

УДК 621.9.01

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНООБРОБНОГО УСТАТКУВАННЯ

©Сичов Ю. І.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Сичов Юрій Іванович: ORCID: 0000-0002-6576-8083; shanhaj_2007@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті автор пропонує створювати механообробне устаткування з урахуванням деяких законів механіки, що виключають збурюючі фактори, завдяки чому можна одержати більш ефективну обробку деталі, збільшити продуктивність, забезпечити високий рівень надійності роботи механічних систем устаткування. Основні напрямки по модернізації морально застарілого вітчизняного верстатного парку або створення абсолютно нового верстата зведені до збільшення продуктивності, одержання високої точності виготовлених деталей, переналагоджуваності верстатів, надійності роботи. Аналіз сучасного механообробного устаткування показав, що досягти усіх цих важливих критеріїв в одній робочій одиниці та при подальшому збереженні їх високих початкових параметрів дуже складно.

Ключові слова: механообробне устаткування; закони механіки.

Сичев Ю. И. «Проектирование механообрабатывающего оборудования».

В статье автор предлагает создавать механообрабатывающее оборудования с учетом некоторых законов механики, исключая возмущающих факторов, благодаря чему можно получить более эффективную обработку детали, увеличит производительность, обеспечит высокий уровень надежности работы механических систем оборудования. Основные направления по модернизации морально устаревшего отечественного станочного парка или создание совершенно нового станка сведены к увеличению производительности, получения высокой точности изготовленных деталей, переналаживаемости станков, надежности работы. Анализ современного механообрабатывающего оборудования показал, что достичь всех этих важных критериев в одной рабочей единицы и при дальнейшем сохранении их высоких начальных параметров очень сложно.

Ключевые слова: механообрабатывающее оборудование; законы механики.

Sychev Yu. “Designing of machining equipment”.

In the article the author proposes to create machining equipment taking into account some laws of mechanics, excluding disturbing factors, due to which it is possible to obtain more efficient processing of the part, increase productivity, and provide a high level of reliability of mechanical equipment systems operation. The main directions for the modernization of the outdated domestic machine tool park or the creation of a completely new machine are reduced to increasing productivity, obtaining high precision of the parts manufactured, machine readjustment, reliability of work. Analysis of modern machining equipment has shown that it is very difficult to achieve all these important criteria in one working unit and with the further preservation of their high initial parameters.

Key words: mechanical machining equipment; laws of mechanics.

1. Актуальність

Основні напрямки по модернізації морально застарілого вітчизняного верстатного парку або створення абсолютно нового верстата зведені до:

- збільшення продуктивності, що є головною задачею при створенні будь-яких обробних верстатів або цілих верстатних систем. Нині головний засіб при досягненні високих показників виробництва застосовують автоматизацію процесів верстатного устаткування з концентрацією операцій, альтернативи якої на сьогоднішній день поки нема;

- одержання високої точності виготовлених деталей, що є одним з основних показників верстата, який виражається в їх здатності забезпечити у готовому виробі задані точності розмірів, форми і взаємного положення оброблених поверхонь, їх хвилястість і шорсткість, а також стабільність їхніх показників у заданих межах. Традиційно точність механообробних верстатів забезпечувалася відповідною точністю виготовлення його основних деталей, точністю зборки і регулювання, а також жорсткістю елементів, зносостійкістю опор і направляючих, стабільністю форми і розмірів базових і корпусних деталей. Крім того для підвищення точності верстатів цілеспрямовано використовують спеціальні пристрої і системи для компенсації систематичних погрешностей у конкретному екземплярі механообробного верстата або для керування точністю обробки. У цих системах використовують пристрої мікропроцесорного керування і високоточні датчики лінійних і кутових переміщень;

- переналагоджуваності верстатів, що є одна з головних споживчих властивостей устаткування і полягає в можливості їхнього переналагодження на виготовлення різних виробів або для виконання різних операцій стосовно до конкретних вимог постійно мінливої виробничої ситуації в споживачів при серійному виробництві;

- надійності роботи, що для сучасних верстатів є, необхідною умовою їхнього використання. Насамперед це досягається шляхом підвищення надійності функціонування механічних елементів верстатів на першу сходинку виходять підшипникові вузли, напрямні, передачі. Широке використання нових матеріалів та покриттів. Зниження динамічних навантажень за рахунок зменшення мас, що переміщаються і тому подібне.

Аналіз сучасного механообробного устаткування показав, що досягнення усіх цих важливих критеріїв в одній робочій одиниці та при подальшому збереженні їх високих початкових параметрів дуже складно, так як у процесі експлуатації механообробного устаткування, протікаючи в ньому статичні та динамічні процеси, викликані збурюючими факторами у ролі яких виступають сили та крутні моменти, суттєво впливають на його найважливіші якості.

2. Ціль роботи

Основна ціль даної роботи – запропонувати напрям проектування механообробного устаткування з дотриманням закону збереження руху центра мас, закону збереження кількості руху та закону збереження кінетичного моменту системи, за рахунок чого можна одержати більш ефективну механічну обробку деталі

3. Виклад основного матеріалу

Сили та крутні моменти, які виникають в процесі роботи механообробного верстата, поділяють на наступні групи:

- сили і моменти, викликані роботою двигуна. Сили і моменти прикладені до ведучих ланок приводів верстата.

Верстати та інструменти

- сили і моменти корисного опору – сили різання та інші сили і моменти робочих процесів. Прикладені в зоні різання або в робочій зоні до інструмента і заготовки, а через них – до ланок верстата, які називають ведучими (шпindel, супорт, стіл тощо).

- сили і моменти шкідливого опору – сили тертя, опір середовища тощо. Прикладені в місцях контакту ланок верстата зі середовищем або з іншими ланками і направлені проти сил, що рухаються.

- сили взаємодії між ланками верстата або механізмами (у кінетичних парах).

- динамічні сили, у тому числі сили інерції і моменти інерційних сил, роль цих сил зростає з ростом прискорення.

Усі ці групи сил та крутних моментів, які викликані робочими процесами, деформують пружну систему верстата та в тій чи іншій мірі стають основними причинами типових погрешностей форми деталей оброблюваних на верстатах: ексцентричність тіл обертання; некруглість; конусність; непрямолінійність утворюючих; не площинність; не перпендикулярність або непаралельність осей отворів базовим поверхням; помилки кроку оброблюваних гвинтів; помилки зубчастих коліс; хвилястість; шорсткість поверхні та виникнення вібрацій, шуму тощо.

Наприклад, визначимо (в момент часу $t = 1$ с.) вертикальний тиск та горизонтальні зусилля, які виникають у болтових з'єднаннях коробки швидкостей, вага якої становить P_1 з передньою тумбою токарного верстата при обробці циліндричної поверхні (рис. 1).

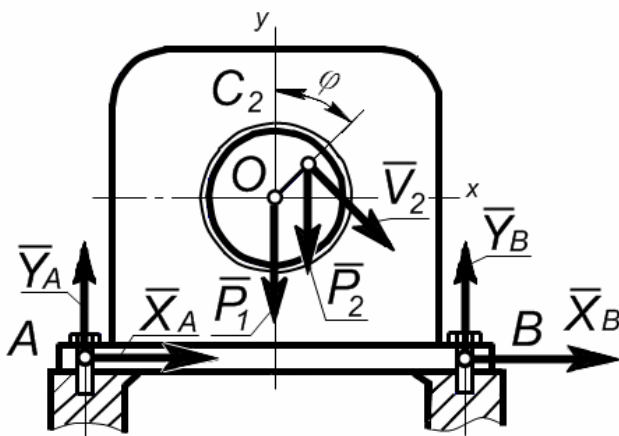


Рис. 1 – Розрахункова схема

Вага шпинделя, який проходить по всій довжині коробки дорівнює P_2 , а його центр ваги C_2 змістився під дією сили різання щодо осі обертання на відстань $OC_2 = e$. Шпindel обертається за законом $\varphi = \pi t^2 / 2$.

Отже, маємо систему, що складається з двох тіл: корпусу коробки швидкостей і шпинделя. Зовнішніми силами, прикладеними до цієї системи (не враховуючи силу різання), являються вага коробки P_1 , вага шпинделя P_2 , реакції в

болтах (вертикальні реакції Y_A, Y_B і горизонтальні реакції X_A і X_B).

Якщо кількість руху корпусу коробки і шпинделі позначимо \bar{K}_1 , і \bar{K}_2 , то кількість руху даної системи становить $\bar{K} = \bar{K}_1 + \bar{K}_2$. Так як коробка швидкостей нерухома, то $\bar{K}_1 = 0$ і, тоді $\bar{K} = \bar{K}_2$.

Кількість руху шпинделя визначаємо за формулою $\bar{K}_2 = P_2 \bar{V}_2 / g$, де \bar{V}_2 – швидкість точки C_2 . Отже, $\bar{K} = P_2 \bar{V}_2 / g$. Звідси знаходимо проєкції кількості руху даної системи на координатні осі: $\bar{K}_x = P_2 \bar{V}_{2x} / g$, $\bar{K}_y = P_2 \bar{V}_{2y} / g$.

Застосовуючи теорему о кількості руху системи одержимо

$$\frac{dK_x}{dt} = \sum X^{(e)}, \quad \frac{dK_y}{dt} = \sum Y^{(e)},$$

або

$$\frac{P_2}{g} \frac{dV_{2x}}{dt} = X_A + X_B, \quad \frac{P_2}{g} \frac{dV_{2y}}{dt} = Y_A + Y_B - (P_1 + P_2). \quad (1)$$

Швидкість центра ваги C_2 шпинделя перпендикулярна до радіуса OC_2 і по модулю дорівнює $V_2 = OC_2 \omega = e\omega$, де $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \pi t$ – кутова швидкість шпинделя. Отже, $V_{2x} = V_2 \cos \varphi = e\omega \cos \varphi$; $V_{2y} = -V_2 \sin \varphi = -e\omega \sin \varphi$.

Тому рівняння (1) приймають вигляд:

$$X_A + X_B = \frac{eP_2}{g} \frac{d}{dt} (\omega \cos \varphi) = \frac{eP_2}{g} \left(\frac{d\omega}{dt} \cos \varphi - \omega \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right) = \frac{eP_2}{g} \left(\frac{d\omega}{dt} \cos \varphi - \omega^2 \sin \varphi \right).$$

$$Y_A + Y_B = P_1 + P_2 - \frac{eP_2}{g} \frac{d(\omega \sin \varphi)}{dt} = P_1 + P_2 - \frac{eP_2}{g} \left(\frac{d\omega}{dt} \sin \varphi + \omega \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right) =$$

$$= P_1 + P_2 - \frac{eP_2}{g} \left(\frac{d\omega}{dt} \sin \varphi + \omega^2 \cos \varphi \right).$$

В момент $t = 1$ с. маємо: $\varphi = \frac{\pi^2}{2} = \frac{\pi}{2}$, $\sin \varphi = 1$, $\cos \varphi = 0$, $\omega = \pi t = \pi$; $\frac{d\omega}{dt} = \pi$. Тому в цей момент $X_A + X_B = -\frac{eP_2}{g} \pi^2$, $Y_A + Y_B = P_1 + P_2 - \frac{eP_2}{g} \frac{d\omega}{dt} = P_1 + P_2 - e\pi \frac{P_2}{g}$.

Таким чином, повний вертикальний тиск на тумбу в момент часу $t = 1$ с. становить $P_1 + P_2 - e\pi \frac{P_2}{g}$, загальне горизонтальне зусилля, приходиться на всі болти, дорівнює $\frac{eP_2}{g} \pi^2$.

Для зменшення пружних переміщень необхідно при конструюванні обробного устаткування дотримуватись:

1. Закону збереження руху центра мас. З теореми про рух центра мас механічної системи ($m\bar{a}_c = \sum \bar{F}_k^e$) можна одержати наступне:

- якщо сума зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю ($\sum \bar{F}_{ke} = 0$), тоді прискорення центра мас дорівнює нулю ($\bar{a}_c = 0$) або $\bar{V}_c = const$.

Отже, якщо сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю, то центр мас цієї системи рухається з постійної по модулі і напрямку швидкістю, тобто рівномірно і прямолінійно. Зокрема, якщо спочатку центр мас був у спокої, то він і залишиться в спокої. Дія внутрішніх сил, як ми бачимо, рух центра мас системи змінити не може.

- якщо сума зовнішніх сил, що діють на систему, не дорівнює нулю, але ці сили такі, що сума їхніх проекцій на яку-небудь вісь (наприклад, вісь $\hat{I}\delta$) дорівнює нулю ($\sum F_{kx}^e = 0$), тоді з рівняння

$$m\ddot{x}_c = \sum F_{kx}^e = 0,$$

випливає, що $\ddot{x}_c = 0$ або $V_{cx} = const$.

Отже, якщо сума проекцій усіх діючих зовнішніх сил на яку-небудь вісь дорівнює нулю, то проекція швидкості центра мас системи на цю вісь є величина постійна. Зокрема, якщо в початковий момент $V_{cx} = 0$, то й у будь-який наступний момент $V_{cx} = 0$, тобто центр мас системи в цьому випадку уздовж осі переміщатися не буде ($x_c = const$).

Усі ці результати виражають собою закон збереження руху центра мас системи.

Верстати та інструменти

2. Закон збереження кількості руху. Нехай сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю $\sum \bar{F}_k^e = 0$. Тоді з рівняння $\frac{d\bar{Q}}{dt} = \sum \bar{F}_k^e$ випливає, що при цьому $Q = const$.

Таким чином, якщо сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю, то вектор кількості руху системи буде постійний по модулі і напрямку.

Нехай зовнішні сили, що діють на систему, такі, що сума їхніх проекцій на яку-небудь вісь (наприклад \hat{I}_δ) дорівнює нулю $\sum F_{kx}^e = 0$. Тоді з рівняння $\frac{dQ_x}{dt} = \sum F_{kx}^e$, випливає, що при цьому $Q_x = const$.

Таким чином, якщо сума проекцій усіх діючих зовнішніх сил на яку-небудь вісь дорівнює нулю, то проекція кількості руху системи на цю вісь є величина постійна.

3. Закон збереження кінетичного моменту системи. Якщо головний момент зовнішніх сил системи щодо деякого нерухомого центра \hat{I} дорівнює нулю, тобто $\bar{M}_O^e = 0$, то кінетичний момент системи \bar{K}_O , щодо цього центра залишається постійним по модулі і напрямку, тобто $\bar{K}_O = \overline{const}$.

Якщо сума моментів усіх зовнішніх сил системи щодо деякої нерухомої осі Ox дорівнює нулю ($\sum M_x(F_x^e) = 0$), то $K_x = const$.

Отже, кінетичний момент системи щодо якої-небудь координатної осі постійний, якщо сума моментів зовнішніх сил щодо цієї осі дорівнює нулю, що, зокрема, спостерігається, коли зовнішні сили рівнобіжні, чи осі перетинають її. В окремому випадку для чи тіла системи тіл, що усі разом можуть обертається навколо нерухомої осі, і якщо при цьому $\sum M_z(F_z^e) = 0$, то $K_z = J_z \omega = const$ чи $J_z \omega = J_{z0} \omega_0$.

Висновки

Отже, запропонований напрям проектування механообробного устаткування з дотриманням закону збереження руху центра мас, закону збереження кількості руху та закону збереження кінетичного моменту системи, можна одержати більш ефективну механічну обробку деталі (збільшить продуктивність, забезпечить високий рівень надійності роботи механічних систем устаткування, знизить рівень вібрації механічних систем та шуму тощо).

Також було запропоновано пристрій для механічної обробки кінців труб, робота, якого передбачена з дотриманням деяких вищевказаних законів механіки.

Список використаних джерел:

1. Проников А. С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : справочник-учебник : в 3-х т. Т. 1: Проектирование станков / А. С. Проников, О. И. Аверьянов, Ю. С. Аполлонов [и др.] ; под общ. ред. А. С. Проникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана : Машиностроение, 1994. – 444 с.
2. Один з напрямків розробки безвібраційних обробних комплексів / Ю. І. Сичов, Б. Г. Лях, В. І. Неко, В. В. Самчук // *Восточно-Европейский журнал передових технологій*. – 2010. – № 2/5 (44). – С. 38-41.
3. Розробка безвібраційних обробних комплексів / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, Б. Г. Лях, В. В. Самчук // *Восточно-Европейский журнал передових технологій*. – 2011. – № 3/7 (51). – С. 46-49.

References

1. Pronikov, A, Averyanov, O & Apollonov, Yu 1994, *Proektirovaniye metallorezhushchikh stankov i stanochnykh sistem*, Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, Mashinostroyeniye.
2. Sychov, Yu, Liakh, B, Neko, V & Samchuk, V 2010, 'Odyn z napriamkiv rozrobky bezvibratsiinykh obrobnykh kompleksiv', *Vostochno-Yevropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii*, no. 2/5 (44), pp. 38-41.
3. Sychov, Yu, Tarasiuk, A, Liakh, B & Samchuk, V 2011, 'Rozrobka bezvibratsiinykh obrobnykh kompleksiv', *Vostochno-Yevropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii*, no. 3/7 (51), pp. 46-49.

Стаття надійшла до редакції 6 грудня 2017 р.