

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ ТОЧІННЯ З ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНИМ НАГРІВАННЯМ

Міранцов С. Л., Тулупов В. І., Онищук С. Г.

Розглянуто метод комбінованої обробки поверхонь деталей машин електроімпульсним нагріванням, заснований на механічному впливі ріжучого інструменту на заготовку, який супроводжується локальним нагрівом поверхневого шару електричним струмом. Розроблені структурна та математична моделі процесу комбінованого точіння з електроімпульсним нагріванням, яка включає елементи технологічної системи верстата, процес різання і процес електроімпульсного нагрівання. Запропонована комплексна модель точіння з електроімпульсним нагріванням, що реалізована в пакеті *Simulink MatLab*, дозволяє врахувати такі важливі технологічні параметри, як жорсткість технологічної системи, параметри режиму різання, зміна складових сили різання при обробці, рух інструменту по сліду зміцнених і незміцнених ділянок обробленої поверхні, а також випадкові похибки, що виникають в технологічній системі.

Рассмотрен метод комбинированной обработки поверхностей деталей машин электроимпульсным нагревом, основанный на механическом воздействии режущего инструмента на заготовку, который сопровождается локальным нагревом поверхностного слоя электрическим током. Разработаны структурная и математическая модели процесса комбинированного точения с электроимпульсным нагревом, которая включает элементы технологической системы станка, процесс резания и процесс электроимпульсного нагрева. Предложенная комплексная модель точения с электроимпульсным нагревом, которая реализована в пакете *Simulink MatLab*, позволяет учесть такие важные технологические параметры, как жесткость технологической системы, параметры режима резания, изменение составляющих силы резания при обработке, движение инструмента по следу упрочненных и неупрочненных участков обработанной поверхности, а также случайные погрешности, возникающие в технологической системе.

The method of combined treatment of surfaces of electric heating machines based on mechanical action of the cutting tool on the timber, accompanied by local heating of the surface layer of electric shock. The structural and mathematical models of the process of turning combined with electro-heating pulse, which includes elements of the technological system of the machine, the cutting process and about the process of electro-heating. The proposed complex model turning with electric pulse heating, which is implemented in the package *Simulink MatLab*, allows to consider such important technological parameters as stiffness of technological system, the parameters of cutting mode, changing the components of the cutting force during processing, the movement of the tool on the trail of unreinforced and reinforced sections of the treated surface, and also random errors occurring in the process system.

Міранцов С. Л.

канд. техн. наук,
доц. каф. ТМ ДДМА
tiur@dgma.donetsk.ua

Тулупов В. І.

канд. техн. наук,
ст. викл. каф. ТМ ДДМА

Онищук С. Г.

канд. техн. наук,
доц. каф. ТМ ДДМА

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

УДК 621.91.01

Міранцов С. Л., Тулупов В. І., Онищук С. Г.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ ТОЧІННЯ З ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНИМ НАГРІВАННЯМ

Однією з актуальних задач сучасного машинобудування є забезпечення працездатності і довговічності деталей машин. Для цього необхідно підвищити ефективність і якість процесів механічної обробки, що вимагає створення нових і вдосконалення існуючих технологічних методів. Перспективними є методи, що дозволяють забезпечити необхідну структуру, напружено-деформований стан, фазовий і хімічний склад поверхневого шару металу, а також оптимальний розподіл фізико-механічних властивостей на зміцненій поверхні залежно від конкретних умов експлуатації деталей машин.

В даний час при досить великій кількості робіт, що пов'язані із застосуванням електричного струму як додаткової енергії в механічній обробці, деякі з них висвітлюють технологічні можливості точіння з метою зміцнення поверхневого шару деталей. Крім того, літературні дані, присвячені комбінованим методам обробки з використанням додаткової енергії, що підводиться в зону різання, свідчать, що при розробці та вдосконаленні цих методів недостатня увага приділяється процесам, які виникають в технологічній системі при різанні і впливають на процес комбінованої обробки.

Одним з методів, який вимагає відносно невисокі питомі витрати енергії, є точіння з електронагрівом. Метод заснований на механічному впливі ріжучого інструменту на заготовку, який супроводжується локальним нагрівом поверхневого шару електричним струмом [1]. Одним із процесів, який виникає при обробці в технологічній системі і впливає на параметри обробки, а також показники точності і якості оброблених поверхонь, є коливання [3]. Таким чином, актуальними є питання коливань, що виникають в технологічній системі, та їх впливу на параметри процесів комбінованої обробки, в тому числі на процес точіння з електричним струмом і на чистових і фінішних операціях.

Метою роботи є дослідження процесу комбінованої обробки на основі точіння з електроімпульсним нагріванням.

Наявність коливань при точінні з електроімпульсним нагріванням може впливати на такі характеристики процесу, як глибина зміцненого шару деталі, площа електричного контакту інструменту з деталлю, величина складових сили різання, час дії джерела теплоти на одиничну площадку контакту. Причому ці фактори можуть змінюватися в процесі обробки через взаємне переміщення елементів технологічної системи один відносно іншого при коливаннях. У зв'язку з цим процес точіння з електроімпульсним нагріванням необхідно розглядати в комплексі з процесами, які виникають в технологічній системі при обробці. Другим важливим аспектом процесу, є чергування зміцнених і не зміцнених ділянок обробленої поверхні деталі, що може бути додатковою причиною порушення регенеративних коливань при русі інструменту при наступному обороті деталі по зміцненим і не зміцненим ділянкам.

При дослідженнях та аналізі динамічних явищ, що виникають в технологічній системі, остання розглядається як замкнута процесом різання динамічна система, елементами якої, крім процесу різання, є еквівалентна пружна система верстата і фазова характеристика сили різання. Стосовно до комбінованої обробки на основі точіння з електроімпульсним нагріванням, пропонується структурна модель технологічної системи, представлена на рис. 1. У представленій на рис. 1 структурній моделі як $W_{np}(s)$ позначений процес різання, $W_{cm}(s)$ – передавальна функція еквівалентної пружної системи верстата (ЕПС) верстата і $\exp(-s\tau)$ – фазова характеристика сили різання. Відмінною рисою запропонованої структурної моделі то-

чиння з електроімпульсним нагріванням є наявність процесу електроімпульсного зміцнення поверхні деталі $W_{nm}(s)$, залежного від величини сили різання $P(t)$, амплітуди коливань елементів технологічної системи $y_1(t)$, який, у свою чергу, впливає на коливання технологічної системи за рахунок формування чергуються зміцнені і не зміцнені ділянки обробленої поверхні деталі $y_2(t)$.

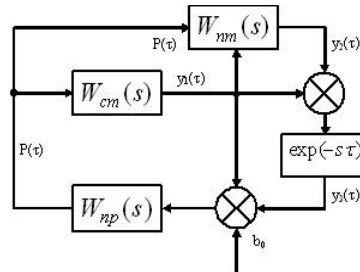


Рис. 1 Структурна модель технологічної системи стосовно до комбінованої обробки на основі точіння з електроімпульсним нагріванням

Для побудови моделі еквівалентної пружної системи верстата використовувалися методики та припущення: технологічна система розглядається як сукупність елементів із зосередженими масами, з'єднаними між собою пружними і дисипативними елементами; всі деформації в технологічній системі відбуваються при дії зовнішніх сил, що виникають виключно за рахунок зсувів в стиках між елементами системи; різальний інструмент, в тому числі збірної конструкції, розглядається як елемент, в якому, відсутні деформації у вузлах кріплення ріжучих пластин; оброблювана деталь також розглядається як абсолютно жорсткий елемент технологічної системи; як домінуюча коливальна система розглядається інструмент, встановлений в різцетримач токарного верстата; процес різання описується із залежністю сили різання, а також її складових від параметрів зрізаного шару і геометричних параметрів різального інструменту.

З урахуванням прийнятих припущень, технологічна система здійснює процес різання, представлена у вигляді двохмасової лінійної системи з двома ступенями свободи: пружними переміщеннями інструменту у напрямку координатних осей X і Y (рис. 2, а).

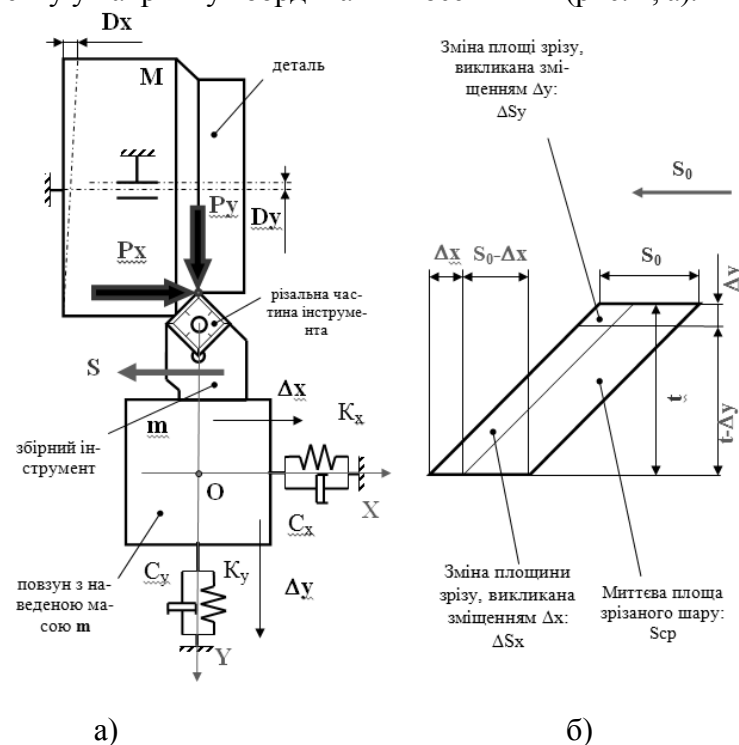


Рис. 2. Структурна модель технологічної системи

Математична модель технологічної системи представлена системою рівнянь (1):

$$\begin{cases} m\ddot{x}(\tau) + C_x\dot{x}(\tau) + K_x x(\tau) = P_x(\tau); \\ m\ddot{y}(\tau) + C_y\dot{y}(\tau) + K_y y(\tau) = P_y(\tau); \end{cases} \quad (1)$$

З урахуванням параметрів режиму різання, параметрів процесу різання, геометрії інструменту та технологічних факторів, система рівнянь (1) може бути представлена у розгорнутому вигляді (2):

$$\begin{cases} m\ddot{x}(\tau) + C_x\dot{x}(\tau) + K_x x(\tau) = P_x(\tau); \\ P_x(\tau) = \frac{K_{px}}{\sin \varphi} \Delta K_p [S_0 + \Delta D_x \cdot \sin(\omega\tau + q_0) - x(\tau) - x(\tau - \Omega)][t - y(\tau) - y(\tau - \Omega)]; \\ m\ddot{y}(\tau) + C_y\dot{y}(\tau) + K_y y(\tau) = P_y(\tau); \\ P_y(\tau) = \frac{K_{py}}{\sin \varphi} \Delta K_p [t_0 + \Delta D_y \cdot \sin(\omega\tau + q_0) - y(\tau) - y(\tau - \Omega)][S_0 - x(\tau) - x(\tau - \Omega)]; \end{cases} \quad (2)$$

де m – приведена маса технологічної системи, кг; C_x, C_y – наведені коефіцієнти демпфірування відповідно за напрямками вісі X та Y , Н·с/м; K_x, K_y – наведені коефіцієнти жорсткості відповідно за напрямками вісі X та Y , Н/м; $P_x(\tau), P_y(\tau)$ – складові сили різання, Н; x – лінійні переміщення інструменту в напрямку вісі X ; \dot{x} – швидкість пересування інструменту в напрямку вісі X ; y – лінійні переміщення інструменту в напрямку вісі Y ; \dot{y} – швидкість переміщення інструменту в напрямку вісі Y ; $K_{px}, K_{py}, \Delta K_p$ – відповідно, питомі сили різання P_x, P_y , коефіцієнти, що враховують зміну сил різання через випадкові похибки, що виникають при обробці; $\Delta D_x, \Delta D_y, \omega, q_0$ – відповідно, неточність установки деталі в напрямку осей координат X, Y , частота обертання деталі і початкова фаза; Ω – час одного обороту деталі.

Система рівнянь (2) представляє собою систему диференціальних рівнянь другого порядку відносно перемінних лінійних переміщень інструменту вздовж осей координат. Вирішення подібних систем диференціальних рівнянь аналітичним способом є нераціональним, тому при моделюванні використовувались чисельні методи та спеціальне програмне забезпечення.

В результаті рішення отриманої системи диференціальних рівнянь другого порядку можна визначити два параметри процесу формування зміцнених ділянок обробленої поверхні при комбінованій обробці: змінне значення складової сили різання P_y і пружне переміщення інструменту по напрямку координати Y .

Математична модель, що описує теплові поля в процесі точіння з електроімпульсним нагріванням, є системою рівнянь [4]:

$$\Theta(y, \tau) = 2 \cdot \frac{b_p P_y v + b_e IU \eta}{Ak} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c\rho\lambda}} \operatorname{ierfc}\left(\frac{y}{2\sqrt{a\tau}}\right) + \Theta_c, \quad (3)$$

$$y = \sqrt{a\tau} \cdot \left(1,12 - \frac{2\Theta_1 \lambda h_3 \sqrt{v}}{\sqrt{a} \cdot (b_p P_y v + b_e IU \eta)} \right),$$

де a – коефіцієнт теплопровідності матеріалу; τ – час дії джерела теплоти на одиничну площу контакту; y – координата точки в глибину деталі; P_y – радіальна складова сили різання; Ak – площа електричного контакту інструменту з деталлю; ρ – щільність матеріалу; c – теплоємність матеріалу деталі; Θ_c – температура навколишнього середовища; b_p, b_e – частини теплоти, які йдуть в деталь (різання і електрична).

Система рівнянь (3) дозволяє розраховувати теплові поля і глибину зміцненого шару майданчиків обробленої поверхні при точінні з електроімпульсним нагріванням. Використо-

вуючи як вхідні сигнали змінні значення радіальної складової сили різання $P_y(\tau)$ та $y(\tau)$, можна спільно з моделлю (2) моделювати зміну величини температури і глибини зміцненого шару в процесі комбінованої обробки. Основними факторами, які впливають на процес різання при обробці деталей точінням з електроімпульсним нагріванням, будуть змінні складові сили різання, $P_y(\tau)$, $P_x(\tau)$; додаткові переміщення елементів технологічної системи $y_2(t)$ (див. рис. 2), що виникають за рахунок формування зміцнених і незміцнених ділянок обробленої поверхні деталі, що чергуються, при русі інструмента по сліду на обробленій і зміцненій поверхні. Формування зміцнених і незміцнених ділянок обробленої поверхні деталі, що чергуються, при точінні з електроімпульсним нагріванням відбувається згідно за схемою, представленою на рис. 3 [2].

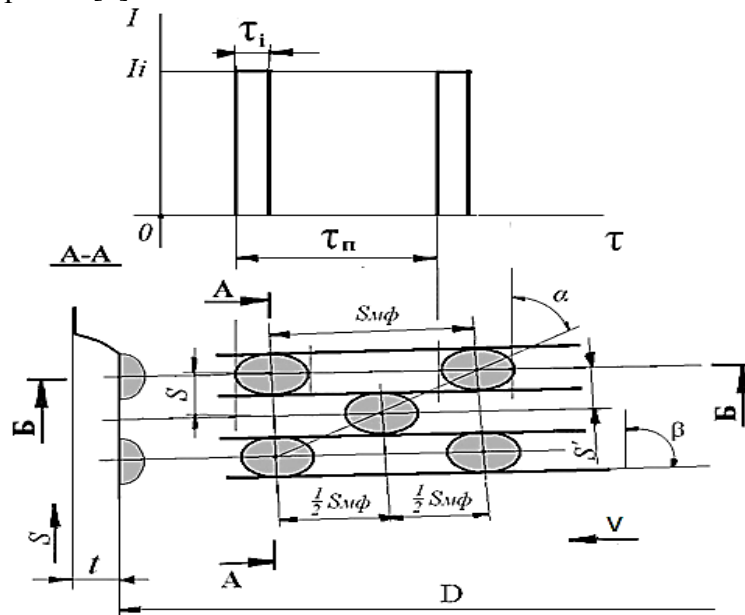


Рис. 3. Схема формування зміцнених і незміцнених ділянок обробленої поверхні деталі при точінні з електроімпульсним нагріванням

На рис. 3 прийняті наступні позначення: S – величина поздовжньої подачі; S' – осьовий крок зміцнених фрагментів; $S_{\text{м}\phi}$ – круговий міжфрагментальний крок; α – кут напрямку зміцнених фрагментів; β – кут підйому гвинтової лінії зміцнених ділянок; τ_i – тривалість імпульсу струму; τ_n – період проходження імпульсу струму; t – глибина різання; I_i – величина імпульсу струму, яка забезпечує зміцнення фрагмента; v – швидкість різання; D – діаметр обробленої поверхні.

Представлена на рис. 3 регулярна структура зміцнених ділянок обробленої поверхні може бути змодельована генератором прямокутних імпульсів із заданою амплітудою і шпаруватістю. Реалізація комплексної моделі комбінованого процесу точіння з електроімпульсним нагріванням в пакеті *Simulink* представлена на рис. 4.

Представлена на рис. 4 модель процесу електроімпульсного нагрівання і формування зміцнених і незміцнених ділянок реалізована у вигляді блоку *SubSystem*. Блок *SubSystem* має два входи *In1* і *In2*, на які подаються значення змінних складових сили різання, і три виходи: *Out1*, *Out3* – реалізують зворотні зв'язки по каналах додаткових переміщень інструменту внаслідок його руху по регулярній структурі зміцнених ділянок, а також вихід *Out2*, призначений для виведення необхідного параметра процесу.

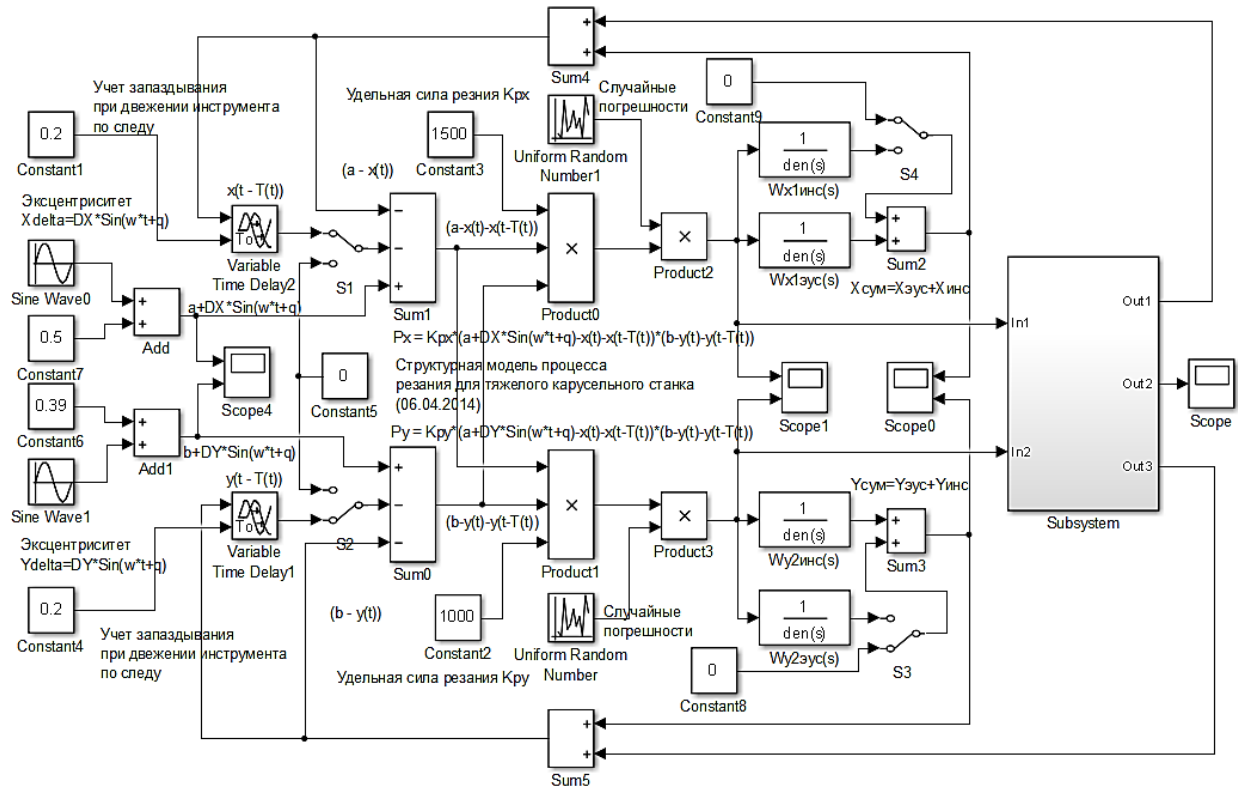


Рис. 4. Структурна модель процесу точіння з електроімпульсним нагріванням, реалізована в пакеті Simulink MatLab

ВИСНОВКИ

1. У результаті проведених досліджень запропоновано математичну і структурну модель процесу комбінованого точіння з електроімпульсним нагріванням, яка включає елементи технологічної системи верстата, процес різання і процес електроімпульсного нагрівання.
2. Запропонована комплексна модель точіння з електроімпульсним нагріванням реалізована в пакеті *Simulink MatLab*, що дає можливість виконувати моделювання процесу обробки при різних вхідних параметрах.
3. Запропонована комплексна модель точіння з електроімпульсним нагріванням дозволяє врахувати такі важливі технологічні параметри як жорсткість технологічної системи, параметри режиму різання, зміна складових сили різання при обробці, рух інструменту по сліду зміцнених і не зміцнених ділянок обробленої поверхні, а також випадкові похибки, що виникають в технологічній системі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковалевський С. В. Комбинированная механическая обработка с использованием электронно-пластического эффекта / С. В. Ковалевский, В. И. Тулунов // *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2004. – Вип. 15. – С. 154–158.
2. Формирование регулярной дискретной структуры при чистовом точении с импульсным током / С. В. Ковалевский, В. И. Тулунов, А. А. Попивненко, Ю. Б. Борисенко // *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – Вип. 21. – С. 233–237.
3. Гузенко В. С. Математическое моделирование динамического состояния тяжело нагруженного инструмента / В. С. Гузенко, С. Л. Миранцов, В. Л. Федоров // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов.* – Донецк : ДонГТУ, 1998. – Т. 1. – С. 220–223.
4. Ковалевський С. В. Математичне моделювання і розрахунок температурних полів при електроімпульсному зміцнювальному точінні / С. В. Ковалевський, В. І. Тулунов // *Процеси механічної обробки в машинобудуванні* : зб. наук. пр. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – Вип. 10. – С. 169–177.