

Мастильні матеріали відіграють роль екрана, який зменшує поступлення кисню в зону тертя, так як вміст кисню у них значно менший, аніж у повітрі. При терті з відносно низьким рівнем структурно-термічної активації цього кисню є достатньо для протікання складних трибохімічних реакцій. Коли тертя проходить у важких умовах, рівень структурної активації сильно зростає. Вмісту кисню, який адсорбується на ювенільних поверхнях може бути недостатньо для утворення якісних вторинних структур [3]. Для протікання складних трибохімічних реакцій на поверхнях тертя витрачається також енергія, накопичена у вигляді енергії дислокацій. Підвищена густина дислокацій активує поверхню, збільшує швидкість дифузії і хімічних реакцій, а також прискорює утворення оксидних плівок.

На площадках контакту, покритих граничною плівкою мастильного матеріалу, протікає пружна і пластична деформація металу. На них може пройти взаємне втиснення поверхонь без порушення цілісності мастильної плівки. Опір рухові при ковзанні складається з опору зсуву граничного шару і опору продряпуванню поверхонь втисненими об'ємами. На площадках контакту, де виникають значна пластична деформація і висока локальна температура, проходить руйнування мастильної плівки з настанням адгезії ювенільних поверхонь зі схоплюванням металу на мікроділянках. Завдяки рухливості молекул мастильного матеріалу на поверхнях тертя адсорбція протікає з великою швидкістю, що дозволяє відновлювати суцільність граничної плівки.

Отже, фрикційне зміцнення деталей з сірого чавуну суттєво підвищує працездатність пар тертя при зношуванні з граничним мащенням у широкому діапазоні швидкостей тертя та питомого навантаження.

Список літератури: 1. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. - М.: Физмашгиз, 1963.- 472 с. **2.** Бабей Ю.И., Швец В.В., Гурей И.В. Упрочнение поверхностных слоев стальных и чугуновых деталей фрикционной обработкой // Вестник машиностроения. - 1987. - № 10. - С. 39 - 40. **3.** Поверхностная прочность материалов при трении /Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, А.К.Караулов и др. Под общ. ред. Б.И.Костецкого. - К. : Техніка, 1976. - 296 с.

Сдано в редакцию 6.06.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ДЕТАЛІ ПРИ ФРИКЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

Гурей Т.А. (ПІ ім. В.Чорновола, м. Тернополь, Україна)

Mathematical model is developed, that enable calculate by temperature in contact zone of tool and part by friction hardening. Temperature in contact zone has pulse effect.

Широке застосування на практиці знаходять методи поверхневого зміцнення деталей машин із використанням висококонцентрованих джерел енергії. Ці методи характеризуються дією з великими швидкостями високих питомих енергій на відносно малі об'єми металу з наступним їх швидким охолодженням. Структурно-фазові зміни, які проходять у процесі цих обробок суттєво залежать від хімічного складу і вихідної термічної обробки матеріалу. Вони характеризуються формуванням двох якісно різних структурних зон - зони вторинного гартування або так званого слаботравимого білого

шару та зони підвищеної травимості або зони термічного впливу зі структурою високошвидкісного відпуску, які суттєво відрізняються по своїх фізико-механічних і електродіагностичних властивостях від основного металу.

Фрикційне зміцнення відноситься до технологій поверхневого зміцнення висококонцентрованими потоками енергії. Такий потік енергії утворюється в зоні контакту при високошвидкісному (60-80 м/с) терті металевго інструмента по оброблюваній деталі. При цьому відбувається одночасне швидкісне зсувне деформування. Швидкість нагріву досягає 10^5 - 10^6 К/с. За короткий час поверхневі шари металу нагріваються до температур вище точки фазових перетворень (A_{c3}). Охолодження відбувається з великими швидкостями (10^4 - 10^5 К/с) за рахунок відводу тепла вглибину металу [1].

Технологічний процес фрикційного зміцнення є швидкоплинним процесом і тому існуючі експериментальні методи не дозволяють з достатньою точністю визначити температурні та деформаційні поля у зоні контакту при фрикційному зміцненні. Вивченню теплових полів, які виникають при терті, особливо високошвидкісному, присвячено ряд праць [2, 3, 4]. При терті у зоні контакту проходять складні фізико-механічні процеси, тому теплову задачу за рахунок прийнятих допущень досить сильно спрощують і тому теоретичні викладки не завжди відповідають реальній картині. Найбільш коректно була поставлена і розв'язана теплова задача у процесі тертя М.В.Коровчинським [2], який виходячи з доволі строгих фізичних представлень, розробив теорію теплового контакту при локальному терті і представив розв'язки у загальному вигляді в широкому діапазоні критерію Пекле для різних законів розподілу питомих навантажень у зоні контакту.

Для керування якістю зміцнених шарів та самого процесу фрикційного зміцнення необхідно якісно оцінити температурні поля та термонапружений стан, який виникає при цьому. З іншого боку, це може допомогти у поясненні та розумінні процесів, які проходять при фрикційному зміцненні сталей та чавунів. Моделювання подібних задач приводить до ідеалізації реальної ситуації, але в певній мірі дозволяє оцінити зміну температури та напруженого стану при дії рухомих концентрованих джерел енергії.

При аналізі теплових процесів у зоні контакту при фрикційному зміцненні на основі теплового контакту приймаємо [2], що температури в зоні контакту на поверхні контакту є рівними, а потужність тертя у кожній точці площадки контакту рівна сумі інтенсивностей потоків теплоти, яке поглинає кожне тіло пари тертя.

При фрикційному зміцненні площа зони контакту зміцнюючого інструмента та деталі не є постійною. Вона залежить від форми та розмірів робочої поверхні інструмента та деталі, режимів зміцнення, а особливо, від нормальної сили зміцнення P_y . Форма площі контакту має вигляд еліпса, у якого більша діагональ буде рівною довжині лінії контакту інструмента та деталі. При першому наближенні площу контакту можна розглядати у вигляді тонкої стрічки. Так як при фрикційному зміцненні нагрівання зони контакту зумовлюється інтенсивним зсувним деформуванням і максимальні значення контактних дотичних напружень розташовані на певній глибині, то у даному випадку розглядається підповерхневе розташування джерел нагрівання [3].

Так як характерний розмір зони контакту є набагато меншим за розміри зміцнюючого інструмента та деталі, то останні можна розглядати як однорідні ізотропні напівпростори, вздовж границі яких рухається зона тертя з різними швидкостями. При розв'язку теплової задачі також були зроблені наступні допущення:

- у зоні контакту інструмента та деталі є тільки пружні деформації;
- розмір і форма зони контакту в процесі зміцнення залишаються незмінними;
- не враховується вплив динамічних ефектів на процеси тертя у зоні контакту;

- теплофізичні характеристики матеріалів контактуючих тіл залишаються постійними незалежно від зміни температури і тисків;
- не враховується вплив плівки мастила на перерозподіл тиску по поверхні контакту.

Також припускаємо, що питома поверхнева густина теплового джерела при фрикційному змiцненні залишається незмінною, тобто:

$$q(\tau) = q = \text{const}.$$

У той же час питому поверхневу густину теплового джерела енергії можна визначити з рівняння [1]:

$$q = \frac{2\nu P_y \cos(\pi\gamma)\mu}{\pi^{3/2}(1+4\gamma^2)l_s d} \left(\frac{1}{2} + y\right)^{\frac{1}{2}-\gamma} \left(\frac{1}{2} - y\right)^{\frac{1}{2}+\gamma}, \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\mu(1-\chi^0)}{1+\chi^0};$$

де χ^0 – постійна Мусхелішвілі для плоских деформацій, $\chi^0 = 3-4\nu$; ν – коефіцієнт Пуассона; ν – відносна швидкість ковзання в зоні контакту інструмент-деталь; μ – коефіцієнт тертя в зоні контакту; P_y – нормальна складова сили змiцнення (сила притискання інструмента і деталі); l_s – довжина лінії контакту; d – півширина зони контакту.

При імпульсному фрикційному змiцненні робоча поверхня інструмента перервна і на зону контакту діють імпульси теплової енергії за рахунок прорізів на поверхні інструменту. Для визначення температури в зоні контакту при імпульсному фрикційному змiцненні можна використати розв'язок теплофізичної задачі методом джерел (метод Гріна) [5].

Метод Гріна полягає у наступному: якщо відомий закон зміни температури $T(x, y, z)$ у якійсь точці простору від точкового джерела, яке виділило певну кількість теплоти Q у момент часу τ , то температура у даній точці буде визначатися суперпозицією з температурних полів від системи розподілених у просторі джерел теплоти. Розв'язок задачі зводиться до визначення функції $T(x, y, z)$ від одиничного джерела тепла Q , яке задовольняє граничні умови задачі.

Розглянемо зону контакту при імпульсному фрикційному змiцненні як адиабатичний стержень до верхнього торця якого прикладено джерело теплової енергії інтенсивністю q (рис. 1). Вісь x направлено у глибину змiцнюваної деталі.

Диференціальне рівняння теплопровідності запишеться у вигляді [6]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

при початкових і граничних умовах

$$T(x, \tau)|_{\tau=0} = T_0; \quad T(x, \tau)|_{x=0} = T_\partial; \quad \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x}|_{x=\infty} = 0.$$

Розв'язок даного диференціального рівняння має вигляд:

$$T = 2q \sqrt{\frac{\tau}{C\rho\lambda}} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right),$$

де T_0 – початкова температура деталі, яка дорівнює температурі навколишнього середовища; T_∂ – температура джерела теплової енергії; C – теплоємність матеріалу оброб-

люваної деталі; ρ – густина оброблюваної деталі; λ – коефіцієнт теплопровідності;
 $a = \frac{\lambda}{C\rho}$ – коефіцієнт температуропроводності.

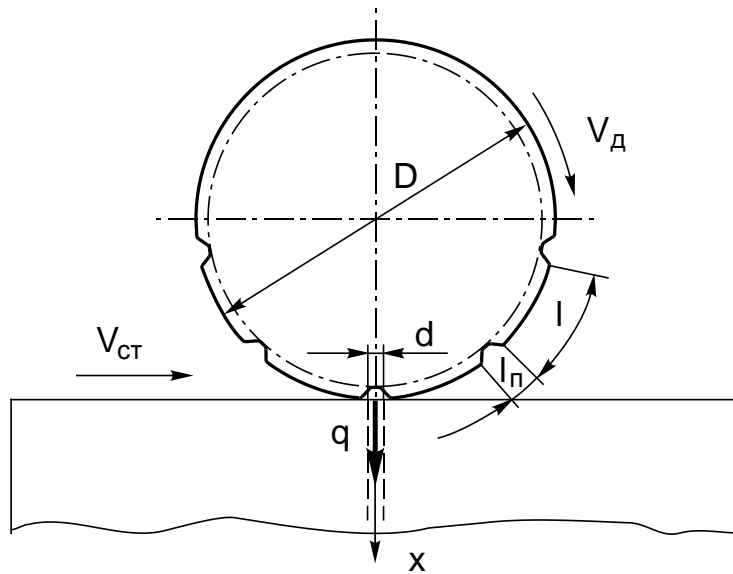


Рис. 1. Схема імпульсного фрикційного зміцнення.

Розглянемо форму робочої поверхні інструмента. Зона контакту інструмента і оброблюваної деталі визначається з залежності [7]:

$$d = 2,15 \sqrt{F \frac{E_1 + E_2}{E_1 \cdot E_2} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}},$$

де F – розподілене навантаження з яким притискається інструмент до деталі; E_1, E_2 – модулі пружності матеріалу інструмента та деталі відповідно; R_1, R_2 – радіуси інструмента та деталі відповідно.

Для повного виходу робочої поверхні інструмента з контакту з оброблюваною деталлю на інструменті наносимо поперечні пази шириною, яка є більшою за пляму контакту і становить $l_n = 4-5$ мм. Довжину суцільної частини одного виступу вибираємо з умови, щоб оброблювана поверхня деталі нагрілась до температур близьких до фазових перетворень. З іншого боку кількість пазів вибираємо з умови забезпечення підведення в зону контакту додаткових високочастотних ударних навантажень з частотою не менше 2000 Гц. Виходячи з даних умов на робочій поверхні інструмента діаметром $D = 200$ мм було нанесено $N = 20$ поперечних пазів.

Час контакту одиничного виступу інструмента з зоною контакту буде визначатися з залежності:

$$\tau_1 = \frac{\pi D - N l_n}{V_\partial N}.$$

Час проходження пазу над оброблюваною поверхнею деталі буде:

$$\Delta\tau = \frac{l_n}{V_\partial}.$$

За рахунок високих швидкостей нагрівання та охолодження оброблюваної поверхні деталі, які є при фрикційному зміцненні, теплові імпульси будуть мати ступінчасту форму. Формування теплових імпульсів буде утворюватись на основі су-

перпозиції, тобто до зміцнюваної поверхні після закінчення часу контакту суцільної частини виступу буде підведене від'ємне джерело теплової енергії (рис. 2).

Кількість виступів, які прийняли участь у нагріванні одиничної плями контакту буде визначатись з залежності:

$$n = \frac{dNV_{\partial}}{\pi DV_{cm}}$$

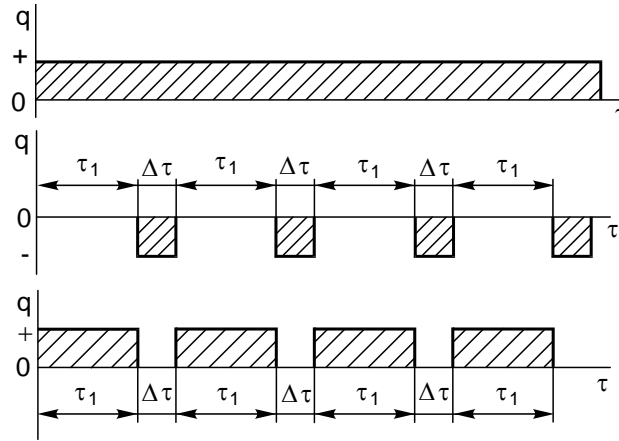


Рис. 2. Розподіл теплових імпульсів при імпульсному фрикційному зміцненні.

Температура на глибині x над зоною контакту після проходження декількох виступів буде визначатись як сума температур від додатних і від'ємних джерел:

$$\begin{aligned} T(x, \tau) = & 2q_1 \sqrt{\frac{\tau}{C\rho\lambda}} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - 2q_1 \sqrt{\frac{\tau - \tau_1}{C\rho\lambda}} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a(\tau - \tau_1)}} + \\ & + 2q_2 \sqrt{\frac{\tau - \tau_1 - \Delta\tau}{C\rho\lambda}} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a(\tau - \tau_1 - \Delta\tau)}} - 2q_2 \sqrt{\frac{\tau - 2\tau_1 - \Delta\tau}{C\rho\lambda}} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a(\tau - 2\tau_1 - \Delta\tau)}} + \\ & + 2q_3 \sqrt{\frac{\tau - 2\tau_1 - 2\Delta\tau}{C\rho\lambda}} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a(\tau - 2\tau_1 - 2\Delta\tau)}} - 2q_3 \sqrt{\frac{\tau - 3\tau_1 - 2\Delta\tau}{C\rho\lambda}} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a(\tau - 3\tau_1 - 2\Delta\tau)}} + \dots \end{aligned}$$

Звідси, температура на глибині x буде визначатися з залежності:

$$\begin{aligned} T(x, \tau) = & \frac{2}{C\rho\lambda} \sum_{k=1}^n q_k \left(\sqrt{\tau - (k-1)(\tau_1 + \Delta\tau)} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a} \sqrt{\tau - (k-1)(\tau_1 + \Delta\tau)}} - \right. \\ & \left. - \sqrt{\tau - (k-1)(\tau_1 + \Delta\tau) - \tau_1} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a} \sqrt{\tau - (k-1)(\tau_1 + \Delta\tau) - \tau_1}} \right). \quad (2) \end{aligned}$$

Густина теплового потоку, яка виникає в зоні контакту інструмента і оброблюваної поверхні визначається з залежності (1) є постійною для кожного виступу, тобто:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_k = q = \text{const.}$$

Дана залежність дозволяє визначити температуру по глибині оброблюваної поверхні деталі при зміцненні різних матеріалів і при різних параметрах імпульсного фрикційного зміцнення. Використовуючи залежність (2) були отримані графічні залежності зміни температури в зоні одиничного контакту інструмента і оброблюваної пове-

рхні деталі і залежності від часу обробки (рис. 3). Так як ширина пазу набагато менша від довжини контактуючого виступу, то температура на поверхні оброблюваної поверхні не значно понижується при використанні інструмента з перервною робочою частиною у порівнянні з суцільною. Але при цьому суттєво збільшується зсувне деформування, а також у зону зміцнення додатково підводяться високочастотні коливання, які значно впливають на формування зміцненого шару.

У роботі [8] показано, що при лазерній обробці металу з великими густинами енергії (порядку 10^9 Вт/см²), яка досягається на імпульсних лазерах, проходить майже миттєве випарування поверхневого шару. При тривалості імпульсу біля 10^{-7} с взаємодія обмежується поверхневим шаром і швидке випаровування металу дає ефект ударної хвилі. Ударна хвиля, розповсюджуючись, відбивається від підкладки, викликає зміцнення поверхні.

При фрикційному зміцненні за рахунок високошвидкісного нагрівання поверхневих шарів і відповідно його розширення також може приводити до формування ефектів ударної хвилі. Це припущення підтверджують отримані теоретичні залежності зміни температури та термічних напружень у зоні контакту зміцнювального інструмента та деталі.

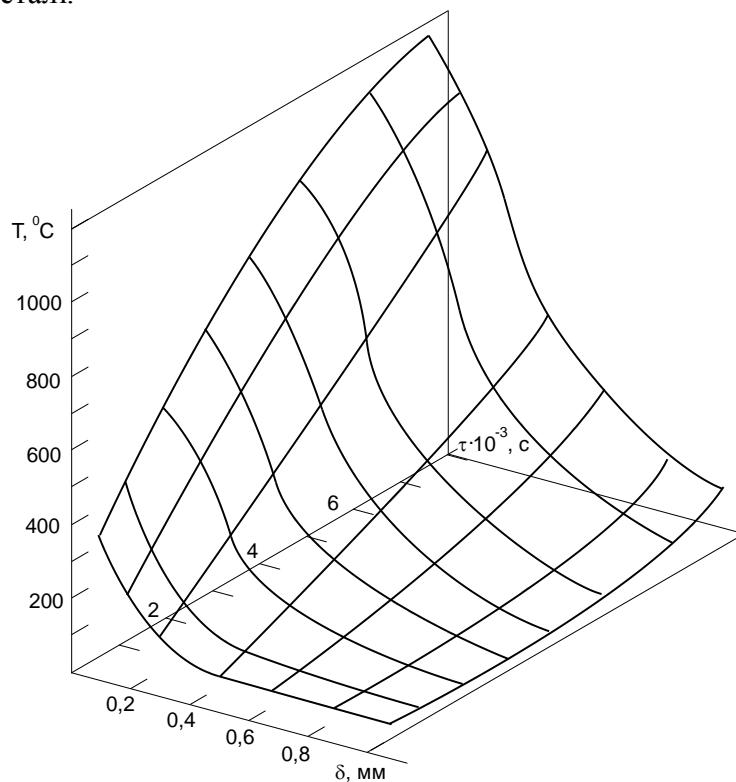


Рис. 3. Залежність температури в зоні одиничного контакту при імпульсному фрикційному зміцненні сталі 40Х.

Отримані теоретичні залежності температури та напружень у зоні контакту інструмента та деталі дозволяють краще пояснити процеси, які відбуваються при формуванні структурно-напруженого стану зміцненого шару при фрикційному зміцненні, та цілеспрямовано керувати якістю та фізико-механічними та експлуатаційними параметрами зміцнених поверхонь.

Список літератури: 1. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – К. : Наукова думка, 1988. - 240 с. 2. Коровчинский М.В. Основы

теории термического контакта при локальном трении // Новое в теории трения. – М.: Наука, 1966. – С. 98-145. **3.** Бабей Ю.И., Максимишин М.Д., Любицкий Т.Т. Температурные поля, возникающие в зоне контакта деталь-инструмент при фрикционно-упрочняющей обработке // Свойства конструкционных материалов при воздействии рабочих сред. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 247-266. **4.** Температурное поле в цилиндрических деталях, возникающее при фрикционном упрочнении /Пляцко Г.В., Максимович В.Н., Хомляк Л.В., Бабей Ю.И. – Физико-химическая механика материалов. – 1981. - № 6. – С. 82-87. **5.** Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1987. – 167 с. **6.** Основы тепловых явлений при шлифовании деталей машин / А.В.Якимов, Б.О.Ткаченко, С.Г.Зимин и др. – Одесса : ОГПУ, 1997. – 272 с. **7.** Сопrotивление материалов /Г.С. Писаренко, В.А.Агарев, А.Л.Квитка и др. / Под ред. Г.С.Писаренко. – К.: ГИТЛ, 1963. – 791 с. **8.** John J.Burke, Volker Weiss Surface Treatments for Improved Performance and Properties. – Plenum Press. – New York, 1982. – 188 p.

Сдано в редакцию 6.06.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОДУКТА С РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ КАРТОФЕЛЕЧИСТОК

Заплетников И.Н., Жидков Ю.В., Громов С.В. (ДонГУЭТ, г. Донецк, Украина)

The results of the telemetric of working process in the camera of potatoes refining machines of periodical action are presented in the article. The mechanism of potato motion in the working camera is studied. The empirical dependence of parameters of process has been led.

Машины очистки картофеля периодического действия применяются широко на предприятиях питания. Машины типа МОК выпускаются заводом Белорусского ПО торгового машиностроения, а также рядом фирм Европы Польши, Германии, Франции, Чехии, Италии и др. Для всех конструкций машин рабочий процесс происходит в цилиндрической камере с абразивной поверхностью и вращающимся дисковым рабочим органом. Последний имеет 2-3 "волны", армированных абразивом. Абразивная поверхность рабочего органа может быть плоской или иметь еще дополнительно и коническую поверхность.

В литературе [1] представлена упрощенная расчетная схема для определения минимальной частоты вращения рабочего органа, зависимости для определения мощности электродвигателя машины, а также визуальная схема движения клубней в рабочей камере. По данной схеме рассчитать траектории движения клубней и определить размеры рабочей камеры машины, их оптимизировать не представляется возможным.

Целью данных исследований является техническое установление механизма движения клубней во время рабочего процесса очистки клубней и получения эмпирических зависимостей его параметров.