

Інструмент, порошки, пасты

УДК 622.24.051:536.2:004.942

В. А. Дутка (м. Київ)

Комп'ютерне формування температурного поля твердосплавного різця для його індукційного паяння та загартування

Наведено результати чисельних експериментів по формуванню температурного поля поверхні державки твердосплавного різця для його індукційного паяння та подальшого загартування. При цьому використано розроблену раніше комп'ютерну модель температурного поля твердосплавного різця в процесі його індукційного паяння. Показано, що за величиною швидкості нагрівання весь інтервал часу паяння можна розбити на дві стадії: перша — швидке нагрівання — триває від початку до моменту досягнення температури магнітних перетворень, а друга — повільне нагрівання — триває решту часу паяння. На першій стадії швидкість нагрівання поверхні державки різця в 5—6 разів більша, ніж на другій. За результатами обчислень побудовано в тривимірному просторі координат час—частота—струм в індукторі поверхню параметрів, яку можна використати для вибору режимів індукційного паяння.

Ключові слова: *температурне поле, чисельне моделювання, твердосплавний різець, індукційне паяння, загартування.*

Заключний етап виготовлення твердосплавних різців обертового типу для фрез дорожньо-фрезерних машин складається з двох важливих технологічних процесів: припаювання твердосплавної вставки до сталльної державки різця і загартування державки. Загартування здійснюється з метою підвищення зносостійкості поверхні державки біля твердосплавної вставки. Однак його необхідно проводити таким чином, щоб забезпечити також високу міцність державки на згин в процесі роботи різця у фрези. Необхідна міцність державки потрібна в зоні її кріплення в металічному кулаці фрези, оскільки найбільш небезпечною є зона біля буртика державки, яка працює на згин.

Як відомо [1], для досягнення високої міцності деталі на згин при дії ударних навантажень повинна бути забезпечена достатня в'язкість серцевини. Поєднання високої твердості робочої поверхні з достатньою в'язкістю серцевини неможливо досягнути за допомогою суцільного загартування. Це завдання вирішують шляхом цементації або за допомогою поверхневого загартування робочої частини деталі.

© В. А. ДУТКА, 2008

Для досягнення високої продуктивності праці при виготовленні різців та мінімізації енерговитрат процеси паяння вставки до державки різця і загартування державки доцільно здійснювати неперервно один за другим. Для того, щоб здійснити загартування сталюї державки, потрібно після припаювання до неї тврдосплавної вставки забезпечити на поверхні останньої необхідний рівень температури. За рядом показників для виготовлення державки було вибрано сталь марки 35ХГСА [2]. Як відомо [3], для загартування деталей із доевтектоїдної сталі 35ХГСА необхідно мати рівень температури на 30—50 °С вищий від температури A_{c3} — температури $\beta \rightarrow \gamma$ перетворення в сталі. Рекомендований рівень температури для загартування деталей зі вказаної сталі становить близько 870 °С [4]. Ефективним способом нагрівання для поверхневого загартування є нагрівання струмом високої частоти за допомогою індуктора.

В [5] виконано математичне моделювання процесу індукційного паяння (далі за текстом — паяння) тврдосплавного різця в циліндричному індукторі. В [6] проведено комп'ютерне моделювання температурного поля різця в процесі паяння, після цього — під час охолодження різця на повітрі при перенесенні його в гартівну рідину і потім — в процесі охолодження різця при гартуванні його в гартівній рідині. Метою даної роботи є вибір параметрів режиму нагрівання та геометричних параметрів індуктора для здійснення процесу паяння тврдосплавної вставки до сталюї державки різця і забезпечення на поверхні останньої рівня температури, необхідного для подальшого загартування. Для цього була використана вказана вище математична модель температурного поля різця при його паянні та охолодження на повітрі. З метою підвищення надійності закріплення різця в кулаці на поверхні фрези була вибрана дещо видозмінена порівняно з [5, 6] його форма (рис. 1). В указаних роботах вибирали конфігурацію індуктора таким чином, щоб після паяння можна було зручно змістити різець відносно індуктора ввєрх для подальшого його перенесення в гартівну рідину. Однак виявилось, що з технологічної точки зору більш ефективним є зміщення різця вниз відносно індуктора. З цією метою спроектовано пристрій, а в даній роботі за результатами проведених числових експериментів вибрано для цього відповідні конфігурації індуктора, одна з яких зображена на рис. 1, а.

Для обмотки індуктора вибрано мідну трубку діаметром 0,008 м із товщиною стінки 0,001 м. Центри осьового перерізу витків індуктора мають такі координати, м: (0,02, 0,08), (0,023, 0,068), (0,033, 0,056), (0,032, 0,032), (0,025, 0,020). При цьому важливо зазначити, що радіус найширшої частини різця в зоні буртика 7 (див. рис. 1, а) дорівнює 0,016 м.

При використанні вказаної конфігурації індуктора було виконано серію обчислень температурного поля в об'ємі різця для чотирьох величин частоти f струму індуктора — 20, 30, 45 і 66 кГц в кожному з трьох випадків тривалості процесу паяння $t_{\text{інд. п}}$ — 50, 60 і 70 с. Після закінчення індукційного нагрівання різець охолоджувався на повітрі протягом 15 с. При цьому для кожної пари значень величин f і $t_{\text{інд. п}}$ в результаті чисельних експериментів визначали таку силу струму I в індукторі, яка забезпечувала би описаний вище необхідний для загартування різця розподіл температури на його поверхні в кінці охолодження. При моделюванні процесу охолодження різця на повітрі було вибрано, аналогічно [6], коефіцієнт конвективного теплообміну на поверхні різця $\alpha = 30$ Вт/(м²·град).

Результати обчислень у вигляді графіків залежності величини струму в індукторі від частоти для заданої тривалості процесу паяння представлені на

рис. 2. Для отримання кожної з точок було проведено від двох до п'яти чисельних експериментів. Видно, що для кожної з фіксованих тривалостей індукційного нагрівання величина струму в індукторі є обернено пропорційною до частоти. Це впливає також із відомих формул [3] для вибору параметрів нагрівання металічних деталей змінним електричним струмом.

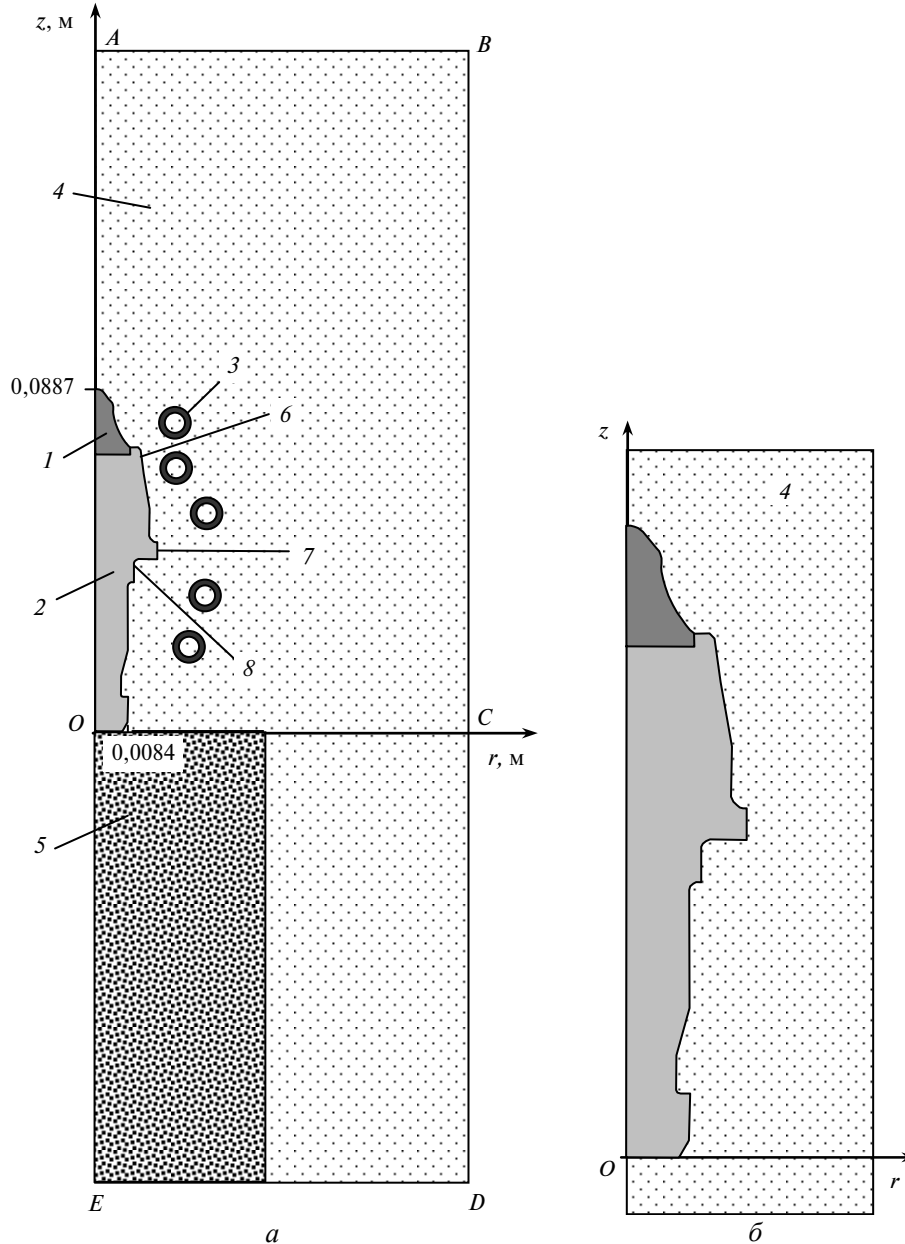


Рис. 1. Розрахункова схема (половина осьового перерізу) індукційного паяння (а) та охолодження (б) різця на повітрі: 1 — вставка різця (твердий сплав ВК8); 2 — державка різця (сталь 35ХГСА); 3 — витки індуктора (мідь); 4 — повітряне середовище; 5 — підставка; 6 — зона поверхні різця біля вставки; 7 — буртик корпусу різця; 8 — зона поверхні різця біля буртика.

Як виявилось в результаті аналізу отриманих картин розподілу температури в об'ємі різця, для кожної зі вказаних точок кривих, зображених на рис. 2,

спостерігаються практично однакові картини температурного поля в об'ємі різця в момент закінчення паяння (рис. 3, а), хоч швидкості нагрівання при різних тривалостях паяння є різними (рис. 4). Звідси, очевидно, впливає, що для всіх вказаних точок (див. рис. 2) майже однаковими мають бути і картини розподілу температури в об'ємі різця після охолодження його на повітрі протягом однакового часу, що спостерігається в результаті обчислень. На рис. 3, б представлена типова картина температурного поля в об'ємі різця в кінці охолодження на повітрі протягом 15 с.

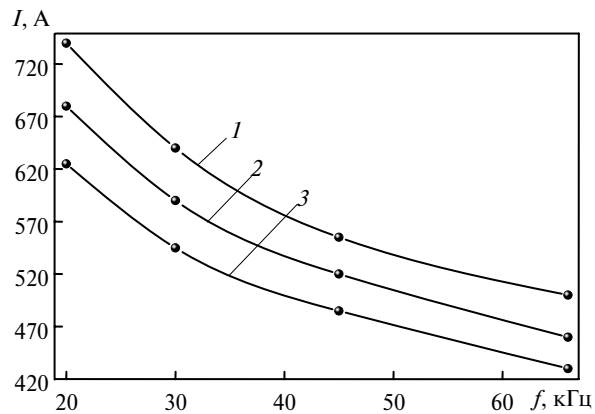


Рис. 2. Залежність діючої величини електричного струму в індукторі від його частоти при забезпеченні необхідного розподілу температури на поверхні різця для загартування після паяння протягом 50 (1), 60 (2) і 70 (3) с та подальшого охолодження на повітрі протягом 15 с.

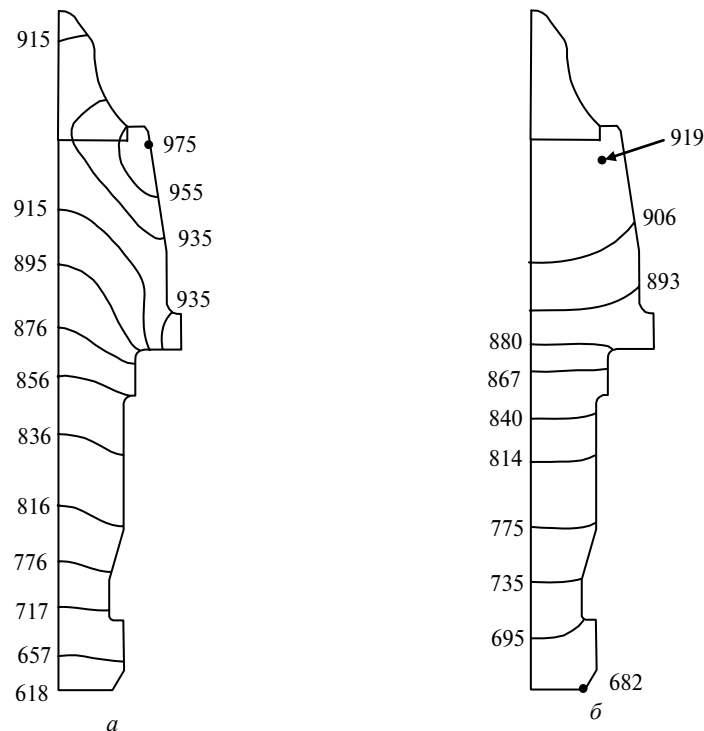


Рис. 3. Розподіл температури в об'ємі твердосплавного різця в кінці процесу його паяння та в кінці охолодження на повітрі в момент часу 60 с (а) та 75 с (б) відповідно при діючій величині струму нагрівання 520 А та частоті струму 45 кГц.

З рис. 3, а видно, що для вибраної конфігурації індуктора в момент закінчення процесу паяння перепад температури на поверхні державки різця між зоною біля твердосплавної вставки і зоною за буртиком (див. рис. 1) дорівнює близько 100 °С, а в кінці охолодження на повітрі перепад між вказаними зонами зменшується майже вдвічі (див. рис. 3, б). Причому, як видно з рис. 4, температура за буртиком під час охолодження різця на повітрі практично не змінюється (криві 6). Тобто збільшення однорідності температурного поля по поверхні державки відбувається за рахунок охолодження державки в зоні твердосплавної вставки.

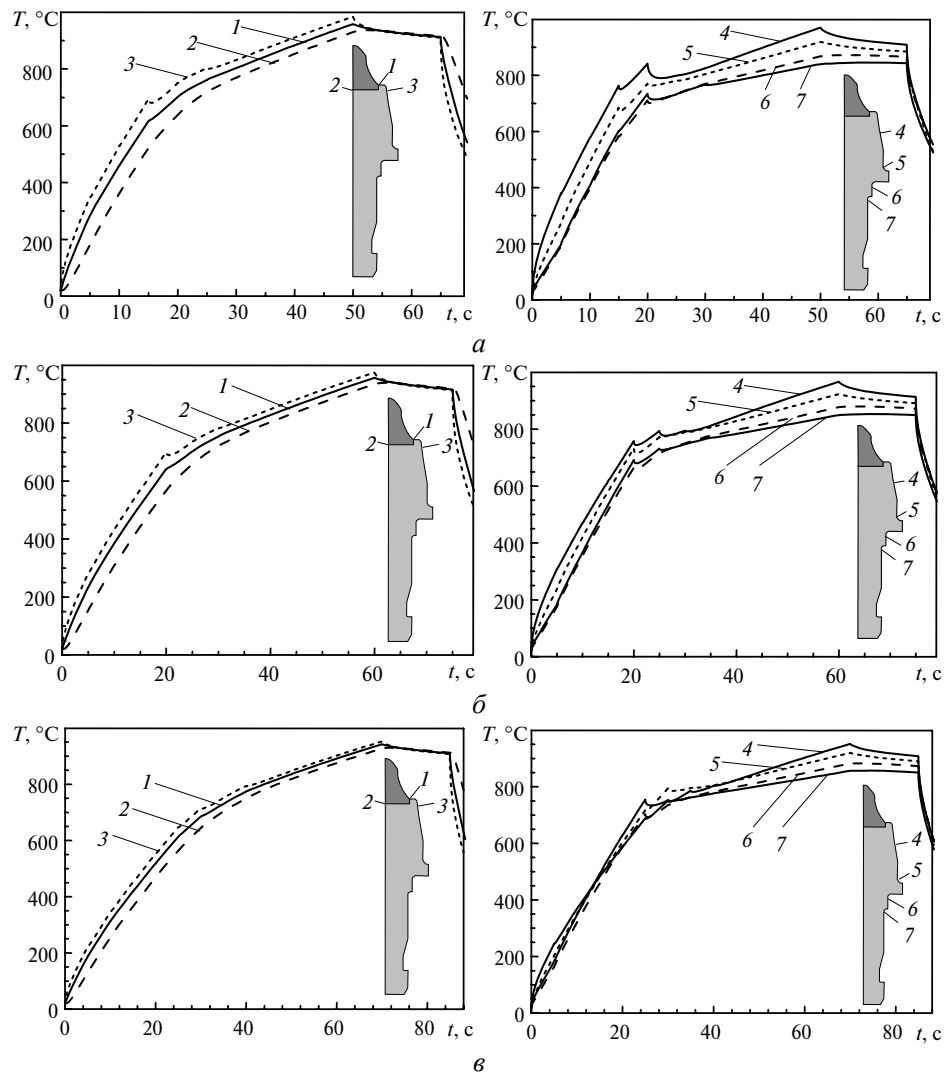


Рис. 4. Зміна в часі температури в окремих точках об'єму твердосплавного різця в процесі його паяння та охолодження на повітрі: $I = 550 \text{ А}, f = 66 \text{ кГц}$, тривалість паяння 50 с (а); $I = 520 \text{ А}, f = 45 \text{ кГц}$, тривалість паяння 60 с (б); $I = 625 \text{ А}, f = 20 \text{ кГц}$, тривалість паяння 70 с (в).

Як видно (див. рис. 4), для різних тривалостей паяння весь проміжок часу паяння $[0; t_{\text{інд. п}}]$ можна розбити (як було відзначено в [6] лише для однієї величини $t_{\text{інд. п}} = 60 \text{ с}$) на дві стадії з суттєво різними середніми швидкостями нагрівання. Перша стадія — швидкого нагрівання — характеризується висо-

кою швидкістю нагрівання і триває від початку паяння приблизно до моменту часу $t = t_{\text{магн. п}}$, на якій в області поверхні державки від твердосплавної вставки до буртика досягається температура магнітних перетворень. Друга стадія — стадія плавного нагрівання — триває від моменту $t_{\text{магн. п}}$ до закінчення процесу паяння. На цій стадії з моменту $t = t_{\text{магн. п}}$ швидкість нагрівання поверхні державки різко (в 5—6 разів) зменшується і зберігається такою практично до закінчення паяння. Цей результат отримано для постійної діючої величини I електричного струму в індукторі. Очевидно, що для керування швидкістю нагрівання різця на другій стадії паяння необхідно використовувати змінну в часі величину $I = I(t)$.

Під час нагрівання спостерігається перепад температури в межах 20—30 °С між середньою зоною (криві 2 на рис. 4) поверхні припаювання вставки до державки різця і периферією цієї поверхні (криві 1). Причому, крім початкових моментів, перепад температури між вказаними зонами найменший в кінці паяння. Зразу ж після закінчення паяння в процесі охолодження на повітрі температура в цих зонах швидко (протягом 2—3 с) вирівнюється, а саме, температура в зоні 2 продовжує зростати майже із попередньою швидкістю і досягає температури плавлення припою, а температура в зоні 1 різко зменшується. В процесі охолодження на повітрі відбувається зниження температури на всій поверхні припаювання до значень близьких до температури затверднення припою. Таким чином, враховуючи виявлені закономірності зміни температури в точках припаювання та вибираючи за допомогою чисельного експерименту конфігурацію індуктора та діючу величину електричного струму в індукторі, можна сформулювати в об'ємі твердосплавного різця температурне поле для забезпечення припаювання вставки до державки та для подальшого загартування. Це дає змогу вибирати такі режими паяння, щоб занадто не перегріти поверхню державки різця.

Якщо продовжити неперервно отримані результати (див. рис. 2) на всю множину точок між побудованими кривими в координатній площині частота—сила струму, то в тривимірному просторі координат частота—час—сила струму отримаємо поверхню параметрів (рис. 5). Координати f , t , I кожної точки цієї поверхні є тими режимними параметрами, при яких можна забезпечити необхідний для загартування температурний стан поверхні державки різця. Отримані результати обчислень, що представлені на рис. 2 і 5, можуть бути використані для вибору режимів паяння.

Висновки

Встановлено, що за величиною швидкості нагрівання робочої частини поверхні державки різця весь інтервал часу паяння можна умовно розбити на дві стадії: перша — швидкого нагрівання — триває від початку до моменту досягнення температури магнітних перетворень, друга — плавного нагрівання — триває решту часу паяння. На початку другої стадії швидкість нагрівання поверхні державки різця різко (в 5—6 разів) зменшується і зберігається практично сталою до кінця процесу нагрівання. Показано, що за допомогою чисельного експе-

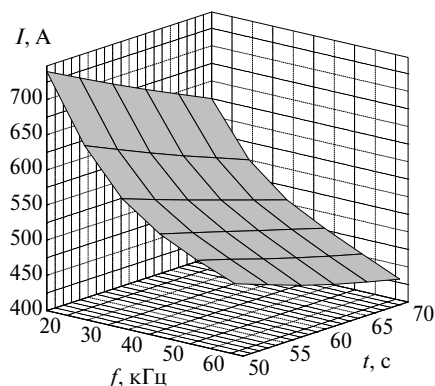


Рис. 5. Поверхня режимних параметрів для забезпечення необхідного для загартування теплового стану поверхні державки різця.

рименту можна вибрати конфігурацію індуктора та режимні параметри індукційного паяння для формування теплового стану різця. Побудовано тривимірну поверхню режимних параметрів, котру можна використати для оптимізації процесу індукційного паяння. Отримані в роботі результати можуть бути використані при розробці устаткування для індукційного паяння твердосплавних різців та їх загартування в рідкому середовищі.

1. *Справочник металлста: В 5 т. Т. 2 / Под ред. С. А.Чернавского. — М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностр. лит-ры. — 1958. — 974 с.*
2. *Вировец Л. Н., Лукаш В. А., Майстренко А. Л. и др. Отечественные резцы для дорожно-фрезерных машин // Инструментальный світ. — 2005. — № 2 (26) — С. 25—27.*
3. *Шмыков А. А. Справочник термста. — М.: Машгиз, 1961. — 392 с.*
4. *Скорородов Е. А., Законников В. П., Пакнис А. Б. и др. Общетехнический справочник / Под ред Е. А. Скорородова. — 4-е изд. — М.: Машиностроение, 1989. — 512 с.*
5. *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. — Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2006. — Вып. 9. — С. 333—337.*
6. *Дутка В. А., Майстренко А. Л., Колодніцький В. М. та ін. Анализ температурного поля у твердосплавному різці в процесі його індукційного паяння та неізотермічного гартування // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. — Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. — Вып. 10. — С. 449—455.*

Ин-т надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України

Надійшла 28.11.07