



УДК 621.95.01

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВНОГО РУХУ ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

*К. І. Цідило*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76015 м. Івано-Франківськ вул. Карпатська 15*

Актуальність дослідження. Підвищення точності, якості та продуктивності механічної обробки деталей машин і механізмів є головною задачею машинобудування. Актуальним є дослідження забезпечення високої точності лезової обробки отворів, оскільки вони є найбільш розповсюдженою системою при побудові різного роду спряжень у вузлах машин.

У процесі механічної обробки отворів вагоме місце займає свердління.

Відхилення отвору – просторове відхилення осі просвердленого отвору від заданого положення, розбивка отвору – тобто різниця діаметру свердла – це похибки на які суттєво впливає гіроскопічний ефект.

Дослідженням впливу гіроскопічного ефекту на роботу ріжучих елементів і точність механічної обробки деталей при точінні, розточуванні, свердлінні та шліфуванні присвячені наукові праці вітчизняних і зарубіжних дослідників, серед яких Кривий П. Д. [6], Брижан Т. М. [4], Кабалосєв Ю. Ж. [5], Емма Е.М. [1], Філіс О. В. [2] та ін.

Ними встановлено значний вплив гіроскопічних ефектів пов'язаних з прецесійним рухом осі шпindelного вузла вертикально-свердильного верстату на точність обробки деталей.

Вони обмежувались використанням лінійної моделі, яка ще не в повній мірі відображає реальні умови свердління отворів.

Метою даного дослідження – виявити вплив прецесійного руху та гіроскопічних явищ, що виникають при свердлінні на розбивку отворів за допомогою складеної нелінійної математичної моделі. Вивчити вплив гіроскопічного ефекту на зміну напрямку осі свердла відносно заданої проектної бази.

Рівняння руху системи шпindelний вузол верстата-свердло.

Введено дві системи координат: нерухому  $Ox_0y_0z_0$ , вісь  $Ox_0$  котрої спрямовано вздовж осі свердла в положенні статичної рівноваги, і рухоми  $Oxyz$ , осі котрої зберігаються з поточним положенням рухоми частини (рис. 1).



Складено матрицю перетворення координат і кутової швидкості системи шпindelний вузол – свердло. Положення осі ОК після трьох поворотів зображено на рис. 2.

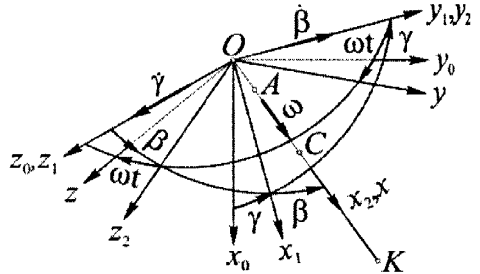
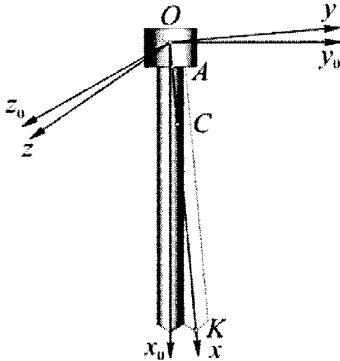


Рисунок 1 – Системи координат

Рисунок 2 – Кути повороту осі системи

де  $\omega$  – стала кутова швидкість обертання рухомої системи координат навколо вертикальної осі шпindelного верстата  $Ox$ ;  $\gamma$  – кут повороту в площині  $Ox_0y_0$  (навколо осі  $Oz_0$ );  $\beta$  – кут повороту в площині  $Ox_1z_1$  (навколо осі  $Oy_1$ );  $\omega t$  – кут повороту в площині  $Oy_2z_2$  (навколо осі  $Ox_2$ ).

Навантаження, які діють на систему зображені на рис. 3.

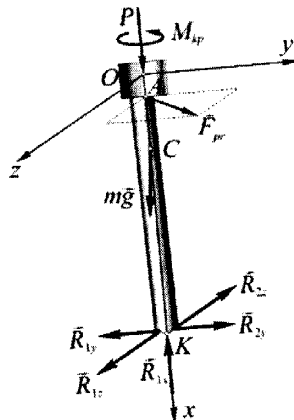


Рисунок 3 – Навантаження, прикладені до системи шпindelного верстата – свердло



Де  $P$  – осьова сила подачі свердла, прикладена вздовж його осі;  $M_{\varphi}$  – крутний момент;  $\vec{F}_{pr} = -C\Delta\vec{r}$  – пружна реакція, розміщена в площині  $Oyz$ ;  $m\vec{g}$  – вага системи;  $\vec{R}_1$  і  $\vec{R}_2$  – рівнодійні сил на пружних кромках свердла.

Для складання системи нелінійних диференціальних рівнянь руху механічної системи на основі рівнянь Лагранжа другого роду складена кінетична енергія й елементарна робота системи шпиндельний вузол-свердло на заданих можливих переміщеннях [3, 7].

Дослідження динамічних рівнянь обмежено малими коливаннями системи з точністю до величини першого порядку мализни, які мають вигляд:

$$\begin{aligned} J_1\ddot{\beta} + J_O\dot{\omega}\dot{\gamma} + M_1\beta &= (\Delta R_y \sin \omega t + \Delta R_z \cos \omega t)\dot{\gamma}; \\ J_1\ddot{\gamma} - J_O\omega\dot{\beta} + M_1\gamma &= (\Delta R_y \cos \omega t + \Delta R_z \sin \omega t)\dot{\beta}. \end{aligned} \quad (1)$$

де  $J_e = J_{Cy} = J_{Cz}$ ,  $J_O = J_{Cx}$  – центральні осьові моменти інерції відносно осей, паралельних рухомій системі координат;  $l_1 = CK$ ,  $l_2 = CA$ ,  $l_3 = OA$  – відстані вказані на рис. 1.

#### Висновки

Створена нова нелінійна математична модель, на основі сучасної теорії нелінійних коливань ширше, в порівнянні із відомими, і точніше відображає гіроскопічний ефект роботи інструменту.

За основною властивістю гіроскопії зі збільшенням кутової швидкості свердління амплітуда коливань системи шпиндельний вузол верстата-свердло зменшується, і як наслідок, зменшується похибка обробки отворів.

Важливо обчислювати похибку свердління на початку обробки, оскільки зі збільшенням глибини свердління розбивка отвору зменшується за рахунок сил тертя між свердлом і матеріалом заготовки.

#### Літературні джерела

1 S. Ema, E. Marui, Theoretical analysis on chatter vibration in drilling and its suppression // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Т. 138. 1-3. С. 572–578.

2 Sinan Filiz, O. Burak Ozdoganlar, A three-dimensional model for the dynamics of micro-endmills including bending, torsional and axial vibrations // Precision Engineering. – 2011. – Т. 35. № 1. С. 24–37.

3 Теория механических колебаний. / Бидерман В. Л. – Москва: Высшая школа, 1980. – 408 с.



4 Т. М. Брижан, С. А. Дитиненко, Технологическое обеспечение без вибрационной обработки отверстий // Вісник НТУ«ХП». – 2014. 43(1086). С. 13–19.

5 Ю. Ж. Кабалосев, М. Б. Гукьямухов, Влияние гироскопического эффекта на точность обработки при сверлении // Труды СКНМИ. – 1970. № 27. С. 25–30.

6 П. Д. Кривий, В. В. Крупа, В. І. Продан, Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів // Вісник ТДМУ. – 2010. – Т. 15. № 1. С. 147–156.

7 Л. Я. Роп'як, К. Г. Левчук, К. І. Цідило, Вплив Ейлерових сил на точність механічної обробки отворів при свердлінні // Високі технології в машинобудуванні. – 2014. № 1. С. 139–147.

**УДК 622.275. 054.22**

## **ФІЗИКО - МЕХАНІЧНІ ТА ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОМПЗИТНИХ ПОКРИТТІВ "ІКП" ДЛЯ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ**

*Т. П. Венгрюнок, Т.М. Мельницька*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76019 м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,  
e-mail: venhrynyuk.t@i.ua*

Забезпечення необхідного рівня ефективності і безпеки експлуатації інженерних комунікацій для зберігання і транспортування газу та нафтопродуктів є надзвичайно актуальною задачею в зв'язку з необхідністю забезпечення надійності роботи систем енергоспоживання, а також зростанням вимог до охорони навколишнього середовища.

Проблема забезпечення безпеки функціонування складних трубопровідних систем – надзвичайно актуальна починаючи з їх проектування, прокладання і закінчуючи експлуатацією, оскільки постачання населення, енергетики, промисловості нафтою і газом – це проблема національної безпеки.

Метою даної роботи є створення способу попередження розвитку тріщиноподібних і корозійних дефектів поверхні трубопроводів шляхом застосування нового складу багатокомпонентного композитного покриття і способу його нанесення, що дозволить розширити функціональні можливості способу і збільшити термін експлуатації трубопроводу за рахунок забезпечення високої міцності і