**ДИНАМІКА РОЗТОЧУВАННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ**

**DYNAMICS OF BORING OF DEEP HOLES OF SMALL DIAMETER**

Науковий керівник – канд. техн. наук, проф. каф. «Цифрових технологій в інжинірингу» Баланюк Г. В., Balanyuk А.

Бадовський О. Б., Badovsky О.

**Анотація:** При фінішному тонкому розточуванні часто використовуються консольні борштанги, що забезпечують високу точність обробки. Виконано експериментальне вивчення пов'язаних згинально-крутильних коливань на спеціальному стенді з використанням тензометричних датчиків. Визначено співвідношення між параметрами згинальних та високочастотних крутильних коливань при розточуванні отворів малого діаметра із відношенням довжини борштанги до її діаметру (). Визначено характерні частоти цих двох форм коливань, що дозволяє призначити режими різання, що виключають резонансні явища.

**Ключові слова:** борштанга, згинально-крутильні коливання, спеціальний стенд, тензометричні датчики.

**Аннотация:** При финишном тонком растачивании часто используются консольные борштанги, обеспечивающие высокую точность обработки, однако борштанги имеют малую технологическую жесткость. Выполнено экспериментальное изучение связанных изгибно-крутильных колебаний на специальном стенде с использованием тензометрических датчиков. Определены соотношения между параметрами изгибных и высокочастотных крутильных колебаний при растачивании отверстий малого диаметра с отношением длины борштанги к её диаметру (). Определены характерные частоты для этих двух форм колебаний, что позволяет назначить режимы резания, исключающие резонансные явления.

**Ключевые слова:** борштанга, изгибно-крутильные колебания, специальний стенд, тензометрические датчики.

**Annotation:** When finishing fine boring, cantilever boring bars are often used, which provide high machining accuracy, however, boring bars have low technological rigidity, which does not allow boring long or deep holes. An experimental study of coupled flexural-torsional vibrations was carried out on a special stand using strain gauges. The ratios between the parameters of bending and high-frequency torsional vibrations when boring holes of small diameter with the ratio of the length of the boring bar to its diameter () are determined. The characteristic frequencies for these two vibration modes are determined, which makes it possible to assign cutting modes that exclude resonance phenomena.

**Keywords:** drill rod, bending and torsional vibrations, special stand, strain gauges.

Мета роботи – вивчення особливостей та закономірностей зміни амплітуд спільних згинально-крутильних коливань, а також їх співвідношень. Оброблялися зразки зі сталі 45 та чавуну СЧ-18. Випробовувалися борштанги діаметром 10, 12, 16, 20 мм із ставленням довжини до діаметра l/d = 3, 4, 6, 8.

Під час проведення цих експериментів було прийнято таку рекомендовану геометрію різців [1]:

- при розточуванні сталі φ = 60°, φ = 15°, ![](data:application/x-msmetafile;base64...);

- при розточуванні чавуну φ = φ1 = 45°,![](data:application/x-msmetafile;base64...).

Режими різання: при розточуванні сталі 45 – v = 125-150 м/хв, s = 0,04 мм/об, t = 0,05 – 0,1 мм; при розточуванні чавуну СЧ-18 – *v* = 100 м/хв, s = 0,04 мм/об, t = 0,05 – 0,1 мм. Матеріал різців: ТЗ0К6 – для сталі, ВК3 – для чавуну.

Експерименти були проведені на спеціальному стенді [2].



Рис 1. Схеми експериментальних стендів на дослідження коливань борштанг:

1 – тахометр; 2 – шпиндельна головка;
3 – перетворювач частоти; 4 – заготовка; 5 – борштанга;
6 – пристосування; 7, 7\* – тензорезистори; 8 – п’єзодатчик; 9 – аналізатор спектру вібрацій; 10 – пристрій реєстрації коливань (ПРК);
11 – персональний комп'ютер (ПК).

Вимірювання згинальних та крутильних коливань проводилися за допомогою тензодатчиків. Згинальні коливання вимірювалися:

а) у площині різця y (за нормаллю до оброблюваної поверхні - Ay);

б) у площині, дотичної до оброблюваної поверхні z – Az.

Ці коливання вимірювалися двома парами тензодатчиків, наклеєних біля фланця борштанги. Датчики 7 вимірювали амплітуди Ay та Az. Крутильні коливання Акр вимірювалися парою тензодатчиків 7\*, наклеєних під кутом 45° до утворювальної та перпендикулярних один до одного.

Результати наведених експериментів у вигляді графіків та таблиць дозволяє оцінити закономірності згинально-крутильних коливань при тонкому розточуванні борштангами малого діаметра менше 20 мм.

Глибина різання істотно впливає рівень коливань. У таблиці 1 наведено експериментальні результати, що відображають залежність амплітуд згинальних та крутильних складових коливань борштанг d = 16 мм від глибини різання при розточуванні, сталі 45 і чавуну СЧ18. Амплітуди згинальних та крутильних коливань збільшуються зі збільшенням глибини різання.

Таблица 1 - Вплив глибини різання на амплітуди згинальних та крутильних коливань, мкм, dб = 16 мм, *l/d* = 3 при растачивании стали 45 и чугуна.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| t, мм | Ау | Аz | А | Акр. |
| сталь | чугун | сталь | чугун | сталь | чугун | сталь | чугун |
| 0,05 | 1 | 0,6 | 1,2 | 0,9 | 1,6 | 1,1 | 0,2 | 0,1 |
| 0,1 | 1,6 | 0,8 | 1,8 | 1,2 | 2,5 | 1,4 | 0,35 | 0,18 |
| 0,15 | 2 | 0,9 | 2,2 | 1,4 | 3 | 1,6 | 0,45 | 0,22 |
| 0,2 | 2,8 | 1 | 2,6 | 1,7 | 3,8 | 1,8 | 0,51 | 0,24 |

Збільшення діаметра борштанги амплітуди складових коливань зменшуються, хоча *l/d* не змінюється. З цих результатів випливає, що постійне відношення *l/d* рівень коливань зменшується зі збільшенням діаметра борштанги. При цьому зменшуються амплітуди і згинальних, і крутильних коливань. Для подальших міркувань важливо досліджувати характер зміни складових коливань, що дозволило визначити їхню пов'язаність, а також їх взаємний вплив.

Узагальнення результатів експериментальних досліджень призвело до таких співвідношенням складових згинально - крутильних коливань: Аz = (1,1 - 1,6) Ау, Акр. = (0,2 - 0,5) Ау. Власні частоти крутильних коливань у 2 – 8 разів більші за згинальні, які для борштанг з діаметром менше 20 мм лежать у діапазоні 0,4 – 2 кГц. Крутильні коливання характеризуються малою амплітудою та їхній вплив на згинальні проявляється при малих значеннях діаметра борштанги (менше 12 мм).

На рисунок 2 наведено типові осцилограми згинальних та крутильних коливань.

а) згинальні коливання (Ау) - власна частота fзгин = 700 Гц;



б) крутильні коливання (Акр) - власна частота fкр = 2200 Гц

Рис 2. Осцилограми згинальних та крутильних коливань: v=125 м/мин, d = 12 мм, *l/d* =8, t=0,15 мм, s =0,03 мм/об, чавун СЧ18.

Із рисунку 2 можемо зробити висновок, що при обробці чавуну всі складові амплітуд дещо зменшуються, а відношення згинальних і крутильних коливань перебуває у межах 4-4,5.

**Висновки:**

1. Встановлено, що частоти згинальних і крутильних коливань відрізняються в 4-6 разів, при зміні діаметрів та довжини вильоту борштанги.

2. Амплітуди крутильних коливань набагато менші (до 8 разів), згинальних при зміні глибини різання в межах від 0,05 до 0,3 мм.

3. Встановлений взаємозв’язок згинальних та крутильних коливань суттєво посилюється при розточуванні глибоких отворів малого діаметру ( до 12 мм).

**Список літератури**

1. Мазур Н. П., Внуков Ю. Н., Грабченко А. И. и др. Основы теори ирезания материалов: учебник (для высш. учебн. заведений) / под общ. ред. Н. П. Мазура и
А. И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков: НТУ«ХПИ», 2013. – 534 с.
2. Баланюк А. В. Колебания друхступенчатых консольных борштанг при тонком растачивании / А. В. Баланюк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Полтава, 2014. С. 131 – 139.