибору конфігурації індуктора (кількість витків обмотки індуктора, їх розміри та розміщення відносно різця) і параметрів режиму нагрівання (частота електромагнітного поля індуктора, сила струму в індукторі).

Тривалість третьої стадії термообробки залежить від теплофізичних властивостей охолоджувальної суміші, її температури, способу охолодження і т. п. Оскільки від структурних перетворень в державці різця, що відбуваються на третій стадії, прямо залежать характеристики його міцності, а структурні перетворення визначаються переважно характером температурного поля та швидкістю його зміни, то з метою забезпечення високої міцності готового різця є важливим дослідження його температурного поля в процесі термічної обробки.

В [1] представлено результати попередніх чисельних досліджень температурного поля твердосплавного різця під час його індукційного паяння. Нижче наведено результати комп'ютерного дослідження температурного поля твердосплавного різця на всіх трьох стадіях його термічної обробки. Розрахункові просторові області для кожної із стадій термообробки наведені на рис. 2.

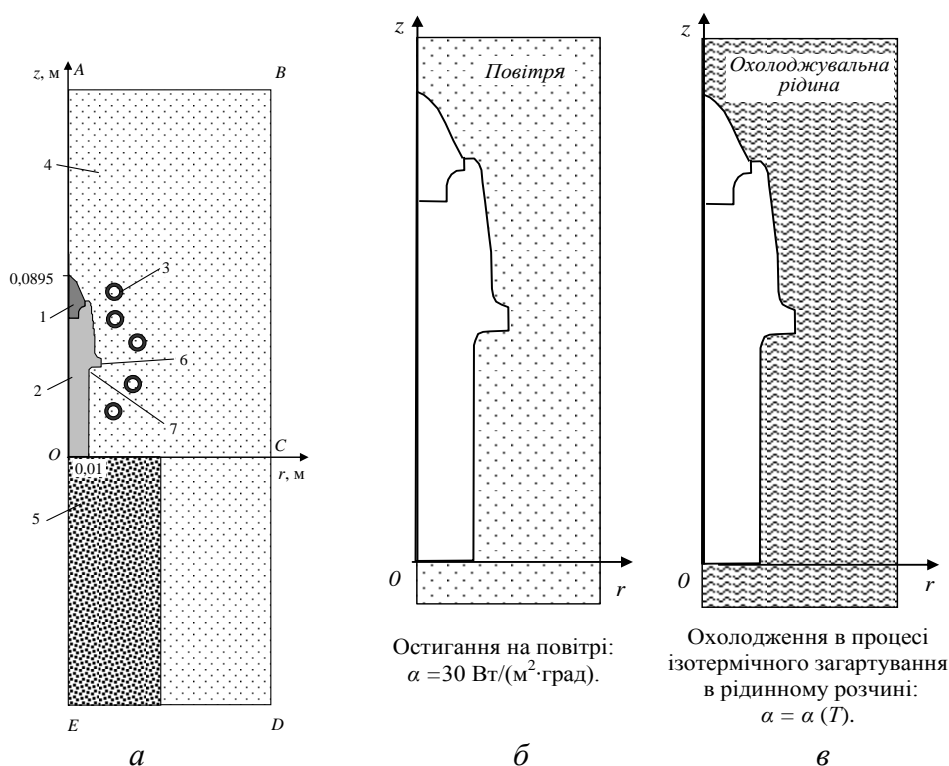


Рис. 2. Розрахункові схеми (половина осевого перерізу): а – індукційного нагрівання різця; б – остигання різця на повітрі; в – охолодження різця в процесі гартування в розчині солей і/або основ: 1 – вставка різця (твердий сплав марки ВК); 2 – державка різця (сталь 35ХГСА); 3 – витки індуктора (мідь); 4 – навколишній повітряний простір; 5 – підставка; б – буртик державки різця; 7 – зона поверхні різця біля буртика.

Схему а використовували для розрахунків характеристик електромагнітного та теплового полів в тілі різця на першій стадії його термічної обробки, при цьому розглядалась осесиметрична чисельна модель [1]. В процесі індукційного нагрівання різець знаходиться на підставці 5 із термостійкого матеріалу (вогнетривка цегла). В обчисленнях межу ABCDE розрахункової області було вибрано на такій відстані від індуктора 3 і різця, що в точках цієї межі електромагнітне поле практично зникає (величини його характеристик майже на два порядки менші, ніж в області джерела електромагнітного поля – індуктора).

В обчисленнях геометричні параметри трубки індуктора, частоту електромагнітного поля в індукторі, значення теплофізичних властивостей матеріалів та величину коефіцієнта конвективного теплообміну на бічній поверхні різця і поверхнях вогнетривкої цегли було вибрано такими ж, як і в [1]. З метою забезпечення вказаних вище умов для загартування твердосплавного різця було проведено серію числових експериментів по вибору конфігурації індуктора та режиму нагрівання. Одна із таких конфігурацій наведена на рис. 2, а: п'ять витків обмотки індуктора та координати їх центрів (у метрах): першого (верхнього) витка – (0,023; 0,08), другого – (0,023; 0,068), третього – (0,033; 0,056), четвертого – (0,032; 0,034), п'ятого – (0,022; 0,022). Діюча величина електричного струму в індукторі становила 450 А.

Для чисельного дослідження теплового стану різця на другій стадії термообробки – в процесі перенесення його від індуктора у ємність з охолоджувальною рідиною – використовували розрахункову схему б (рис. 2). При цьому враховували, що конвективний теплообмін відбувається на всій поверхні різця, а величину коефіцієнта конвективного теплообміну вибирали такою ж, як і на першій стадії.

Аналогічну схему обчислень розподілу температури в різці використовували і для третьої стадії – процесу загартування в охолоджувальній рідині (у водяному розчині солей і основ, у рідкій селітрі) з температурою, близькою до 300 °С. У цьому разі, як показує аналіз літературних джерел [5, 6], величина коефіцієнта конвективного теплообміну α істотно залежить від температури поверхні тіла, що охолоджується, від хімічного складу охолоджувальної рідини, її температури і т. п. Для числових експериментів було вибрано два випадки застосування охолоджувальних рідин, коефіцієнти конвективного теплообміну α металевих тіл в яких мають діаметрально протилежний характер температурної залежності. В першому випадку було вибрано водяний розчин солей і основ, а в другому – рідку селітру. Для обох випадків температурну залежність коефіцієнта α [6] зображено графічно на рис. 3.

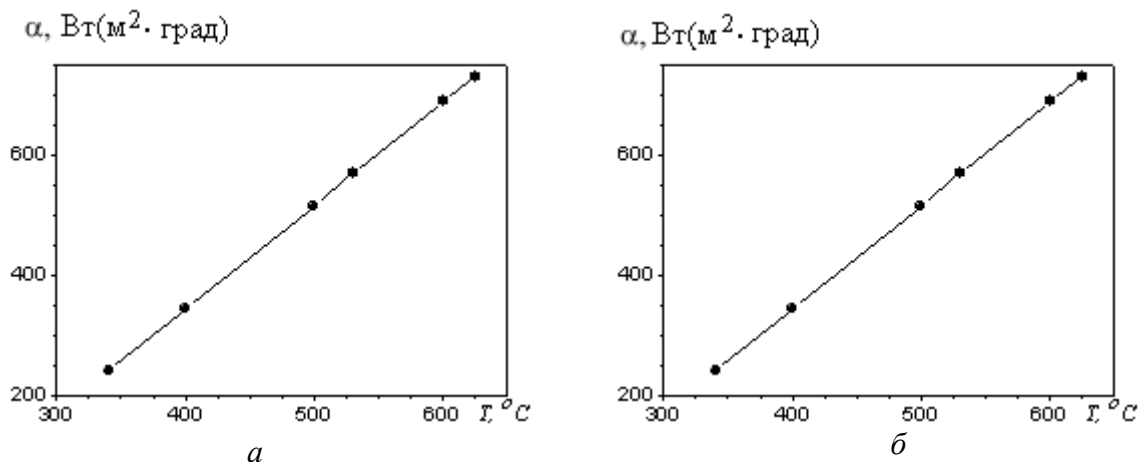


Рис. 3. Залежність коефіцієнта конвективного теплообміну від температури поверхні металевого зразка під час охолодження його у водяному розчині солей і основ (а) та в розплавленій селітрі (б).

За зменшення температури до 300 °С величина коефіцієнта конвективного теплообміну у водяному розчині зростає. Це пояснюється тим, що за температур 200–300 °С відбувається кипіння води з утворенням плівки біля охолоджуваної поверхні, яке переходить у кипіння з утворенням бульбашок, що приводить до перемішування рідини та відповідно інтенсифікації теплообміну [5]. Цілком протилежною за характером є температурна залежність коефіцієнта теплообміну в розчині селітри за температур, що перевищують 300 °С (рис. 3, б): зі збільшенням температури коефіцієнт α зростає згідно з лінійною залежністю: $\alpha(T) = -395 + 1,98T$.

На рис. 4 наведено графіки зміни в часі температури в характерних точках тіла різця в тому разі, коли на стадії гартування різця процес охолодження відбувається в водяному роз-

чині солей і основ. Римськими цифрами I, II і III позначено відповідно першу, другу і третю стадії термічної обробки. Видно, що як було відзначено в [1], на першій стадії можна виділити два часових проміжки: один проміжок триває від початку індукційного нагрівання $t = 0$ до моменту $t_{\text{мп}}$ досягнення на поверхні державки різця температури магнітних перетворень, а другий – практично від моменту $t_{\text{мп}}$ до кінця нагрівання t_1 . На цих проміжках швидкість нагрівання має суттєво різні величини: швидкість нагрівання на першому проміжку майже в п'ятеро більша, ніж в другому.

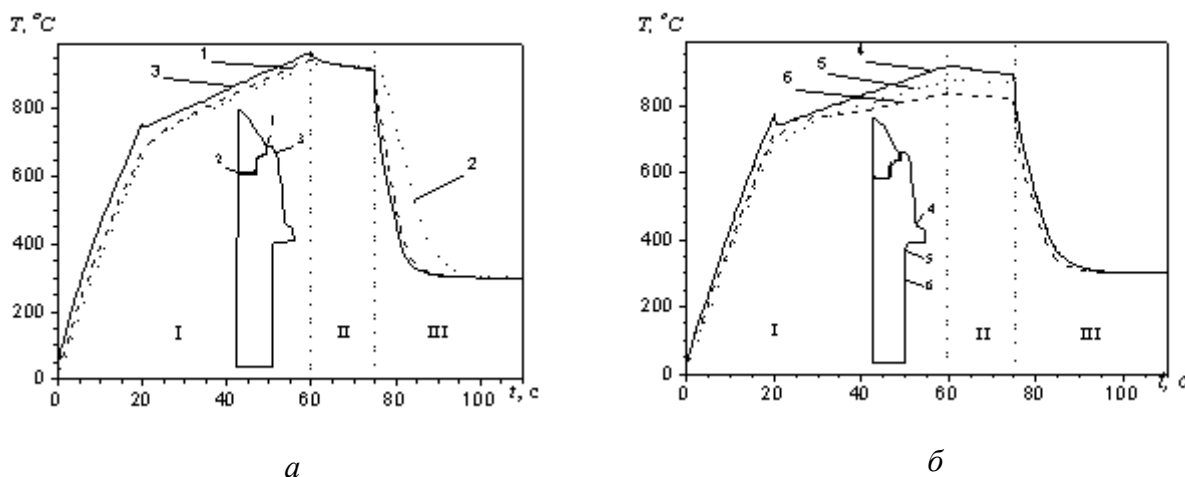


Рис. 4. Температурний режим контрольних точок 1, 2, 3 (а) та 4, 5, 6 (б) тіла різця в процесі його індукційного нагрівання (0–60 с), охолодження на повітрі (60–75 с) та під час охолодження у водяному розчині солей і основ (75–105 с).

На II-й стадії – стадії остигання різця на повітрі – відбувається, по-перше, вирівнювання температури в різці і, по-друге, плавне зниження температури із бігом часу (див. рис. 4). Причому температура в точках поверхні припаювання твердосплавної вставки до державки різця практично стає однаковою (точки 1 і 2, рис. 4,а) і знижується в процесі остигання на 20–30 °C (рис. 5, а, б).

Температура в зоні за буртиком різця (точка 5, рис. 4,б) зменшується незначно (на 5–7 °C) і досягає в кінці другої стадії рівня, близького до 870 °C, який рекомендується для загартування сталі 35ХГСА [2]. Слід зазначити, що характер температурного поля на першій і другій стадіях для першого випадку такий саме, як і для другого.

На III-й стадії – у разі охолодження різця у водяному розчині солей і основ – відбувається за короткий час (≈ 8 с, див. рис. 4, рис. 5, з) різке зниження (майже на 500 °C) температури поверхні твердосплавної вставки та частини поверхні державки різця, яка простягається від буртика державки різця до вставки. Менш повільно відбувається зниження температури у внутрішніх точках об'єму різця. Як показують результати розрахунків, вже за 15 с після початку загартування майже на всій поверхні різця температура дорівнює температурі охолоджувальної рідини, а вже через 30 с остигання практично завершується (рис. 5, з). Швидкоплинність процесу остигання різця пояснюється тим, що в цьому разі за зменшення температури поверхні до 300 °C суттєво збільшується інтенсивність конвективного теплообміну (майже в шість разів).

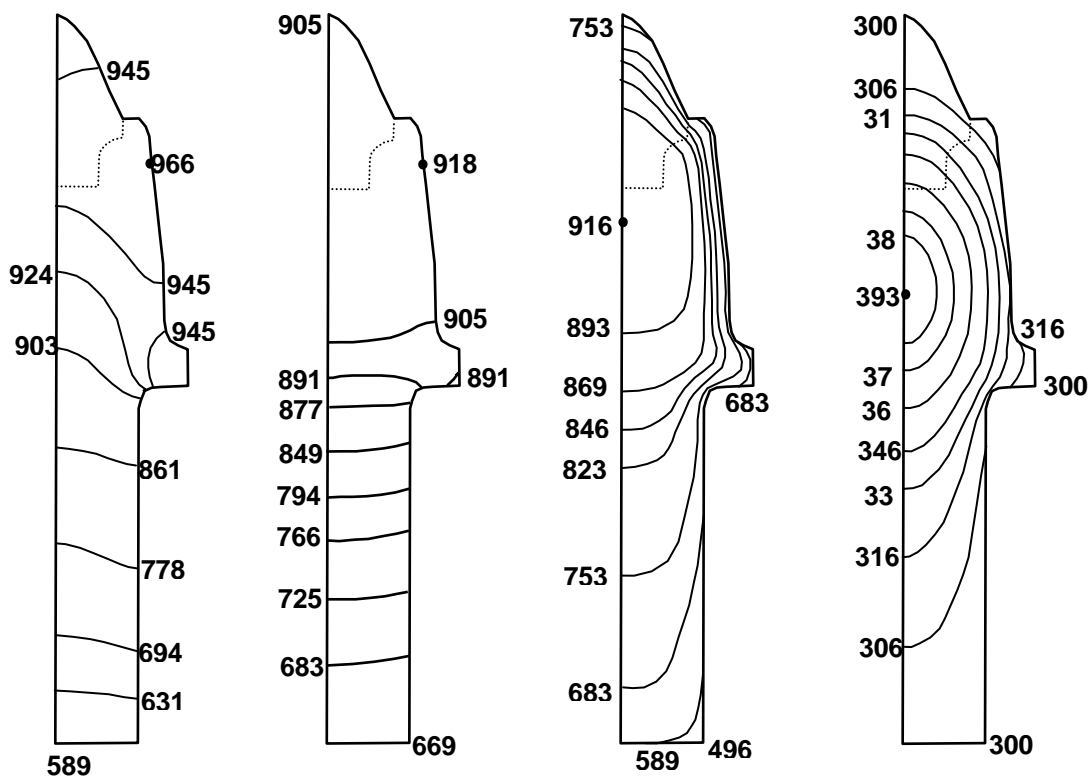


Рис. 5. Розподіл температури у вставці та в державці різця в різні моменти часу: а, б – стадія остигання на повітрі в моменти часу 60 і 75 с та в, г – стадія гартування у водяному розчині солей і основ у моменти часу 76 і 90 с відповідно.

У разі гартування різця у рідкій селітрі в початкові моменти (75–77 с) спостерігається також різке зниження температури поверхні твердосплавної вставки та частини поверхні державки різця, котра знаходиться між буртиком та вставкою (рис. 6 та рис. 7,а). Причому, як видно із рис. 5,в і рис. 7,а, у разі охолодження у водяному розчині солей і основ та охолодження в розчині селітри спостерігаються подібні картини розподілу температури в тілі твердосплавної вставки і частині об'єму державки різця від буртика до вставки в однакові початкові моменти загартування.

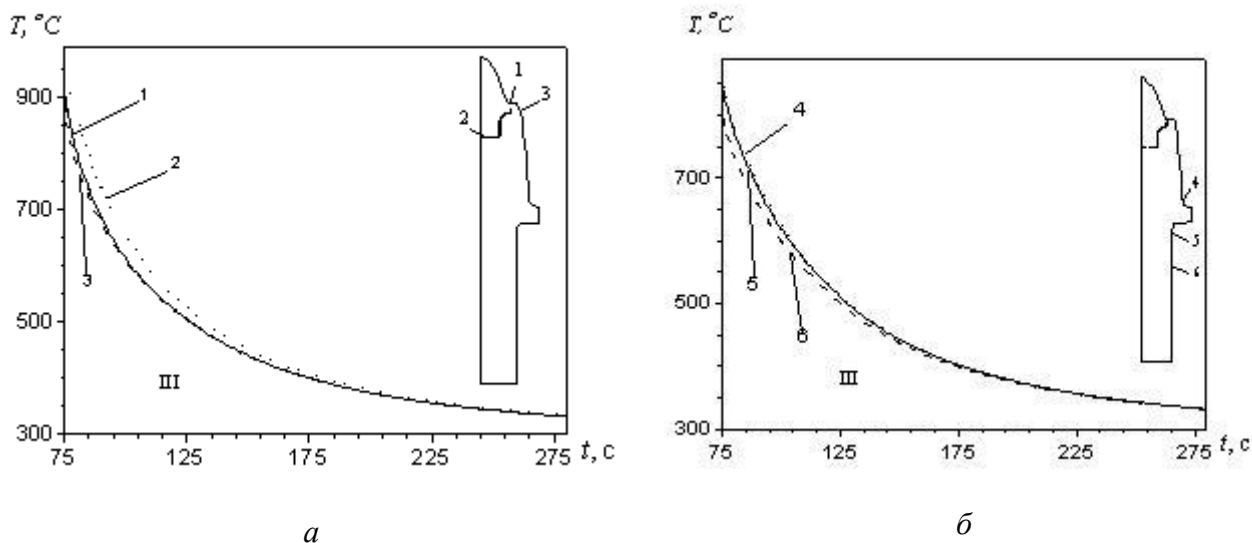


Рис. 6. Зміна в часі температури контрольних точок різця у разі застосування рідкої селітри з температурою 300 °С.

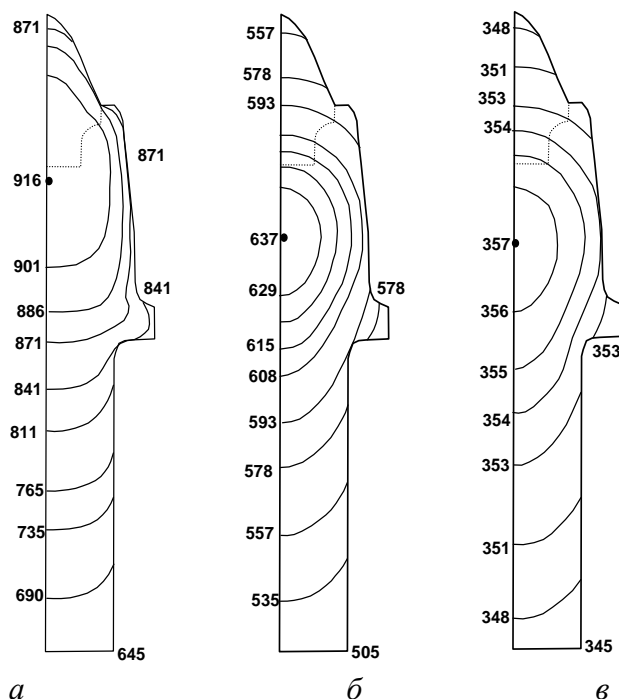


Рис. 7. Розподіл температури у вставці та в державці різця в різні моменти часу t (с) під час гартування у розчині селітри (стадія III (75–260 с), див. рис. 6): а – 75,8; б – 105; в – 230 с.

Це пов'язано з тим, що в початкові моменти загартування на вказаній частині поверхні різця (котра нагріта до температур 850–900 °С) значення коефіцієнтів конвективного теплообміну для двох випадків вибору гартувальної рідини, що розглядаються, є близькими між собою. Тобто протягом декількох секунд на початку гартування швидкості зміни температури в об'ємі різця від буртика до вставки для обох розглянутих випадків охолодження є практично однаковими. Як відомо [6], рівень температури та швидкість її зміни визначальним чином впливають на структурні перетворення в металі. Тому на основі отриманих результатів обчислень можна зробити висновок, що у обох випадках гартування, що розглядаються, – як у разі застосування водяного розчину солей і основ, так само й рідкої селітри, – на початку процесу загартування різця в державці відбуватимуться практично однакові структурні перетворення.

Таким чином, із бігом часу в тілі державки різця у двох розглянутих випадках гартування в однакові моменти спостерігаються різні картини як значень температурного поля, так і швидкості його зміни. Тому можна зробити висновок, що з часом в державці різця у вказаних двох випадках використання гартувальних рідин відбуватимуться вже різні структурні перетворення.

Отримані результати обчислень можуть бути використані для оптимізації процесу термічної обробки твердосплавних інструментів дорожньо-фрезерних машин та для подальших досліджень структурних перетворень у них в процесі гартування.

Висновки

В результаті проведення обчислень отримано конфігурацію індуктора для створення в процесі індукційного паяння на поверхні та в тілі різця розподілу температури, потрібного для його наступного загартування. Виконано чисельний аналіз температурного поля твердосплавного різця на трьох стадіях його термічної обробки в процесі індукційного паяння та загартування для двох випадків вибору рідинних середовищ (в першому випадку – водяний розчин солей і основ, у другому – рідка селітра), котрі характеризуються діаметрально протилежною температурною залежністю коефіцієнта конвективного теплообміну.

Показано, що як у разі гартування різця у водяному розчині солей і основ, так і під час гартування його в рідкій селітрі, на початку процесу (декілька секунд) в однакові моменти часу в тілі сталевій державки різця спостерігаються майже однакові картини температурного поля та швидкості його зміни. Звідси випливає, що в обох випадках на початку процесу гартування в однакові моменти часу в тілі різця відбуватимуться практично однакові структурні перетворення. Однак із бігом часу такої аналогії характеру температурного поля державки різця для розглянутих випадків не спостерігається.

Література

1. Майстренко А. Л., Дутка В. А., Колодніцький В. М. та ін. Забезпечення високої міцності різців з твердосплавними вставками на основі комп'ютерного моделювання індукційного паяння // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 9. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – С. 333–337.
2. Общетехнический справочник / Е. А. Скороходов, В. П. Законников, А. Б. Пакнис и др., под ред Е. А. Скорохова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 512 с.
3. РТМ 8–80. Основные конструкторские нормы. – К.: ИСМ НАН Украины, 1980. – 277 с.
4. Крапивин М. Г., Раков И. Я., Сысоев Н. И. Горные инструменты. – М.: Недра, 1990. – 256 с.
5. Казакивичюс К. А., Нарбутене Д. В., Часовской Е. Н. и др. Сопротивление нитридокремниевой керамики термоудару // Пробл. прочности. – 1988. – № 11. – С. 57–60.
6. Шмыков А. А. Справочник термиста. – М.: Машгиз, 1961. – 392 с.

Поступила 03.07.2007.