

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КРОНШТЕЙНИ

Чишак Олаф

доктор технічних наук, професор
Познанський технологічний університет, м. Познань, Польща
ORCID: 0000-0002-0877-5797
olaf.ciszak@put.poznan.pl

Колос Віталій Олександрович

аспірант
Сумський державний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-3518-7146
v.kolos@tmvi.sumdu.edu.ua

Останні тенденції в галузі машинобудування свідчать про те, що в конкурентному середовищі виробники намагаються скоротити час виходу продукції на ринок, у той час як складність виготовлення, вимоги до її точності та якості постійно зростають. У зв'язку з цим актуальним є впровадження гнучких верстатних пристроїв, які забезпечують швидке переналагодження деталей на різні розміри в межах конкретних конструктивно-технологічних особливостей заготовок. Збільшення номенклатури продукції на сучасних машинобудівних підприємствах потребує частих переналагоджень виробництва для оброблення чергової партії деталей, що викликає питання щодо економічної доцільності проектування та виготовлення спеціальних верстатних пристроїв для деталей конкретного розміру (Vi et al., 2008).

Постійне оновлення номенклатури деталей за рахунок незначних конструкційних змін, а також малих розмірів партій роблять тему проектування, моделювання та виготовлення гнучких верстатних пристроїв актуальною та своєчасною. Підвищення гнучкості та розширення технологічних можливостей верстатних пристроїв, скорочення підготовчо-заключного часу на їх переналагодження, а отже, підвищення ефективності роботи металорізальних верстатів забезпечується розробкою та впровадженням швидко переналагоджувальних функціональних вузлів (Ivanov, 2019).

Під час операції механічного оброблення відбувається перезакріплення заготовки та зміна схеми базування, як між технологічними операціями, так і на різних установках у межах конкретної операції, в результаті чого похибок установлення накопичуються і призводить до зниження точності взаємного розташування поверхонь оброблюваної деталі. На кожній операції механічного оброблення відбувається обов'язкова вивірка положення деталі при незмінній схемі базування, що значно збільшує непродуктивні витрати часу, а, отже, призводить до збільшення вартості деталі, що в умовах сучасного виробництва є неприпустимим.

Дослідження спрямовані на підвищення ефективності оброблення кронштейнів шляхом інтенсифікації технологічного процесу та впровадження гнучких верстатних пристроїв, які забезпечують виконання багатокординатного оброблення.

Ключові слова: гнучкість, технологічний процес, гнучкий верстатний пристрій, конструкторсько – технологічна класифікація

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.14>

Вступ. Деталі цього типу характеризуються складністю схем розташування, недостатньою доступністю інструменту, що зумовлено складним просторовим розташуванням робочих поверхонь. Тому це призводить до труднощів у реалізації багатокординатного оброблення. У зв'язку з цим актуальною є розробка верстатних пристроїв (ВП), які забезпечують необхідну доступність інструменту та проводило багатокординатне оброблення.

В одиничному та дрібносерійному виробництві, яке характерне для сучасного машинобудування, ступінь автоматизації досягався за допомогою обробних центрів з ЧПК, вбудованих в автоматизовані системи завдяки високій гнучкості та продуктивності (Ivanov & Pavlenko, 2017).

У сучасному виробництві головним завданням є протиріччя між необхідністю скорочення часу, необхідного

для про'єктування та виготовлення виробів, і зростаючою складністю конструкції виробів. Сучасний світовий ринок вимагає збільшення кількості видів продукції. Тому обладнання та процеси мають бути більш гнучкими. Верстатні відіграють важливу роль у виробництві високоякісної та конкурентоспроможної продукції в багатоконпонентному виробництві. Розглянуто шляхи підвищення ефективності оброблення деталей. Впроваджено принципово нові конструкції функціональних модулів реконфігурованих модульних пристосувань для базування та кріплення заготовок. Пристосування з можливістю автоматизованого керування забезпечують розширення технологічних можливостей металорізального обладнання з ЧПК, скорочення підготовчо-заключного часу та часу на доналагодження, а отже, сприяє підвищенню ефективності планування виробництва (Arora et al., 2017).

В умовах посилення глобальної конкуренції, яка спонукає кожного виробника в галузі машинобудування докладати всіх зусиль для підвищення своєї конкурентоспроможності шляхом покращення якості продукції, скорочення часу, необхідного для виведення нових продуктів на ринок, і зниження витрат на виробництво, існує потреба у вдосконаленні методології проектування верстатних пристроїв. Проектування верстатних пристроїв - це дуже складний і трудомісткий процес, який вимагає багаторічного практичного досвіду. Використовуючи новітні досягнення в системах CAD/CAM і техніках штучного інтелекту, можна обмежити різноманітність рішень таким чином, щоб у проекті розглядалися лише ті рішення, які дозволяють підвищити продуктивність (Oravcova, 2014).

Автоматизоване проектування верстатних є центром досліджень планування процесу та інтеграції технологій CAD/CAM. Розроблена система CAFD, де при заданні поверхонь і точок кріплення автоматично підбираються елементи кріплення під задані умови складання. Також наведено аналіз точності кріплення та проектування системи кріплення заготовки (Chuku et al., 2014).

Інновації в технології виготовлення деталей зумовлені також вимогами щодо скорочення тривалості виробничого циклу та підтримки стабільно високого рівня якості продукції у виробничих умовах. Запропоновано системний підхід до підвищення точності та функціональності багатокоординатних верстатів для прецизійного оброблення. Для більш точного моделювання та компенсації були розроблені системи корекції та моделювання помилок (KUMBHAR et al., 2013).

При дослідженні систем «ВП – заготовка» основна увага приділяється аналізу контактної взаємодії заготовки з затискними елементами верстатного пристрою. У роботі (Tadic et al., 2014) досліджено тертя між елементами ВП та заготовкою. В результаті були визначені деформації, які виникають у місцях їх контакту.

Дослідження (Liao & Hu, 2001) зосереджено на аналізі взаємодії затискних елементів ВП та заготовок за динамічного навантаження під час оброблення. Запропонований підхід дозволяє оптимізувати велику кількість вхідних параметрів, критичних для аналізу взаємодії. Результати експериментальних досліджень показали, що за певних умов затискні елементи зі сферичними наконечниками більшого радіуса забезпечують значно меншу консистенцію.

У дослідженні (Zheng et al., 2008) розроблено спрощену модель для визначення деформації між затискними елементами ВП та деталлю та скінченно-елементну модель для оцінки контактної деформації в точках контакту затискних елементів ВП та заготовки.

У роботі (Vallaruzha et al., 2002) розроблено модель для визначення стійкості заготовки під час її фіксації у ВП. У результаті було досліджено вплив різних факторів на жорсткість кріплення.

Через швидку зміну вимог ринку та короткий життєвий цикл продукту, гнучкість є однією з найважливіших характеристик автоматизованих систем, на додаток до

вартості придбання та експлуатації, гнучкість дозволяє системі адаптуватися до майбутніх вимог до продукту та виробничих процесів (Kamrker et al., 2013).

Матеріали і методи досліджень. Жорсткі вимоги до точності та якості оброблення деталей встановлюються у сучасному машинобудівному виробництві. Оброблення деталей складної форми з різних матеріалів, що відповідають вимогам точності та якості є один із важливих напрямків у сучасному машинобудівному виробництві. Актуальним для підготовки виробництва є процес проектування ВП, так як він суттєво впливає на гнучкість та продуктивність.

На основі проблемно-орієнтованого аналізу деталей типу кронштейнів запропоновано конструкторсько-технологічну класифікацію (рис. 1), у якій враховано всі можливі конструкції кронштейнів, що можуть зустрічатися в автомобілебудуванні.

За довжиною опорних поверхонь деталі поділяють на кронштейни з довгою ($l/d > 1$) і короткою ($l/d < 1$) опорними поверхнями, що принципово визначає спосіб їх базування при обробці і, відповідно, дизайн світильника.

Кронштейни зазвичай мають одну або кілька основ конструкцій, паралельних або непаралельних одна одній. Базові поверхні в поперечному перерізі можуть бути круглими і некруглими, що визначає форму базових поверхонь елементів кріплення.

За вагою кронштейни поділяються на легкі (менше 1 кг), середні (1-10 кг) і важкі (більше 10 кг), які виготовляються зі сталі (наприклад, DIN C10, GS-45, GS-60, і G45), чавуну (наприклад, DIN GG15 і GG18), а також для неметалевих матеріалів, що впливає на вибір обладнання, ріжучого інструменту і призначення режимів різання при обробленні.

Залежно від призначення кронштейни поділяються на кронштейни з високою (IT 6–7), середньою (IT 8–10) і низькою (IT 11–14) точністю базових поверхонь. Виготовлення базових поверхонь з високою точністю при інших рівних умовах гарантує більш надійну і довговічну роботу кронштейна і виробу в цілому. За габаритними розмірами кронштейни поділяються на малі (менше 50×50 мм), середні (від 50×50 мм до 300×300 мм) і великі (більше 300×300 мм), що визначає габаритні розміри верстатного пристрою і необхідний робочий простір машини під час виготовлення.

Від режимів механічного оброблення, які призначені на основі стандартів, практичних рекомендацій або експериментальних досліджень, геометрії та матеріалу різальної частини різального інструменту залежить шорсткість оброблюваних поверхонь кронштейнів та зазвичай відповідає діапазону значень $Ra = 0,8–6,3$ мкм (Ivanov & Zajac, 2018).

На основі розроблених класифікацій для складно-профільних деталей запропоновано структурні коди (рис. 2), які характеризують будь-яку з вищезазначених деталей за конструкторсько-технологічними ознаками, що містять буквено-числові позначення. Дані коди можуть бути використані у САПР ВП та інформаційно-пошукових системах із метою вибору ВП для вищезазначених деталей.

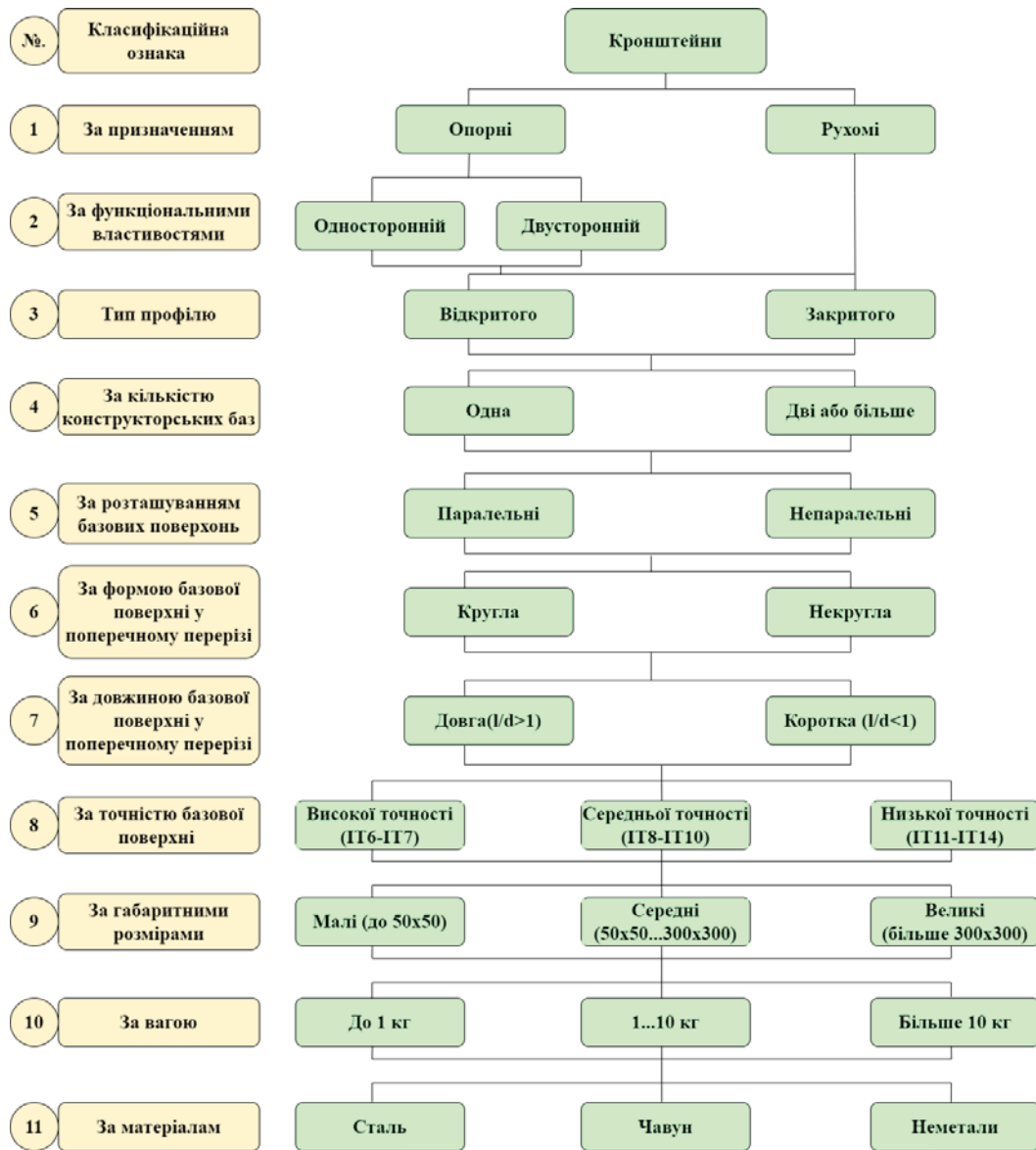


Рис. 1. Конструкторсько-технологічна класифікація деталей типу кронштейни

Враховуючи інформацію, отриману з конструкторсько-технологічної документації, структурний код у формалізованому вигляді можна представити сукупністю, що містить конструкторські ($d_features$) та технологічні ($t_features$) ознаки:

$$CODE = d_features; t_features. \quad (1)$$

Конструкторські ознаки, що є сукупністю класифікацій за призначенням ($purpose$), функціональними властивостями ($functional$), типом профілю ($profile$), наявністю конструкторських баз ($bases$), записують у вигляді:

$$d_features = purpose, functional, profile, bases. \quad (2)$$

Технологічні ознаки, до яких відносять розташування базових поверхонь ($locsurf$), форму базових поверхонь у поперечному перерізі ($formsurf$), тип базової поверхні ($typesurf$), точність базової поверхні ($accuracy$),

габаритні розміри деталі ($sizes$), масу ($mass$), матеріал ($material$), записують у вигляді сукупності:

$$t_features = locsurf, formsurf, typesurf, accuracy, sizes, mass, material. \quad (3)$$

У формалізованому вигляді опис кронштейнів за призначенням є множиною $purpose$, що містить кронштейни для передачі (P) або кронштейни спеціальні (S). Конкретна конструкція визначається функцією $task$. Таким чином, опис кронштейнів за призначенням можна представити у вигляді:

$$purpose \in \{S, M\}, \quad (4)$$

$$task \in \{support, moving\}, \quad (5)$$

$$purpose = f(task) = \begin{cases} S, & \text{якщо } task = support \\ M, & \text{якщо } task = moving. \end{cases} \quad (6)$$

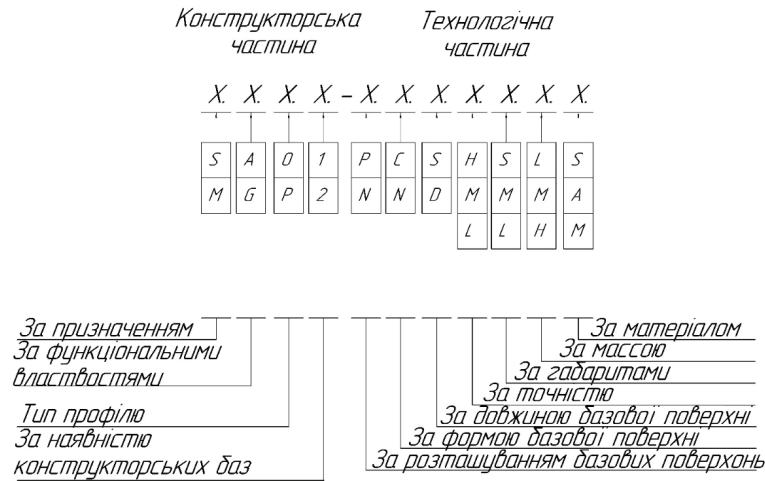


Рис. 2. Структура конструкторсько-технологічного коду деталей типу кронштейнів

Функціональні властивості кронштейна описується множиною *functional*, що відповідає значенню «односторонній» (*U*), «двусторонній» (*T*), що відповідають значенням множині *function*:

$$functional \in \{U, T\} \quad (7)$$

$$function \in \{assembly, guide, unilateral, two sided\}, \quad (8)$$

$$functional = f(type) = \begin{cases} U, \text{ якщо } type = unilateral, \\ T, \text{ якщо } type = two side \end{cases} \quad (9)$$

Тип профілю кронштейна описується множиною *profile*, що відповідає значенню «відкритий» (*O*), «закритий» (*C*), що відповідають значенням множині *form*:

$$profile \in \{O, C\} \quad (9)$$

$$form \in \{open, close\}, \quad (10)$$

$$profile = f(type) = \begin{cases} O, \text{ якщо } type = open, \\ C, \text{ якщо } type = close, \end{cases} \quad (11)$$

Кількість конструкторських баз *ddatums* може бути одним із значень множини *datums*:

$$ddatums \in \{1, 2\}. \quad (12)$$

При кількості конструкторських баз 2 базові поверхні можуть бути паралельними (*parallel*) або непаралельними (*nonparallel*), що відповідають значенням множині *location*:

$$locsurf \in \{P, N\} \quad (13)$$

$$location \in \{parallel, nonparallel\}, \quad (14)$$

$$locsurf = f(location) = \begin{cases} P, \text{ якщо } location = parallel, \\ N, \text{ якщо } location = nonparallel. \end{cases} \quad (15)$$

Форма базової поверхні у поперечному перерізі описується одним із значень множини *formsurf*, що відповідають значенням множині *cross*:

$$formsurf \in \{C, N\} \quad (16)$$

$$cross \in \{circular, noncircular\}, \quad (17)$$

$$formsurf = f(cross) = \begin{cases} C, \text{ якщо } cross = circular, \\ N, \text{ якщо } cross = noncircular, \end{cases} \quad (18)$$

Точність базової поверхні деталі описується множиною *accuracy*, що відповідає значенню «висока точність» (*H*), «середня точність» (*M*) або «низька точність» (*L*), та визначається значенням діапазону квалітетів точності (*qclass*):

$$accuracy \in \{H, M, L\} \quad (19)$$

$$qclass \in \{6...7, 8...10, 11...14\}, \quad (20)$$

$$accuracy = f(qclass) = \begin{cases} H, \text{ якщо } qclass = 6...7, \\ M, \text{ якщо } qclass = 8...10, \\ L, \text{ якщо } qclass = 11...14. \end{cases} \quad (21)$$

Габаритні розміри деталі описують множиною *sizes*, що відповідає значенням «малі» (*S*), «середні» (*M*), «великі» (*L*), та визначається множиною *dimensions*, де відображені діапазони розмірів деталей:

$$sizes \in \{S, M, L\} \quad (22)$$

$$dimensions \in \{0...50, 50...300, 300...1000\}, \quad (23)$$

$$sizes = f(dimensions) = \begin{cases} S, \text{ якщо } dimensions = 0...50, \\ M, \text{ якщо } dimensions = 50...300, \\ L, \text{ якщо } dimensions = 300...1000. \end{cases} \quad (24)$$

Маса деталі описується множиною *mass*, що відповідає значенню «легкі» (*L*), «середні» (*M*), «важкі» (*H*), та визначається величиною одного з діапазонів мас деталей, що належить множині *weight*:

$$mass \in \{L, M, H\} \quad (25)$$

$$weight \in \{0...1, 1...10, 10...100\}, \quad (26)$$

$$mass = f(weight) = \begin{cases} L, \text{ якщо } weight = 0...1, \\ M, \text{ якщо } weight = 1...10, \\ H, \text{ якщо } weight = 10...1000. \end{cases} \quad (27)$$

Матеріал деталей належить до множини *material* та може бути сталь (*S*), алюмінієві сплави (*A*), метал (*M*), що зазначено у конструкторсько-технологічній документації:

$$material \in \{S, C, F, M\} \quad (28)$$

$$matype \in \{steel, castiron, nonmet\}, \quad (29)$$

$$material = f(matype) = \begin{cases} S, \text{ якщо } matype = steel, \\ C, \text{ якщо } matype = castiron, \\ M, \text{ якщо } matype = nonmet. \end{cases} \quad (30)$$

На основі аналізу виявлена конфігурація деталі (рис. 3), яка найбільш поширена у виробках, а саме в кріпленні коліс.

Кронштейн даної конструкції входить у транспортний засіб будь-якого призначення, будь то легковий чи вантажний автомобіль, трактор чи автобус, та може відрізнятися лише типорозмірами та незначною зміною форми.



Рис. 3. Конструкція деталі типу кронштейни

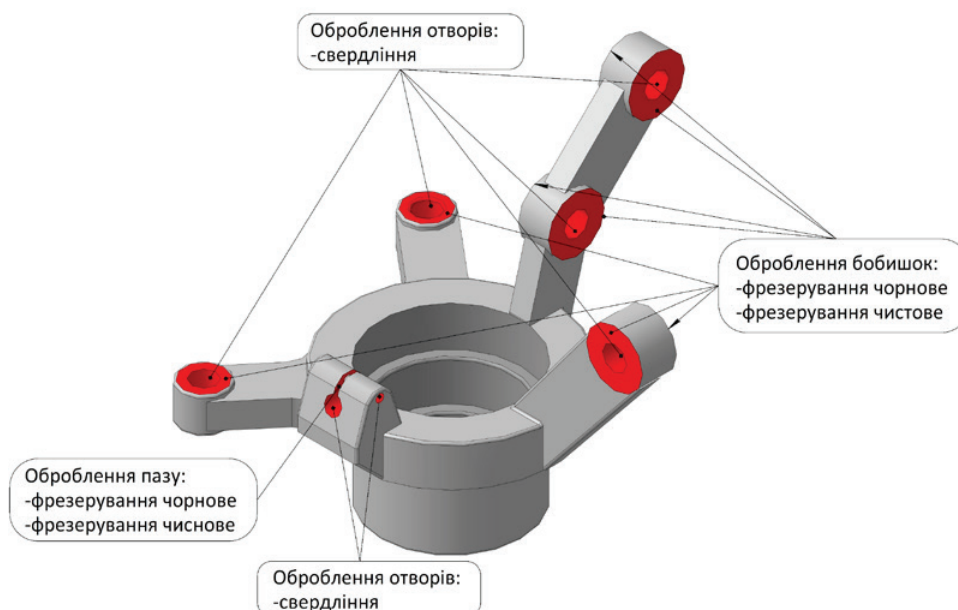


Рис. 4. Поверхні кронштейна, що підлягають обробленню

Більшість деталей типу кронштейнів мають складну геометричну форму, що створює певні труднощі при базуванні та закріпленні заготовок на операціях механічного оброблення. Для встановлення заготовок застосовуються спеціальні або гнучкі ВП (як правило, універсально-збірні пристрої) (Wan et al., 2013), що забезпечує задану точність оброблення поверхонь, але збільшує трудомісткість і вартість виготовлення. Таким чином, актуальним є аналіз типового ТП виготовлення кронштейнів та виявлення можливості для оптимізації ТП з урахуванням сучасних тенденцій у механічному обробленні, а також функціонально-технологічних можливостей сучасного обладнання.

На всіх операціях механічного оброблення здійснюється переустановка заготовки зі зміною схеми базування, як між операціями, так і на різних установах у межах конкретної операції, що призводить до накопичення похибок установами в цілому, та як наслідок зниження точності взаємного розташування поверхонь деталі. При обробленні на кожній операції проводиться обов'язкова вивірка положення деталі при аналогічній схемі базування, що призводить до суттєвого збільшення допоміжного часу, а, отже, збільшенню собівартості деталі, що в умовах сучасного виробництва неприпустимо.

Для базування та закріплення заготовки на операції 15 необхідно підготувати бази. Для базування будуть використані внутрішні циліндричні поверхні та торець (рис. 4).

Для зменшення кількості операцій, переустановлень та допоміжного часу об'єднаємо операції 20-40 типового ТП в операцію 15 «Комплексна операція на оброблюваному центрі з ЧПК» типового ТП (рис. 5). Це дає можливість обробити усі свердлильно-фрезерно-розточувальні операції за один установ.



Рис. 5. Порівняння маршрутів оброблення деталі «Кронштейн»:
а – типовий ТП; б – запропонований ТП

Інші операції типового ТП, що включають термічне оброблення, шліфувальну операції не є доцільним змінювати або об'єднувати, оскільки це різні та несумісні з іншими методи оброблення.

Результати. З діаграм, які побудовані на основі проведених розрахунків норм часу, можна зробити висновки:

- так як для механічного оброблення використовуються однієї ті самі режими різання і різальні інструменти відповідно основний час однаковий як для типового так і для запропонованого ТП;

- у зв'язку з більшою кількістю в типовому ТП установлень і перестановлень деталі при переході від однієї операції до іншої то допоміжний час для запропонованого ТП є менший;

- кількість операцій механічного оброблення та робочих місць більше в типовому ТП відповідно норма допоміжного часу більше;

- штучний час на операцію механічного оброблення однієї деталі в запропоновану ТП менший ніж у типовому ТП, оскільки складається з попередніх норм часу, окрім підготовчо-завершальної складової.

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що для запропонованого ТП майже всі норми часу менші ніж для типового ТП, так як менша кількість операцій механічного оброблення та допоміжних переходів. Отже, варто розглядати можливість скорочення кількості операцій механічного оброблення та допоміжних переходів на встановленні та переустановлення

деталей завдяки використанню прогресивного сучасного металорізального обладнання в поєднанні з гнучкими ВП, що забезпечують максимально можливу інструментальну доступність.

З отриманих даних основний час запропонованого ТП в 2,5 рази більше ніж типового, допоміжний час в 1.5 рази запропонованого ТП менше ніж в типовому ТП, що свідчить про підвищення продуктивності виготовлення деталей та зменшення витрат часу на базування та закріплення деталей.

Висновки. Розроблено конструкторсько-технологічну класифікацію деталей типу кронштейни, що включає в себе конструкторські та технологічні ознаки та визначений типовий представник деталей даного класу, що дозволяє створити передумови для систематизації та обґрунтованого опису деталей типу кронштейни. На основі розробленої конструкторсько-технологічної класифікації створено методику кодування деталей типу кронштейнів, яка забезпечить пошук відповідних конструкцій ВП в інформаційно-пошукових системах.

Обґрунтовано, що в сучасних умовах машинобудування необхідно прагнути до інтенсифікації процесів механічного оброблення, на підставі цього запропонований новий технологічний процес, що дозволяє суттєво скоротити витрати допоміжного та додаткового часу, зокрема у 2,5 рази і 1,5 рази відповідно. При цьому частка основного часу у структурі норми часу збільшилася з 21% до 57% відповідно для типового

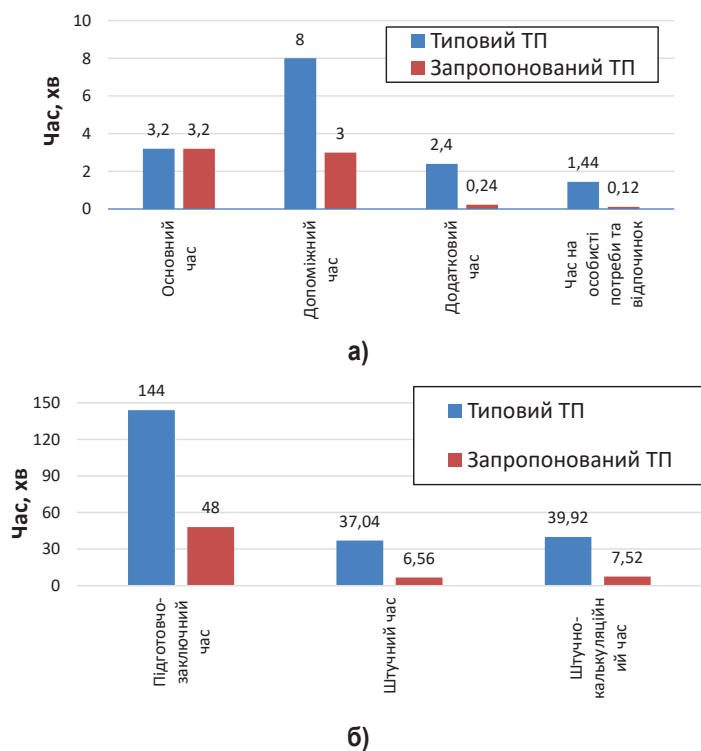


Рис. 6. Норми часу: а – на переходи, що виконуються для кожної деталі; б – на партію деталей

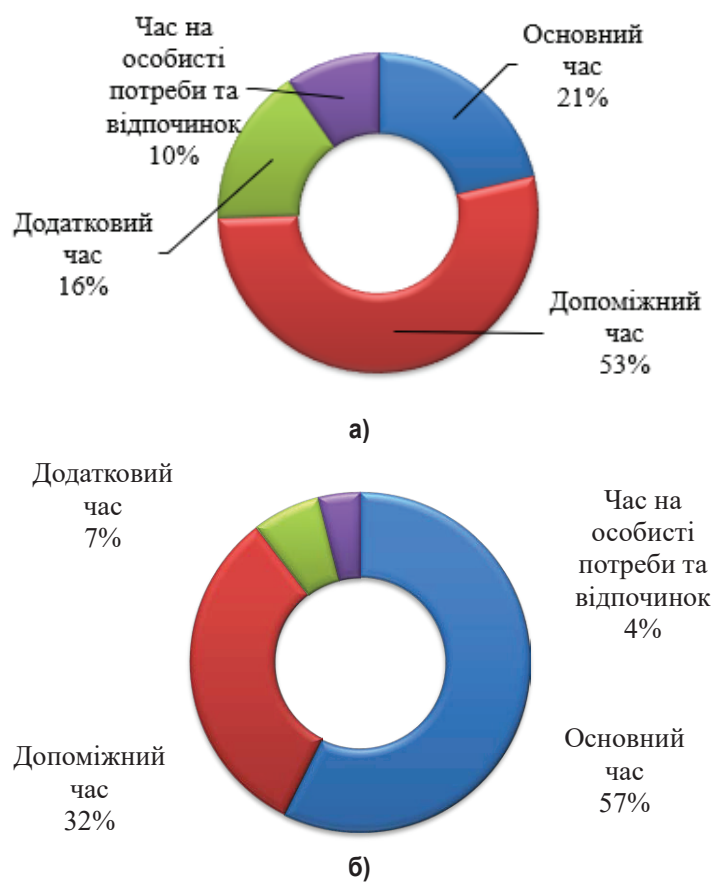


Рис. 7. Норми часу у відсотках: а – типовий ТП ; б – запропонований ТП

і запропоновано технологічних процесів, що свідчить про збільшення продуктивності виготовлення деталей та зменшення витрат часу, пов'язаних із базуванням та закріпленням деталей.

Дослідження виконано в рамках виконання українсько-словацького науково-дослідного проєкту «Удосконалення технологічної підготовки виробництва за

рахунок автоматизації процесу проектування верстатних пристроїв» (ДР № 0122U002657, № 0123U103320, Міністерство освіти і науки України) та НДР «Інтенсифікація виробничих процесів та розробка інтелектуальних систем контролю якості продукції в інтелектуальному виробництві» (ДР № 0122U200875, Міністерство освіти і науки України).

Бібліографічні посилання:

1. Bi, Z. M., Lang, S. Y. T., Verner, M., & Orban, P. (2008). Development of reconfigurable machines. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(11–12). <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1288-1>
2. Ivanov, V. (2019). Process-oriented approach to fixture design. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_5
3. Ivanov, V., Pavlenko, I. (2017). Comprehensive analysis of the mechanical system system “fixture –workpiece”. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 4(1), pp. A1–A10 (2017), [https://doi.org/10.21272/jes.2017.4\(1\).a1](https://doi.org/10.21272/jes.2017.4(1).a1).
4. Arora, M., Luan, S., Thurston, D. L., & Allison, J. T. (2017). Hybrid procedure-based design strategies augmented with optimization. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, 2A-2017*. <https://doi.org/10.1115/DETC2017-68348>
5. Oravcova, J. (2014). The methodical procedure for designing of clamping jaws. *Applied Mechanics and Materials*, 693. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.693.44>
6. Chuku, E.A., Jack, T.K., Nwosu, H.U.: Computer applications in mechanical engineering education-Case 2: Helical gear design and analysis with Visual Basic. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Vol. 11(10), pp. 470–481 (2014).
7. KUMBHAR, N. M., PATIL, G. S., MOHITE, S. S., & SUTAR, M. A. (2013). FINITE ELEMENT MODELLING AND ANALYSIS OF WORKPIECE-FIXTURE SYSTEM. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.47893/ijarme.2013.1087>
8. Tadic, B., Vukelic, D., Miljanic, D., Bogdanovic, B., Macuzic, I., Budak, I., & Todorovic, P. (2014). Model testing of fixture-workpiece interface compliance in dynamic conditions. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1). <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.05.004>
9. Liao, Y. G., & Hu, S. J. (2001). An integrated model of a fixture-workpiece system for surface quality prediction. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17(11). <https://doi.org/10.1007/s001700170108>
10. Zheng, Y., Rong, Y., & Hou, Z. (2008). The study of fixture stiffness part I: A finite element analysis for stiffness of fixture units. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(9–10). <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0908-5>
11. Vallapuzha, S., de Meter, E. C., Choudhuri, S., & Khetan, R. P. (2002). An investigation of the effectiveness of fixture layout optimization methods. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(2). [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(01\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(01)00114-6)
12. Kampker, A., Burggräf, P., Wesch-Potente, C., Petersohn, G., & Krunke, M. (2013). Life cycle oriented evaluation of flexibility in investment decisions for automated assembly systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(4). <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2013.07.004>
13. Ivanov, V., & Zajac, J. (2018). Flexible Fixtures for CNC Machining Centers in Multiproduct Manufacturing. *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, 4(12). <https://doi.org/10.4108/eai.10-1-2018.153552>
14. Wan, N., Wang, Z., & Mo, R. (2013). An intelligent fixture design method based on smart modular fixture unit. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(9–12). <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5134-3>

Ciszak O., Doctor of Engineering, Professor, Poznan University of Technology, Poznan, Poland

Kolos V. O., PhD student, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Intensification of the technological process of processing bracket-type details

The latest trends in the field of mechanical engineering indicate that in a competitive environment, manufacturers are trying to reduce the time to market, while the complexity of manufacturing, the requirements for its accuracy and quality are constantly increasing. In this regard, the introduction of flexible machine tools that provide quick readjustment of parts to different sizes within the specific structural and technological features of the workpieces is urgent. The increase in the range of products at modern machine-building enterprises requires frequent adjustments of production to process the next batch of parts, which raises questions about the economic feasibility of designing and manufacturing special machine tools for parts of a specific size (Bi et al., 2008).

Constant updating of the nomenclature of parts due to minor design changes, as well as small batch sizes make the topic of designing, modeling and manufacturing of flexible machine tools relevant and timely. Increasing the flexibility and expanding the technological capabilities of machine tools, reducing the preparatory and final time for their reconfiguration, and therefore, increasing the efficiency of metal-cutting machines is ensured by the development and implementation of quickly reconfigurable functional units (Ivanov, 2019).

During the machining operation, the workpiece is re-fixed and the base scheme is changed, both between technological operations and at different facilities within a specific operation, as a result of which the installation error accumulates and leads to a decrease in the accuracy of the relative location of the surfaces of the processed part. At each machining operation, a mandatory check of the position of the part takes place with an unchanged base scheme, which significantly

increases unproductive time costs, and, therefore, leads to an increase in the cost of the part, which is unacceptable in the conditions of modern production.

Research is aimed at improving the efficiency of processing brackets by intensifying the technological process and introducing flexible machine tools that ensure multi-coordinate processing.

Key words: *flexibility, technological process, flexible fixture, design-technological classification*