

©Тарасюк А.П., Сичов Ю.І., Самчук В.В., Лях Б.Г., Аракелян І.С.

ПРО НАПРЯМ ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНООБРОБНОГО УСТАТКУВАННЯ

1. Вступ

Машинобудування є фундаментом економічного потенціалу країни та відіграє важливу роль у реалізації досягнень науково-технічного прогресу у всіх галузях народного господарства країни. Удосконалення машинобудівної галузі тісно пов'язане з розвитком механообробного верстатобудування, оскільки ці верстати разом з деякими іншими видами технологічних машин забезпечують виготовлення будь-яких нових видів устаткування.

Постійний пошук нових рішень для досягнення прецизійності, високої продуктивності, надійності роботи, економічності та інших вимог сучасного ринку, призводить до постійної зміни моделей верстатів, до безупинної появи конкуруючих конструкцій.

2. Постановка проблеми

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 переміщуються 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.

3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [2–4] автори розглядають один з напрямків зменшення вимушених коливань та пружних деформацій технологічної системи ВПД (верстат – пристосування – інструмент – деталь) обробного устаткування, які в більшості викликані статичним та динамічним навантаженням результуючою силою різання.

Також було запатентовано ряд корисних моделей [5–9], конструкції яких спрямовані на зрівноважування збудованих джерел у ролі яких виступають складові сили різання.

4. Постановка задачі

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.

– 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 (шпиндель, 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 1, вага якої становить P_1 з передньою тумбою 2 токарного верстата при обробці циліндричної поверхні (рис.1).

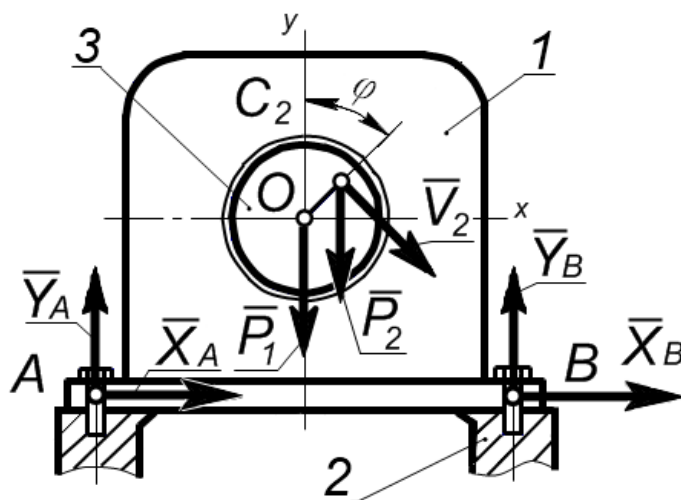


Рис. 1 – Розрахункова схема для визначення вертикального тиску та горизонтальних зусиль у болтових з'єднаннях коробки швидкостей з передньою тумбою

Вага шпинделя 3, який проходить по всій довжині коробки 2 дорівнює P_2 , а його центр ваги C_2 змістився під дією сили різання щодо вісі обертання на відстань $OC_2 = e$. Шпиндель 3 обертається за законом $\varphi = \frac{\pi t^2}{2}$.

Отже, маємо систему, що складається з двох тіл: корпуса коробки швидкостей 2 і шпинделя 3. 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

$$\bar{K}_2 = \frac{P_2 \bar{V}_2}{g},$$

де \bar{V}_2 – швидкість точки C_2 .

Отже, $\bar{K} = \frac{P_2 \bar{V}_2}{g}$. Звідки знаходимо проєкції кількості руху даної системи

на координатній вісі:

$$\bar{K}_x = \frac{P_2 \bar{V}_{2x}}{g}, \quad \bar{K}_y = \frac{P_2 \bar{V}_{2y}}{g}.$$

Застосовуючи теорему о кількості руху системи одержимо

$$\frac{dK_x}{dt} = \sum X \epsilon, \quad \frac{dK_y}{dt} = \sum Y \epsilon,$$

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 $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \pi$ – 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:

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

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

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

В момент $t = 1$ с. маємо: $\varphi = \frac{\pi^2}{2} = \frac{\pi}{2}$, $\sin \varphi = 1$, $\cos \varphi = 0$, $\omega = \pi t = \pi$;

$$\frac{d\omega}{dt} = \pi. \quad \text{Тому в цей момент} \quad X_A + X_B = -\frac{eP_2}{g} \pi^2,$$

$$Y_A + Y_B = P_1 + P_2 - \frac{eP_2}{g} \frac{d\omega}{dt} = P_1 + P_2 - e\pi \frac{P_2}{g}.$$

Таким чином, повний вертикальний тиск на тумбу в момент часу $t = 1$ с. становить $P_1 + P_2 - e\pi \frac{P_2}{g}$, а загальне горизонтальне зусилля, приходиться на всі болти і дорівнює $\frac{eP_2}{g} \pi^2$, яке намагаються з сунути коробку швидкостей 1 по напрямку дії.

5. Основний матеріал

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 Ox) дорівнює нулю ($\sum F_{kx}^e = 0$), тоді з рівняння

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

впливає, 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 вісі переміщатися не буде ($x_c = const$).

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

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 $\frac{d\bar{Q}}{dt} = \sum \bar{F}_k^e$ впливає, 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 їх проекцій на яку-небудь вісь (наприклад $\hat{i}\delta$) дорівнює нулю $\sum F_{kx}^e = 0$. Тоді з рівняння $\frac{dQ_x}{dt} = \sum F_{kx}^e$, впливає, 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 O дорівнює

нулю, тобто $\overline{M}_O^e = 0$, то кінетичний момент системи \overline{K}_O , щодо цього центра залишається постійним по модулі і напрямку, тобто $\overline{K}_O = \overline{const}$.

Якщо сума моментів усіх зовнішніх сил системи щодо деякої нерухомої вісі Ox дорівнює нулю ($\sum M_x \left(\overline{F}_x^e \right) = 0$), то $K_x = const$.

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

Вище зазначені закони, на прикладі можна застосувати при виготовленні різьбової шпильки (рис. 2). Необхідно щоб виріб був не рухомим, а кутова швидкість і відповідно моменти інерції ріжучих елементів повинні бути постійними і однакової величини ($I_1 = I_2 = const$, $\omega_1 = \omega_2 = const$); маса ріжучих елементів однакової величини ($m_1 = m_2 = const$); подача ріжучих елементів спрямовуватись одна до одної і мати однакоку величину ($S_1 = S_2 = const$) та рівна швидкість різання ($V_1 = V_2 = const$).

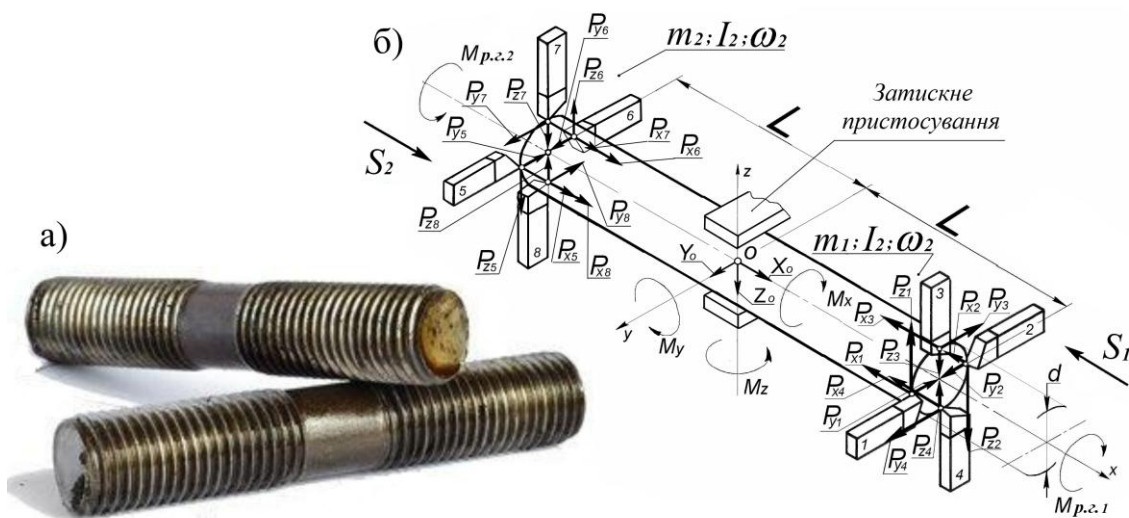


Рис. 2: а) Загальний вигляд різьбової шпильки; б) Розрахункова схема нарізання різьби на нерухомій заготовці різьбовими головками з вісьмома ріжучими елементами.

Для розуміння дії зрівноважування сил і моментів, які діють на виріб (різьбову шпильку) (рис. 2, б) з боку ріжучих елементів (різьбових головок), складемо шість рівнянь рівноваги $\sum F_x = 0: X_A = 0; \sum F_y = 0: Y_A = 0; \sum F_z = 0: Z_A = 0; \sum M_x = 0: M_x = 0; \sum M_y = 0: M_y = 0; \sum M_z = 0: M_z = 0$.

Як ми бачимо, що усі зусилля прирівнюються до нуля, що підвищує ефективність і якість механічної обробки.

Також можна застосувати деякі з цих законів, як один з варіантів, при механічній обробці кінців труб, адже це є дуже відповідальна операція, тому що від обраного методу та технології обробки залежить якість подальшого монтажу цього виробу та майбутньої експлуатації.

Пристрій для комплексної обробки кінців труб (рис. 3) працює наступним чином. З обертанням приводного конічного колеса 19 (рис. 3, а) воно передає обертання внутрішній 4 та зовнішній 4 ріжучим головкам, а вони у свою чергу надають рух ріжучим елементам 7, 8, 21, 22, мітчику 20 та плащі 6.

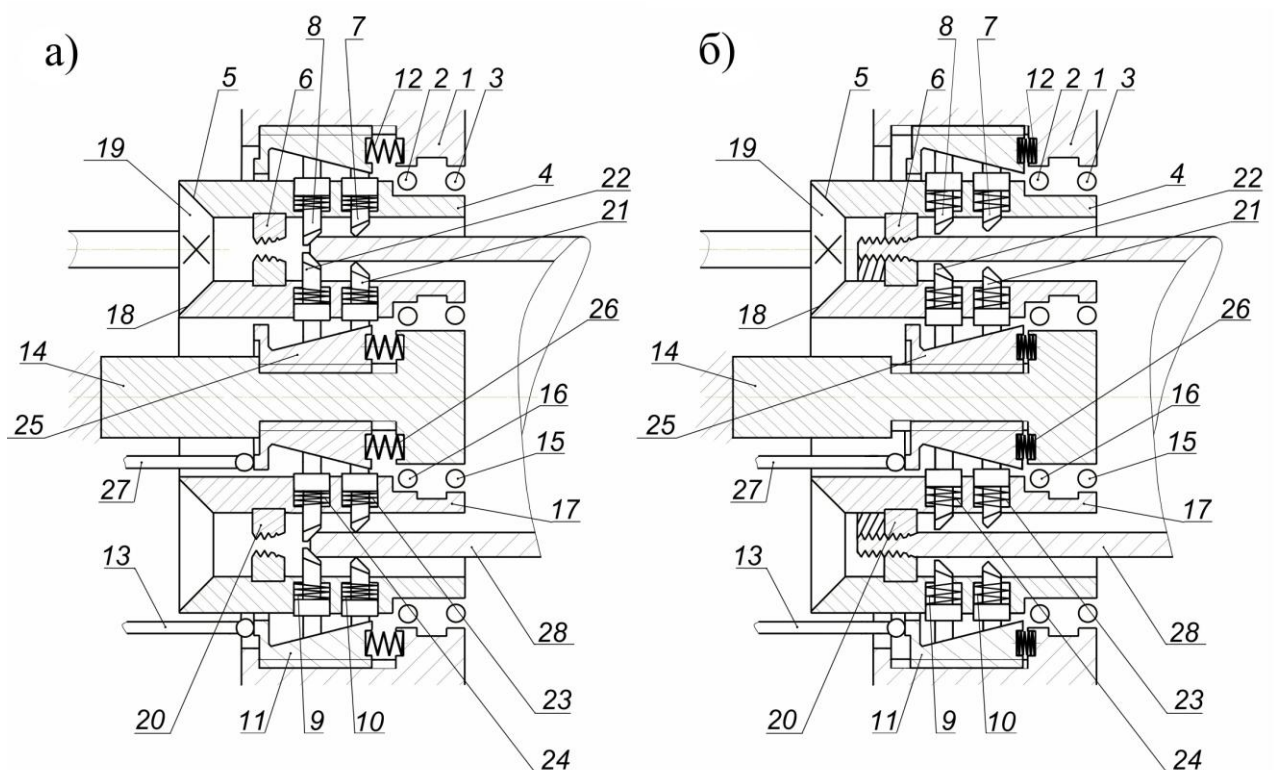


Рис. 3 – Пристрій для механічної обробки кінців труб: а) Повздовжній розріз пристрою у момент розточки і зрізу фасок; б) Повздовжній розріз пристрою у момент нарізання різьби.

При подачі труби 28 у робочу зону її одночасно починають обробляти розточувальні ріжучі елементи 21 та зовнішні прохідні ріжучі елементи 7, після того, як труба 28 підійде до підрізних ріжучих елементів 8, 22 і вони знімуть внутрішню та зовнішні фаски, то в цей час кулачки 13 та 27 пересувають конічні втулки 11 і 25 стискаючи пружини 12, 26. Так як усі ріжучі елементи 7, 8, 21, 22 притиснені пружинами 9, 10, 23, 24 до конічної поверхні втулок 11, 25, то при їх пересуванні ріжучі елементи 7, 8, 21, 22 відходять від поверхонь труби 28, яка при подальшому русі потрапляє на мітчик 20, який нарізає внутрішню різьбу та на плашку 6, яка нарізає зовнішню різьбу.

Після на різання різьби, приводному конічному колесу 19 надається обертання в протилежну сторону, для вигвинчування труби 28 з мітчика 20 та плашки 6 (рис. 3, б).

Після того як труба вийде з робочої зони, кулачки 13, 27 відходять від конусних втулок 11, 25, які під тиском пружин 12, 26 стають у своє початкове положення і завдяки цьому ріжучі елементи 7, 8, 21, 22 стають у своє початкове положення.

Використання запропонованого пристрою для обробки кінців труб дозволяє завдяки виконанню трьох операцій з однієї установки підвищити якість подальшого виробу та підвищити продуктивність праці; можливість обробляти тонкостінні труби та зменшити зусилля її затиску за рахунок компенсування сили різання [11].

Висновки

Отже, пропонується 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. – 444с.

2. Один з напрямків розробки безвібраційних обробних комплексів / Ю. І. Сичов, Б. Г. Лях, В. І. Неко, В. В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 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 передовых технологий. – 2011. – № 3/7 (51) – С. 46–49.

4. Пристрій для обробки кінців труб / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, Б. Г. Лях, В. І. Неко, В. В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 5/5 (47). – С. 24-29.

5. Пат. на корисну модель 49739 Україна. МПК В 23 В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. – № u 2009 11652 ; Заявл. 16.11.2009; Опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9. – 3 с.

6. Пат. на корисну модель 57132 Україна. МПК В 23 В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю. І. Сичов, Б. Г. Лях, В. В. Самчук. – № u 2010 09381 ; Заявл. 26.07.2010; Опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3. – 4 с.

7. Пат. на корисну модель 61435 Україна. МПК В 23 В 5/12. Пристрій для безцентрової обробки циліндричних деталей / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. – № u 2010 13326 ; Заявл. 09.11.2010; Опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – 4 с.

8. Пат. на корисну модель 61430 Україна. МПК В 23 В 29/00. Пристрій для розточування отворів / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, Б. Г. Лях, В. В. Самчук. – № у 2010 13318 ; Заявл. 09.11.2010; Опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – 4 с.

9. Пат. на корисну модель 63270 Україна. МПК В 23 В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, М. К. Кравцов, Б. Г. Лях, В. В. Самчук. – № у 2011 00687 ; Заявл. 21.01.2011; Опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19. – 4 с.

10. Пат. на корисну модель 61433 Україна. МПК В 23 D 45/00. Пристрій для розпилювання матеріалу / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В. В. Самчук. – № у 2010 13332 ; Заявл. 09.11.2010; Опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – 4 с.

11. Пат. на корисну модель 71147 Україна. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю. І. Сичов, М. К. Кравцов, А. П. Тарасюк, Б. Г. Лях, В. В. Самчук. – Заявл. 09.11.2011; Опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13. – 6 с.

Тарасюк А.П., Сичов Ю.І., Самчук В.В., Лях Б.Г., Аракелян І.С. «Про напрям проектування механообробного устаткування».

У статті автори пропонують 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.

Ключові слова: механообробне устаткування, закони механіки.

Тарасюк А.П., Сычев Ю.И., Самчук В.В., Лях Б.Г., Аракелян И.С. «О направлении проектирования механообрабатывающего оборудования».

В статье авторы предлагают создавать механообрабатывающее оборудование с учётом некоторых законов механики, исключая возмущающие факторы, благодаря чему можно получить более эффективную

обработку детали, увеличить производительность, обеспечить высокий уровень надежности работы механических систем оборудование.

Ключевые слова: механообрабатывающее оборудование, законы механики.

Tarasyuk A.P., Sychev Y.I., Samchuk V.V., Lyakh B.G., Arakelyan I.S.

«About the direction of design of the equipment which is intended for machining».

In this article the authors propose to create for mechanical machining equipment in compliance with certain laws of mechanics, eliminating revolting factors, so you can get a more efficient processing of parts, increase productivity, provide high reliability of mechanical systems equipment.

Key words: mechanical machining equipment, laws of mechanics.

Стаття надійшла до редакції 15 жовтня 2012 р.