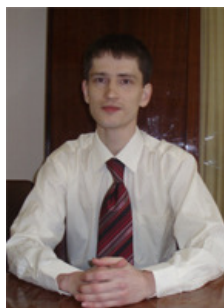


## УДК 621.9



**Б.О. Ткаченко,**  
к.т.н., доцент,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет



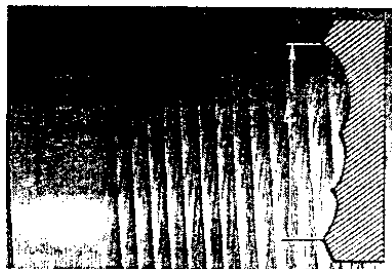
**С.М. Онищенко,**  
к.т.н., ст. викладач,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет  
e-mail:  
sergej.serj3000@  
yandex.ru

## ВПЛИВ ПЕРЕРИВЧАСТОСТІ ОТВОРУ ОБРОБЛЮВАЛЬНОЇ ДЕТАЛІ НА ЗГІНАЛЬНІ КОЛИВАННЯ РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

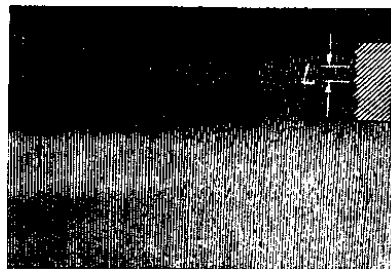
*Б.О. Ткаченко, С.М. Онищенко. Вплив переривчастості отвору оброблювальної деталі на згинальні коливання розточувального інструмента.* За допомогою математичної моделі було встановлено яким чином на рівень згинальних коливань розточувального інструмента впливають умови проходження різцем розриву оброблювального отвору, а саме його положення в момент врізання в оброблювану поверхню.

*B.O. Tkachenko, S.M. Onischenko. The Influence holes with faltering surfaces processed detail on fluctuations boring bar.* By means of mathematical model it has been established, how the value on flexural vibrations of the boring tool is influenced with conditions of passage by a phase of break in processed apertures, namely its positions during the moment of incision in a processable surface.

**Вступ.** Переривчасте різання визначається як процес зрізання стружки, який чергується з холостим пробігом різального інструмента. Періодичне повторення фаз "врізання" й "виходу" інструмента, у процесі розточування отворів з переривчастою поверхнею, є додатковим фактором, що обурює коливання більш високого рівня, ніж при обробці суцільних поверхонь. Виникаючий при цьому підвищений рівень вібрацій (рис.1), істотно впливає на якість оброблюваної поверхні [1].



*а — низькочастотні коливання*



*б — високочастотні коливання*

*Рис.1. Вплив вібрацій на якість обробки поверхні деталі*

При цьому відносно низькочастотні коливання інструмента більшою мірою впливають на утворення погрішності форми й утворення хвилястості

(рис.1а), а високочастотні коливання впливають на формування шорсткості поверхні (рис.1б).

**Матеріал і результати дослідження.** Робота присвячена питанням дослідження й рішення науково-прикладного завдання, що полягає в забезпеченні якості розточування отворів з переривчастою поверхнею технологічними методами.

Для досягнення поставленого завдання дослідження, була розроблена й досліджена динамічна модель процесу розточування переривчастого отвору.

Схема розточування отвору з постійним розривом (рис.2) була представлена коливальною системою з однією масою, коливання якої описуються неоднорідним диференціальним рівнянням з постійними коефіцієнтами.

$$m\ddot{y}(t) + \mu\dot{y}(t) + ky(t) = P(t) \quad (1)$$

де  $m$  — наведена маса, Нс<sup>2</sup>/м;

$\mu$  — наведене демпфування, Нс/м;

$k$  — наведена жорсткість системи, Н/м;

$P(t)$  — обурююча сила, Н.

Специфікою розв'язуваного завдання є те, що сила, що збурює, є періодичною функцією [2], графічно яку можна представити як періодичну дію імпульсів прямокутної форми (рис.3).

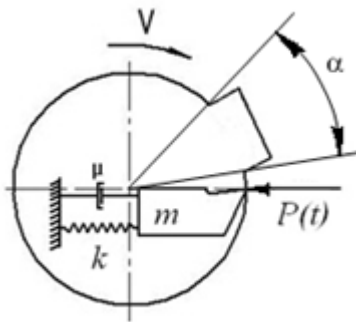


Рис.2. Схема розточування

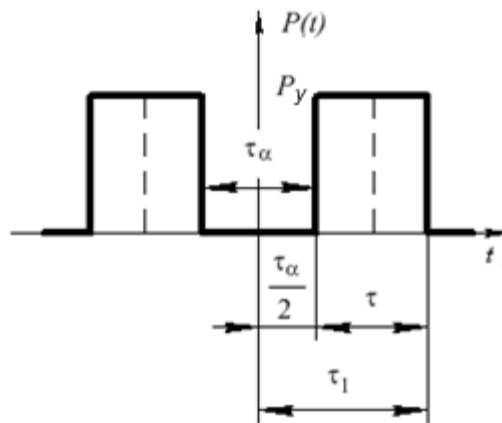


Рис.3. Графік дії періодичної сили

Таку форму періодичної сили різання представимо у вигляді тригонометричного ряду Фур'є. Для поліпшення збіжності ряду й усунення явищ Гіббса яке заважає ефективному гармонійному синтезу “квадратної хвилі”, у тригонометричний ряд додавався  $\sigma$ -множник, що дав більш швидке наростання апроксимуючої функції разом з різким поворотом після того, як досягнуть максимальний рівень. Хоча, коливання все-таки залишаються, але їхня амплітуда сильно заглушена й швидко загасає.

$$P(t) = -\frac{Py(\tau_\alpha - 2\tau_1)}{\tau_\alpha + 2\tau_1} + \frac{Py}{\pi} \sum_{i=1}^h \left[ \frac{1}{i} \cdot \left( \sin\left(\frac{4\pi i \tau_1}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \sin\left(\frac{2\pi i \tau_\alpha}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) \right) \cdot \cos\left(\frac{4\pi i t}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) \cdot \frac{\sin\left(\frac{i\pi}{h}\right)}{\frac{i\pi}{h}} \right] \quad (2)$$

де  $i$  — номер гармоніки;

$h$  — кількість сум тригонометричного ряду;

$Py$  — радіальна складова сили різання, Н.

В свою чергу  $\tau$ ,  $\tau_\alpha$  та  $\tau_1$  визначалися за формулами

$$\tau_1 = \frac{\tau_\alpha}{2} + \tau; \quad \tau = \frac{360 - \alpha}{6 \cdot n}; \quad \tau_\alpha = \frac{\alpha}{6 \cdot n} \quad (3)$$

де  $\alpha$  — кут розриву оброблювального отвору, град;

$\tau$  — час різання в межах одного оберту інструменту, с;

$\tau_\alpha$  — час проходження різцем розриву отвору, с;

$n$  — частота обертання шпинделя,  $\text{хв}^{-1}$ .

Таким чином, необхідно знайти рішення диференціального рівняння (1), з наступними початковими умовами:  $y(0) = 0$ ,  $\dot{y}(0) = 0$

Провівши ряд перетворень, одержуємо математичну модель (4) коливань системи, що перебуває під дією імпульсів сили різання, прямокутної форми.

$$y(t) = \frac{Py \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t)}{\omega m} \cdot \left\{ -\frac{(\tau_\alpha - 2\tau_1) \cdot Py}{(\tau_\alpha + 2\tau_1)} \cdot \int e^{\varepsilon t} \cdot \cos(\omega t) dt + \right. \\ \left. + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^h \left[ \frac{1}{i} \cdot \left( \sin\left(\frac{4\pi i \tau_1}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) - \right. \right. \right. \\ \left. \left. - \sin\left(\frac{2\pi i \tau_\alpha}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) \right) \cdot \int e^{\varepsilon t} \cdot \cos(\omega t) \cos\left(\frac{4\pi i t}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) dt \cdot \frac{\sin\left(\frac{i\pi}{h}\right)}{\frac{i\pi}{h}} \right] \right\} + \\ + \frac{Py \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \cos(\omega t)}{\omega m} \cdot \left\{ \frac{P(\tau_\alpha - 2\tau_1)}{(\tau_\alpha + 2\tau_1)} \cdot \int e^{\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t) dt - \right. \\ \left. - \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^h \left[ \frac{1}{i} \cdot \left( \sin\left(\frac{4\pi i \tau_1}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) - \right. \right. \right. \quad (4)$$

$$\left. - \sin\left(\frac{2\pi\tau_\alpha}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) \cdot \int e^{\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t) \cos\left(\frac{4\pi t}{\tau_\alpha + 2\tau_1}\right) dt \cdot \frac{\sin\left(\frac{i\pi}{h}\right)}{\frac{i\pi}{h}} \right\} + \\
 + C_1 e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t) + C_2 e^{-\varepsilon t} \cdot \cos(\omega t)$$

де  $C_1$  та  $C_2$  — постійні інтегрування, які залежать від початкових умов руху;

$\omega$  — частота власних коливань,  $c^{-1}$ .

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{\mu^2}{4m^2}}; \quad \varepsilon = \frac{\mu}{2m} \quad (5)$$

Отримана математична модель дозволила, побудувати теоретичну форму змущених коливань (рис.4), під дією періодичної сили різання, які виникають при розточуванні отворів що мають постійний розрив.

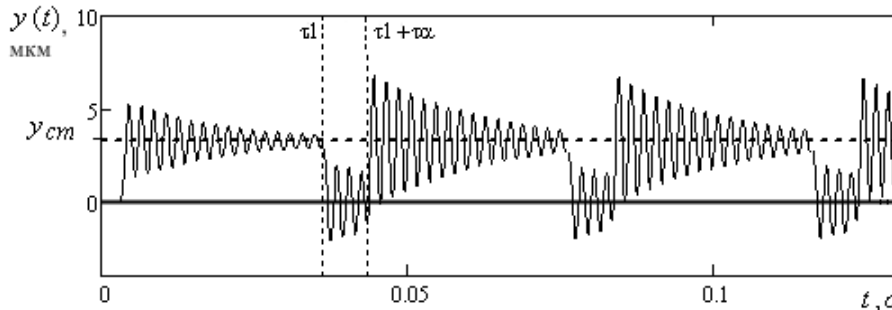


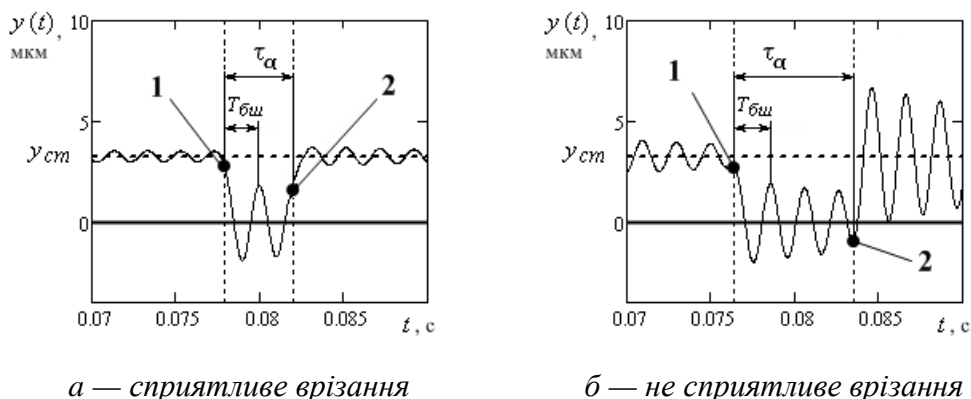
Рис.4. Згинальні коливання борштанги при розточуванні отвору з постійним розривом

Дослідження проводилися для різни кутів розриву отвору оброблювальної деталі, у ході яких була виявлена залежність рівня коливань розточувального інструмента від умов виходу різця в розрив отвору та його врізання в оброблювану поверхню (рис.5).

Як показано на графіках, при проходженні різцем розриву отвору (холостий прохід), початок якого перебуває в точці 1, а форма коливань борштанги відповідає вільним загасаючим коливанням. У момент врізання ріжучого клина різця в оброблювану поверхню, положенню якого відповідає точка 2, виникає складова зусилля різання, що є джерелом виникнення змущених коливань інструмента.

Розташування точки 2 щодо нульового рівня, в момент врізання в заготовлю ріжучого клина, істотно впливає на рівень коливань борштанги в момент різання.

При цьому найменший рівень вібрацій спостерігається при розташуванні точки 2 в положенні, коли час проходження різцем розриву отвору  $\tau_\alpha$  співпадає з періодом вільних коливань борштанги  $T_{\delta_{\text{ви}}}$ , або кратно йому. Наприклад при  $\tau_\alpha=2T_{\delta_{\text{ви}}}$  спостерігалось значне зниження амплітуди коливань борштанги (рис.5а), порівняно з випадком коли  $\tau_\alpha=3,5T_{\delta_{\text{ви}}}$  (рис.5б).



а — сприятливе врізання

б — не сприятливе врізання

Рис.5. Вплив проходження ріжучим інструментом розриву отвору на рівень згинальних коливань борштанги

Таким чином, умова при якому амплітуда згинальних коливань борштанги буде мінімальною, при розточуванні отворів з постійним розривом має вигляд

$$\frac{\tau_\alpha}{T_{\delta_{\text{ви}}}} = j \quad (6)$$

де  $T_{\delta_{\text{ви}}}$  — період власних коливань борштанги, с;

$j$  — будь-яке ціле число ( $j=1; 2; 3; \dots$ ).

У випадку якщо відношення  $\tau_\alpha/T_{\delta_{\text{ви}}}$  не є цілим числом, тоді рівень згинальних коливань борштанги збільшується.

У розглянутому прикладі зміна відносини  $\tau_\alpha/T_{\delta_{\text{ви}}}$  досягалася шляхом зміни кута розриву оброблюваного отвору. При цьому, період власних коливань борштанги  $T_{\delta_{\text{ви}}}$ , який залежить тільки від її конструктивних параметрів, під час досліджень залишався постійним.

На практиці, значення кута розриву отвору оброблюваної деталі, призначається конструктивно, виходячи з її службового призначення.

У свою чергу це обмежує, чи робить неможливим варіювання розмірами розриву отвору виходячи тільки з технологічної необхідності.

Однак, аналіз отриманих графіків показує, що зміна часу проходження різцем розриву  $\tau_\alpha$  може здійснюватися, так само за рахунок зміни частоти обертання шпинделя  $n$ , при незмінних значеннях кута розриву оброблюваного отвору  $\alpha$ .

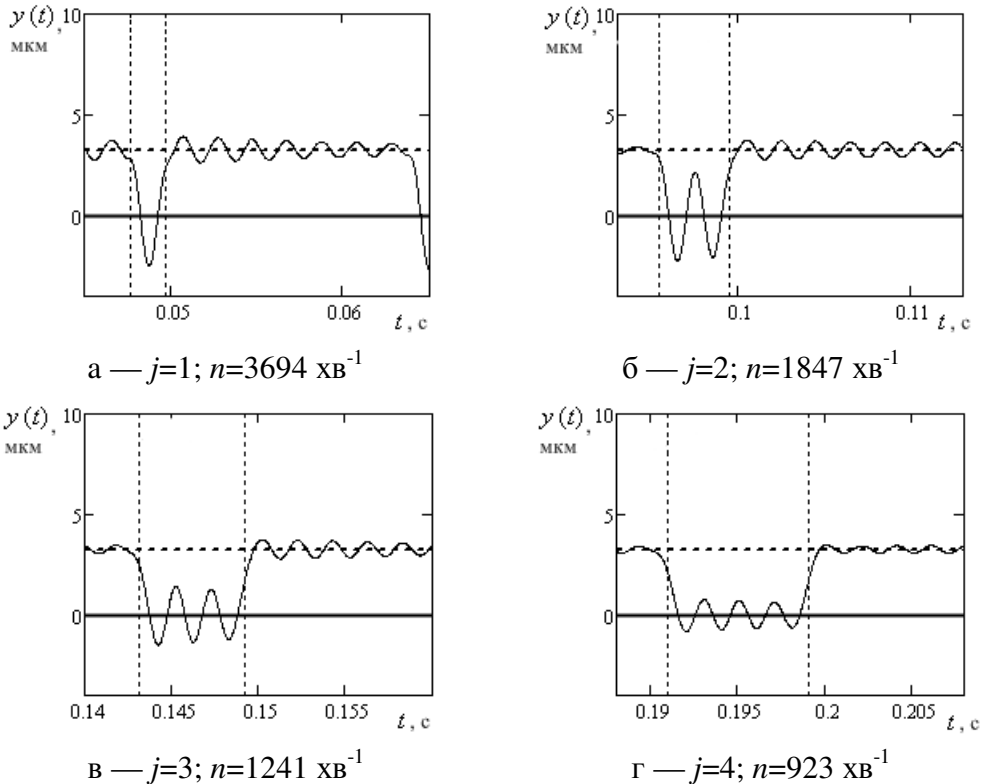


Рис.6. Вплив чисел оборотів шпинделя на рівень згинальних коливань борштанги при розточуванні отворів з постійним розривом

Таким чином, з формули (6) була отримана залежність (7) для визначення чисел оборотів шпинделя, при яких амплітуди згинальних коливань борштанги, в умовах розточування отворів з постійним розривом, будуть мінімальні, за умови що  $j$  ціле число.

$$n = \frac{\alpha}{j} \cdot \frac{\omega}{12\pi} \quad (7)$$

Для підтвердження цього твердження були проведені дослідження коливань борштанги для отвору з постійним кутом розриву  $\alpha=45$  град.

Параметри технологічної системи були наступними:  $\omega=3095 \text{ с}^{-1}$ ;  $\mu=63,5 \text{ Нс/м}$ ;  $k=6,13 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$ . Обороты шпинделя визначалися за формулою (7) при різних значеннях  $j$  ( $j=1;2;3;4$ ).

Отримане рішення у графічній формі (рис.6) вказує на можливість визначення частот обертання шпинделя, при яких амплітуда згинальних коливань борштанги істотно зменшується.

### **Висновки.**

Розроблена математична модель коливань пружної системи шпindelь-борштанга при розточуванні отворів з постійним розривом поверхні, за допомогою якої, було досліджено вплив умов проходження різцем розриву отвору на амплітуду згинальних коливань борштанги.

Отримана залежність, яка дозволяє визначити частоту обертання шпинделя, при якій згинальні коливання розточувального інструменту будуть мінімальні, в залежності від величини (кута) розриву отвору оброблюваної деталі та конструктивних параметрів технологічної системи шпindelь-борштанга.

### **Література**

1. Амосов И.С. Точность вибрации и чистота поверхности при токарной обработке. / Амосов И.С. Скороган В.А.; Под ред. Ансеров М.А, — М. — Л. : Машгиз, 1958. — 67 с.
2. Катунин А.В. Фототензометрический метод исследования переходных процессов прерывистого резания / Катунин А.В., Лошкин Е.В. // Контроль. Диагностика. — 1999. — № 7. — С. 33 — 35.