

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ТРИКУЛАЧКОВОГО ПАТРОНА ДЛЯ ЗАТИСКУ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК

Володимир Крупа

кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, Тернопіль, Україна, 46000, konf.tntu@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5634-0053

Володимир Кобельник

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, Тернопіль, Україна, 46000, v_kobelnyk@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0614-7487

Андрій Гагалюк

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, Тернопіль, Україна, 46000, gagalyuk.a@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4074-2706

Головною метою статті є розроблення конструкції та дослідження параметрів спеціального патрона для базування і затиску заготовки у вигляді тонкостінних циліндричних заготовок. У роботі проаналізовано технологічні процеси та оснащення для затиску тонкостінних циліндричних заготовок, виділено їхні переваги та недоліки. Виявлено напрями досліджень у сфері як способів затиску заготовок, так і конструкції патронів та окремих затискних елементів. Запропоновано метод затиску тонкостінних циліндричних заготовок по торцях із базуванням по зовнішній циліндричній поверхні, заснований на збереженні принципу постійності і сумісності баз. Надано практичні рекомендації для застосування даного методу. На основі запропонованих розрахункових схем отримано залежності для визначення радіусу розточування кулачків з урахуванням контактних деформацій на поверхні заготовки залежно від параметрів заготовки, її радіусу та матеріалу на основі мінімізації похибок базування. Наведено залежності для визначення необхідного зусилля затиску виходячи з: умови міцності на зминання торцевих поверхонь заготовки з урахуванням зовнішнього та внутрішнього діаметрів заготовки, глибини різання; умови втрати стійкості за критичною силою Ейлера; силових характеристик процесу різання. Надано практичні рекомендації щодо використання даних залежностей. Запропоновано конструкцію спеціального самоцентруючого патрона, що розроблена на базі трикулачкового токарного патрона. Розроблена конструкція патрону може бути застосована на виробництві на універсальних токарних верстатах замість існуючих трикулачкових патронів для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь циліндричних довгомірних деталей та не потребує виготовлення додаткового обладнання.

Ключові слова: затиск, тонкостінний циліндр, базування, радіус кулачка, конструкція патрона.

Актуальність теми дослідження. Якість виготовлення деталей впливає на ефективність роботи самих машин. На якісні показники деталей впливає багато чинників, один із яких – правильність базування та закріплення на кожній із технологічних операцій. «Помилки» базування чи закріплення на одній з операцій незалежно від того, перша вона чи остання, суттєво позначаються на точності обробки внаслідок явища технологічної спадковості. Особливо відчутно це на деталях типу тонкостінного циліндра з гли-

бокими отворами. На таких деталях найбільше відображається вплив затиску на такі відхилення від форми, як огранка отвору чи відхилення від циліндричності, виправити які практично неможливо. Тому для деталей такого типу необхідне унікальне технологічне обладнання, яке б, з одного боку, правильно базувало заготовку, а з іншого – забезпечувало б достатній затиск, щоб заготовка в процесі оброблення не прокручувалася.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізовано технологічні процеси та осна-

щення для виготовлення деталей типу «тонкостінний циліндр» із глибокими отворами [1; 2]. Відповідно до класифікації, глибоким вважається отвір із відношенням довжини до діаметра більше п'яти. Однією з причин відхилення від циліндричності є похибки базування та затиску заготовки [1].

Існуючі затискні патрони для закріплення заготовок зі співвідношенням їх довжини l до діаметра d $l/d=3-10$ [1; 2] поділяються на кулачкові та цангові. Інші види патронів (гідропластові, термопластові) практично не застосовуються. Кожен із даних видів має свої переваги і недоліки. У роботах [3; 4] виконано детальний аналіз конструкцій затискних механізмів, проведено ґрунтовні дослідження параметрів затискних патронів, сил затиску тощо, закладено концепції їх створення, у т.ч. прецизійних патронів для високошвидкісної обробки.

У цілому створенню та обґрунтуванню параметрів спеціальних конструкцій затискних елементів з окремими особливостями присвячено значну кількість робіт. Наприклад, у [5] досліджувалися гвинтові елементи, у [6] – елементи з адаптивним затиском, у [7] – з електромеханічним приводом затиску на основі генетико-морфологічного підходу. Роботу [8] присвячено безкамерним затискним патронам для високошвидкісної обробки матеріалів, [9] – широкодіапазонним плунжерно-клиновим токарним патронам із пружними ланками, [10] – токарним патронам для автоматичного затиску заготовки. Кожен вид патрона має своє певні обмеження щодо застосування.

Щодо методів дослідження, то основою є встановлення сил затиску, наприклад безкамерних затискних патронів [11; 12], їх контролю для тонкостінних деталей [13], методів дослідження затиску [14] та зв'язок сил затиску із силами різання [15]. У [16] описано оригінальний експериментальний метод визначення сил затиску із закріпленням тонкої підкладки без деформації системою затискних штифтів, яка фіксує тонку підкладку шляхом заморожування фіксуючої рідини на багатьох штифтах, а в [17] – спосіб експериментального визначення контактних тисків на зовнішній і внутрішній поверхнях затискної втулки.

Широко застосовують також аналіз систем затиску з використанням САЕ-систем, наприклад для багатолезової обробки [18], для визначення пружно-деформованого стану патрону [19] тощо. Є роботи, у яких досліджують систему енергозатрат затиску [20], характеристик самого шпин-

деля під дією затискних та відцентрових сил [21], а також систему керування самим процесом затиску [22].

Окремим видом досліджень є роботи щодо поведінки самої заготовки, зокрема її деформації під час затиску різними типами затискних патронів [23], впливу способів затиску на відхилення від круглості тонкостінних кілець [24; 25], механіці самого процесу затиску тонкостінних кілець [26].

Мета всіх досліджень – зменшити можливі похибки базування та затиску заготовок для підвищення якості поверхонь. Універсального затискного пристрою створити неможливо, кожен має своє обмежене застосування.

Метою роботи є розроблення та дослідження параметрів спеціального патрона для базування та затиску заготовки у вигляді тонкостінних циліндричних заготовок.

Основні завдання: 1) розробити принцип базування та затиску довгомірних циліндричних заготовок; 2) обґрунтувати деякі параметри та технологічні обмеження можливості базування і затиску заготовок у даному патроні; 3) запропонувати конструкцію патрона.

Матеріал і результати досліджень.

Принципи створення спеціального затискного патрона. Створення спеціального трикулачкового патрона базується на технологічному маршруті обробки тонкостінних циліндрів, на виборі та збереженні принципу постійності і сумісності баз.

Основною ідеєю розроблення патрона є її базування в трикулачковому патроні із затиском по торцях. Звичайно, для тонкостінних циліндрів із глибокими отворами такий метод може мати своє обмежене застосування щодо своїх можливостей максимальної довжини заготовки та мінімальної товщини стінки. Проте він показує себе ефективно в певному діапазоні довжини та товщини стінок оброблюваної заготовки.

Циліндричні поверхні заготовки під час затиску тонкостінних циліндрів не повинні сприймати зусиль затиску, інакше отримаємо огранку отвору [3, с. 23]. Проте їх можна і потрібно використати для базування. Схему базування та затиску заготовки подано на рис. 1.

Перед установленням заготовки у патрон необхідно виконати дві технологічні операції: фрезерування торців та обточування зовнішньої циліндричної поверхні. Під час обточування необхідно забезпечити, щоб базування заготовки труби здійснювалося по внутрішній циліндрич-

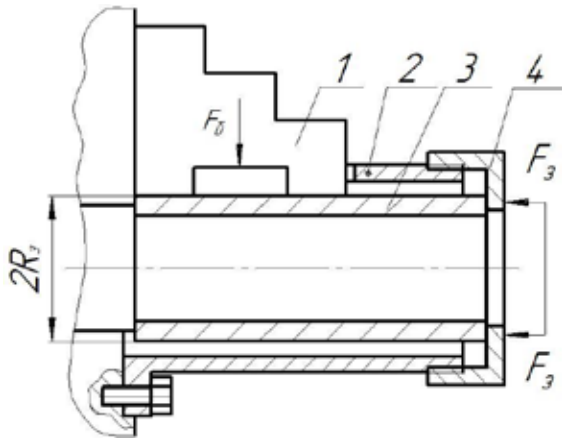


Рис. 1. Схема закріплення заготовки в патроні:
1 – кулачки; 2 – заготовка; 3 – оброблювана заготовка; 4 – затискна гайка

ній поверхні у центрах (передній підпружинено-плаваючий), а за рахунок торцевих із рифленням поверхонь здійснювався затиск і передача крутного моменту.

Установивши заготовку в патрон, зводимо кулачки до контакту із заготовкою і забезпечуємо силу базування F_b . Існуючі залежності [3, 23] розрахунку зусиль затиску заготовки в трикулачковому патроні з умов недопущення її прокручування в кулачках, вивернення з кулачків чи зсуву її вздовж осі в процесі обробки не можуть бути використані для визначення F_b . Сила базування повинна спричинити спотворення профілю заготовки, але забезпечить можливість її правильного базування з урахуванням контактних напружень.

Однією з умов такого способу затиску є те, що потрібно забезпечити максимальну площу контакту кулачків із заготовкою. Для підвищення точності базування необхідно, щоб циліндричні базуючі поверхні кулачків повинні бути створені розточуванням в їх затиснутому стані (рис. 2). Для реалізації цього спочатку необхідно сформувати канавку на кулачках в їх розтиснутому стані. У канавку встановити товстостінну втулку, затиснути кулачки та їх розточити.

Визначення основних параметрів та обмеження. Параметри базуючих поверхонь патрона (кулачків) повинні бути розраховані так, щоб під час базування забезпечувалася максимальна площа їх контакту із зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки. Тобто треба визначити необхідний радіус розточування кулачків. Для цього скористаємося розрахунковою схемою (рис. 3).

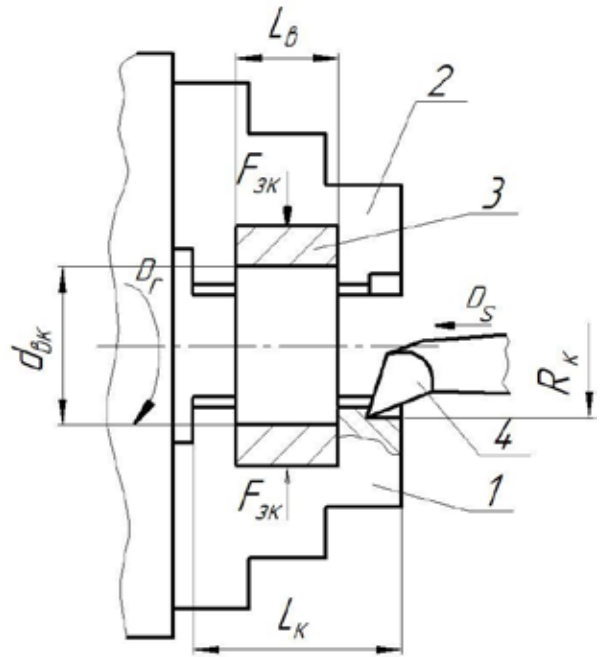


Рис. 2. Схема розточування кулачків:
1, 2 – кулачки; 3 – товстостінна втулка; 4 – різець

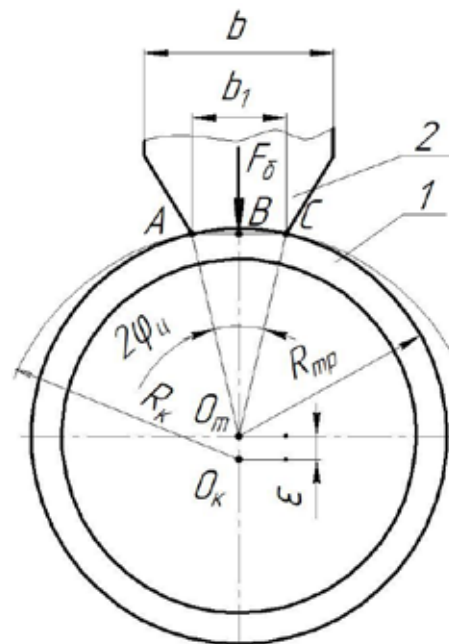


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення радіуса кулачка R_k , який створюється розточкою:
1 – заготовка (труба); 2 – кулачок 3-кулачкового патрона

Кут контакту кулачка $2\varphi_u$ із заготовкою визначимо з $\Delta O_m AB$, задавшись шириною контакту кулачка b_1 та радіусом заготовки R_s :

$$2\varphi_u = 2\arcsin(b_1 / 2R_s) \quad (1)$$

З іншого боку, використавши [20], запишемо значення $2\varphi_{\square}$ за умови контактної жорсткості:

$$2\varphi_{\square} = \arctg 2\sqrt{(v_1 + v_2) \cdot F_6 / \varepsilon}, \quad (2)$$

де $v_1 = (1 - \mu_1^2) / \pi \cdot E$, $v_2 = (1 - \mu_2^2) / \pi \cdot E_1$;

ε – радіальний зазор, мм;

E і E_1 – модулі пружності матеріалів кулачка і заготовки відповідно, МПа;

μ_1 і μ_2 – відповідно коефіцієнти Пуассона матеріалів кулачка і заготовки.

У разі коли кулачки і заготовка виготовлені з одного матеріалу, рівняння (2) набуде вигляду:

$$2\varphi_{\square} = 2\arctg 2\sqrt{2(1 - \mu^2) F_6 / \pi E \varepsilon} \quad (3)$$

Здійснимо оцінку похибок унаслідок зусилля базування. Зважаючи на те, що кулачки розточені певним радіусом, можемо прийняти, що зусилля базування відповідає рівномірно розподіленому навантаженню q_0 , яке визначиться із залежності [27]:

$$q_0 = 3F_6 / 2\pi R_k \quad (4)$$

Визначивши F_6 із рівняння (4) $F_6 = 2q_0\pi R_k / 3$, підставимо його у (2) та (3):

$$2\arcsin(b_1 / 2R_s) = \arctg 2\sqrt{(v_1 + v_2) \cdot 2q_0\pi R_k / 3\varepsilon} \quad (5)$$

$$\arcsin(b_1 / 2R_s) = \arctg 2\sqrt{2(1 - \mu^2) 2q_0 R_k / 3E\varepsilon} \quad (6)$$

Із рівняння (5) отримаємо необхідний радіус розточування кулачка у разі, якщо матеріали заготовки і кулачка різні:

$$R_k = \frac{3\varepsilon(4R_s^2 - b_1^2)}{128 \cdot R_s^2 \cdot q_0 \cdot \pi(v_1 + v_2)}, \quad (7)$$

а із (6) – якщо матеріали однакові:

$$R_k = \frac{3E\varepsilon(4R_s^2 - b_1^2)}{64 \cdot R_s^2 \cdot q_0 \cdot (1 - \mu^2)} \quad (8)$$

Окрім цього, необхідно врахувати технічні обмеження [28], а саме:

– сила затиску повинна обмежуватися міцністю на зминання торцевих поверхонь заготовки, які сприймають затискні зусилля. Умову міцності на зминання [27]:

$$\sigma = \frac{4F_3}{\pi(D_m^2 - d_n^2)} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (9)$$

де D_m^2 – зовнішній діаметр заготовки;

d_n – внутрішній діаметр торцевої втулки, що притискає заготовку. Для практичних розрахунків визначається із залежності:

$$d_n = d + 2z + 0.5,$$

де d – внутрішній діаметр заготовки, мм; z – припуск на обробку (на сторону);

Отримаємо:

$$F_3 \leq 0,25\pi(D_s^2 - d_n^2) \cdot [\sigma]_{зм}. \quad (10)$$

Сила затиску не повинна перевищувати критичну силу Ейлера, тобто циліндр (стержень) не повинен утрачати стійкості, а звідси й елементи режиму різання та сила різання повинні бути розраховані з урахуванням нижче приведених обмежень [27–29]:

– для недовгих циліндрів:

$$F_3 < P_{кр} = \frac{\pi E \delta}{\sqrt{3(1 - \mu^2)}} \quad (11)$$

– для довгих циліндрів, коли довжина $l > (10...15)\sqrt{R\delta}$:

$$F_3 < P_{кр} = \frac{\pi E R^3 \delta}{(\mu l)^2} \quad (12)$$

Для практичних розрахунків за формулами (11) та (12) потрібно визначити $P_{кр}$ і прийняти менше значення.

З іншого боку, момент затиску M_3 повинен перевищувати сумарний крутний момент від сили різання Pz (M_{piz}), розрахункове значення якої можна знайти за відомими емпіричними залежностями із довідників, наприклад [30].

Повинна виконуватись умова:

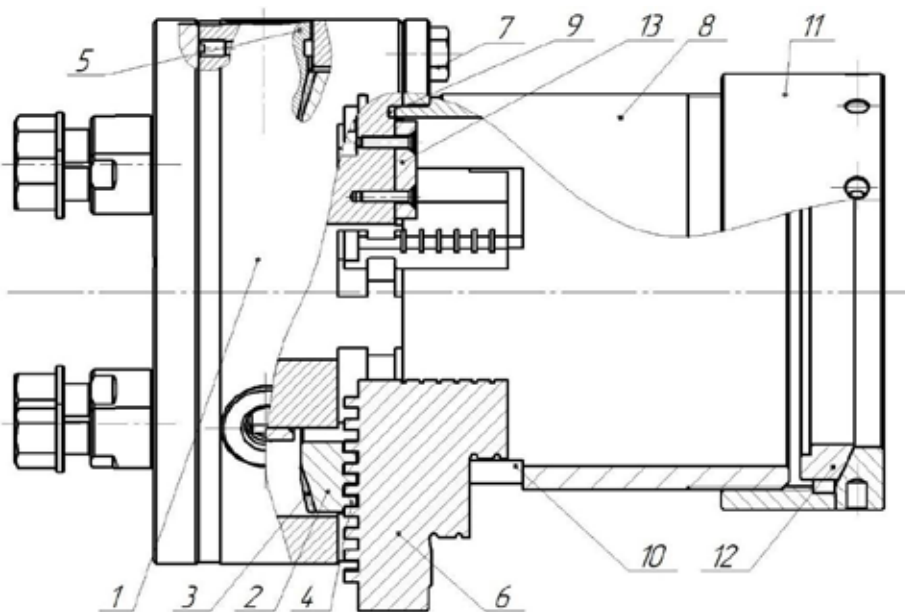
$$M_3 \geq M_{piz}$$

Тоді у цілому, уважаючи радіус дії сили затиску (середній радіус затиску) та радіус дії сил Pz приблизно рівним, отримаємо:

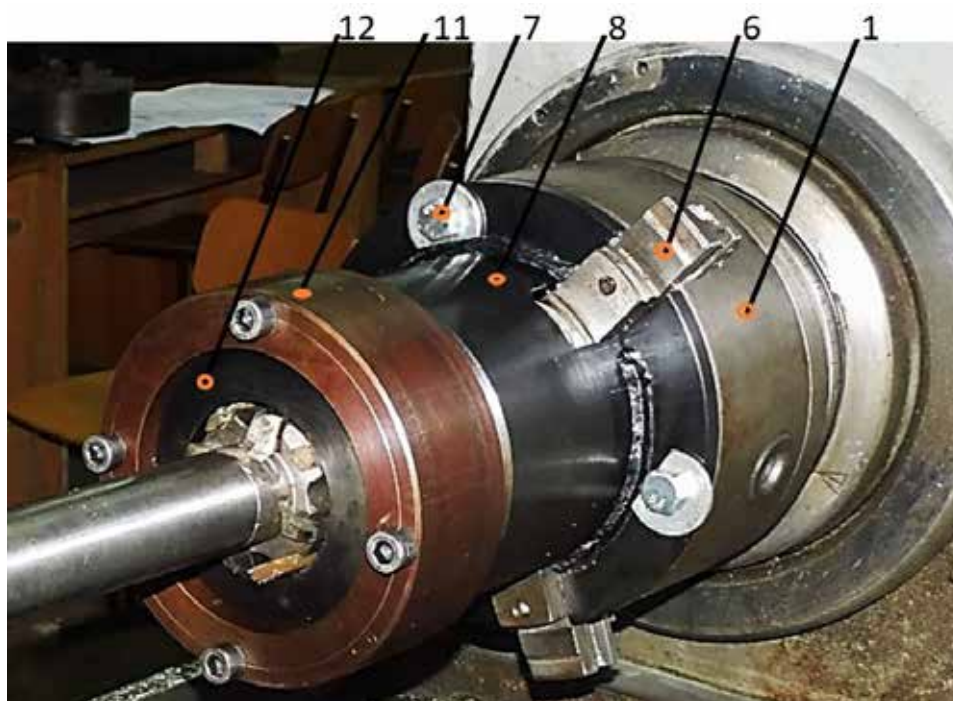
$$F_3 \geq k \cdot n \cdot P_z,$$

де n – кількість різців інструменту; k – коефіцієнт тертя.

Конструкція патрона. Зважаючи на вище отримані обмеження, запропоновано конструкцію патрона [31]. Патрон складається з корпусу 1, у якому встановлений диск 2 (рис. 4). На одному торці диска 2 нарізаний конічний зубчастий вінець 3, а на іншому – архімедова спіраль 4. Диск 2 зубчастим вінцем 3 спряжений із відповідними конічними зубчастими вінцями трьох сухарів 5. Сухарі 5 встановлені в радіально розташовані отвори корпусу 1 і в осьовому напрямку зафіксовані штопорами. За допомогою сухарів 5 здійснюється прокручування диска 2. Архімедова спіраль 4 диска 2 спряжена з відповідними



а)



б)

Рис. 4. Конструкція спеціального трикулачкового патрона: а) фронтальна проєкція з розрізом; б) фотографія в процесі роботи

поверхнями трьох кулачків 6 і забезпечує їх рівномірне переміщення від та до центру в процесі провертання сухарів 5 та диска 2. Кулачки 6 встановлені в Т-подібних радіальних пазах, що виконані на передньому торці корпусу 1. До переднього торця корпусу 1 за допомогою гвинтів 7

жорстко, співвісно до нього, закріплена втулка 8. Співвісність втулки 8 і корпусу 1 забезпечується за допомогою кільцевої виточки 9 у корпусі 1. У втулці 8 виконані радіальні пази 10 для забезпечення вільного ходу кулачків 6. На іншому боці втулки 8 на її зовнішній циліндричній поверхні

виконана різь та встановлена спеціальна гайка 11. Спеціальна гайка 11 є деталлю типу «стакан» із центральним отвором.

На зовнішній циліндричній поверхні спеціальної гайки 11 по периферії розміщені отвори для забезпечення її закручування на втулку 8 та затиску заготовки. Внутрішня торцева поверхня спеціальної гайки 11, що виконана у вигляді частини сфери, спряжена з аналогічною зовнішньою торцевою поверхнею спеціальної шайби 12. На іншій плоскій торцевій поверхні шайби 12 виконаний уступ. Як варіант конструкторського виконання для запобігання можливому прокручуванню заготовки на передньому торці корпусу 1 виконаний радіальний паз, у якому зафіксована шпонка 13. У спеціальній шайбі 12 виконаний центральний отвір меншого діаметру, ніж центральний отвір спеціальної гайки 11. Спеціальна шайба є знімною для певного діаметра втулки.

Робота патрона забезпечується так. Спочатку розточують кулачки 6 радіусом R_k , який визначений із залежності (7). За необхідності (якщо на патроні є шпонка 13) на торці заготовки формують радіальний паз шириною, що відповідає ширині шпонки. Заготовку встановлюють у патрон так, щоб її торець знаходився в контакті з торцем патрона, і зводять кулачки 6 до контакту із заготовкою. Прикладають зусилля в межах 5–20 Н, забезпечуючи таким чином базування заготовки. На інший кінець заготовки встановлюють спеціальну шайбу 12 так, щоб її уступ встановився поверх заготовки, і загвинчують спеціальну гайку 11, забезпечивши контакт сферичних торцевих поверхонь відповідно спеціальних шайби 12 та гайки 11. Загвинчуванням гайки 11 забезпечують зусилля затиску заготовки F_3 . Прокручування гайки здійснюють шляхом установа спеціального ключа в периферійні отвори гайки.

Після оброблення внутрішньої циліндричної поверхні заготовки спеціальну гайку 11 відкручують та знімають разом зі спеціальною шайбою 12. Кулачки 6 розводять і заготовку знімають. Процес повторюють.

Таким чином, запропонована конструкція самоцентруючого трикулачкового патрона дасть можливість забезпечувати оброблення заготовок із тонкостінних циліндрів діаметром від 30 до 150 мм та довжиною до 600 мм, не спотворюючи при цьому профілю поперечного перерізу, а також забезпечить оброблення внутрішньої циліндричної поверхні на всю довжину.

Висновки. Запропоновано принцип затиску довгомірних деталей тонкостінних циліндрів із базуванням у трикулачковому патроні із забезпеченням певного зусилля базування та затиском по торцях.

Отримано залежності радіуса розточування кулачків за умови максимального контакту та забезпечення базування.

Установлено технологічні обмеження сил затиску та різання залежно від параметрів заготовки: її довжини, діаметрів та матеріалу.

Запропоновано конструкцію спеціального трикулачкового патрону для базування та затиску тонкостінних заготовок.

Перспектива подальших досліджень. Для даного способу базування та затиску необхідно провести дослідження напружено-деформованого стану заготовки залежно від товщини стінки, довжини базування в кулачках, навантаження та інших параметрів та розробити практичні рекомендації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lester G.F. Deep Hole Drilling. Forgotten Books, 2018. 52 p.
2. Han X., Liu Z., Feng Y. Experimental research on the deep-hole boring of pure niobium tube. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2020. № 234(8). P. 1124–1132. DOI: 10.1177/0954405420905980.
3. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах : монографія / за ред. Ю.М. Кузнецова. Київ ; Тернопіль : Терно-граф, 2011. 692 с.
4. Кузнецов Ю.М., Гуменюк О.А., Рудковський А.М., Аль-Дабас Х. Принципи створення інструментальних прецизійних затискних патронів для високошвидкісної обробки. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2006. Вип. 17. С. 134–141.
5. Скиба О.П. Синтез гвинтових затискних пристроїв для закріплення тонкостінних заготовок на металорізальних верстатах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2010. 23 с.
6. Lutsiv I. Voloshyn V., Bytsa R. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface. *Machines, Technologies, Materials. International journal*. 2015. № 12. P. 64–67.
7. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І., Гайданко Ю.В. Затискний патрон із зовнішнім електромеханічним приводом. *Cutting & tools in technological systems*. 2018. Вип. 88. С. 88–93.

8. Новік М.А., Юрчишин О.Я., Музиченко В.В. Дослідження статичних та динамічних характеристик безкамерних затискних патронів для високошвидкісної обробки матеріалів різанням. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія «Технології в машинобудуванні»*. 2017. № 17(1239). С. 67–70.
9. Луців І.В., Волошин В.Н., Лось І.Г. Широкодіапазонні плунжерно-клинові токарні патрони з пружними ланками. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023)* : тези доповідей міжнародної наук-техн. конф., м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. С. 48–50.
10. Prydalnyi B. Improvement of the Automatic Workpiece Clamping Mechanism of Lathes to Expand Technological Capabilities. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Pitel, J. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-32767-4_31.
11. Prydalnyi B. Creation of automatic clamping mechanisms for spindle assemblies of machine tools using a formalized description of structural elements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5. № 1(119). P. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265191>.
12. Новік М.А., Юрчишин О.Я. Розробка і дослідження зусилля затиску і крутного моменту безкамерного затискного патрона. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2020. Вип. 1. С. 54–57. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-004X.2020.1.09>.
13. Wang, G., Cao, Y., Zhang, Y. Digital twin-driven clamping force control for thin-walled parts. *Advanced Engineering Informatics*. 2021. Vol. 51. P. 101468. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101468>.
14. Estrems, M., Arizmendi, M., Cumbicus, W.E., López, A. Measurement of Clamping Forces in a 3 Jaw Chuck through an Instrumented Aluminium Ring. *Procedia Engineering*, 2015. 132, 2015. P. 456–463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.519>.
15. Yoshitomi, K., Une, A., Tada, K. (2020). Study of a clamping process with no deformation for a thin substrate using a freezing pin chuck system. *Precision Engineering*. 2020. № 64. P. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.03.008>.
16. Kenichiro Yoshitomi, Atsunobu Une, Kazuki Tada. Study of a clamping process with no deformation for a thin substrate using a freezing pin chuck system, *Precision Engineering*. 2020. Vol. 64. P. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.03.008>.
17. Новік М.А., Музиченко В.В. Спосіб експериментального визначення контактних тисків на зовнішній і внутрішній поверхнях затискної втулки малогабаритного затискного патрона з регульованою силою затиску. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 1. С. 149–154.
18. Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М. Комп'ютерний аналіз підсистем затиску та самоналагоджувального оснащення для багатолезової обробки адаптивного типу. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 2. С. 183–190.
19. Литвин О.В., Кушик В.Г. Визначення пружно-деформованого стану затискного патрону токарного верстата. *Технологія і техніка друкарства*. 2008. № 3–4(21–22). С. 121–128. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3-4\(21-22\).2008.58862](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3-4(21-22).2008.58862).
20. Thorenz, B., Westermann, H., Kafara, M., Nuetzel, M., Steinhilper, R. Evaluation of the influence of different clamping chuck types on energy consumption, tool wear and surface qualities in milling operations. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 21. P. 575–582. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.158>.
21. Wan, S., Hong, J., Du, F., Fang, B., Li, X. Modelling and characteristic investigation of spindle-holder assembly under clamping and centrifugal forces. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2019. № 33(5). P. 2397–2405. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0438-3>.
22. Spur, G., Stelzer, C. Closed-loop Control in Power Operated Three-jaw Chucks. *Advancement of Intelligent Production*. 1994. P. 271–276. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81901-7.50059-1>.
23. Кузнєцов Ю.М., Кушик В.Г., Волошин В.Н. Схеми охоплення заготовок різними затискними патронами. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2002. № 3. P. 23–28.
24. Sölter J. Grote C., Brinksmeier E. Influence of clamping strategies on roundness deviations of turned rings. *Machining Science and Technology: An International Journal*. 2011. № 15:3. P. 338–355.
25. Бица Р.О. Обґрунтування характеристик токарних кулачкових патронів з адаптивними затискними елементами : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2017. 151 с.
26. Estrems, M., Carrero-Blanco, J., Cumbicus, W.E., de Francisco, O., Sánchez, H.T. Contact mechanics applied to the machining of thin rings. *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 13. P. 655–662. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.138>.
27. Трач В.М., Подворний А.В. Опір матеріалів (спеціальний курс), теорія пружності та пластичності : підручник. Дніпро : Каравела, 2018. 438 с.
28. Кривий П.Д., Крупа В.В., Продан В.І. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів. *Вісник ТДТУ*. 2010. Т. 15. № 1. С. 147–156.
29. Крупа В.В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2015. 185 с.
30. Metal Cutting Tool Handbook. Cutting tools. *Industrial Press Inc*. 1989. 795 p.
31. Самоцентруючий трикулачковий патрон : пат. 117075 Україна : МПК В23В 31/16. № а201705784 ; заявл. 12.06.2017 ; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.

JUSTIFICATION OF THE SPECIAL THREE-BALL CHUCK PARAMETERS FOR CLAMPING THIN-WALLED CYLINDRICAL WORKPIECES

Volodymyr Krupa

PhD, Associate Professor, Acting Head of the Department of Design of Machine Tools, Tool and Machines

Ternopil Ivan Puliuj National Technical University, 56 Ruska str., Ternopil, Ukraine, 46000, konf.tntu@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5634-0053

Volodymyr Kobelnyk

PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Design of Machine Tools, Tool and Machines

Ternopil Ivan Puliuj National Technical University, 56 Ruska str., Ternopil, Ukraine, 46000, v_kobelnyk@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0614-7487

Andrii Gagaliuk

PhD., Senior Lecturer at the Department of Design of Machine Tools, Tool and Machines

Ternopil Ivan Puliuj National Technical University, 56 Ruska str., Ternopil, Ukraine, 46000, gagalyuk.a@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4074-2706

Purpose. The general focus and purpose of this study is to develop the structure and to investigate the parameters of special chuck for basing and clamping thin-walled cylindrical workpieces.

Methodology. A method of clamping thin-walled cylindrical workpieces at the ends with the base on the outer cylindrical surface is proposed. The required calculations for this clamping method have been carried out.

Findings. The dependencies for determining the main parameters of the cams, particularly, their boring radius, depending on the parameters of the workpiece, are obtained. Dependencies for determining the required base force, taking into account contact deformations on the workpiece surface and clamping force depending on the power characteristics of the cutting process are given. The technological limits of clamping and cutting forces depending on the workpiece parameters: its length, diameters, and material are determined. The structure of the special self-centering chuck is proposed.

Originality. The way to solve the contradictory problem: to separate the concepts of base and clamping in three-cam workpiece chuck is proposed in this paper. Basing is kept on the outer cylindrical surface, and the clamping is kept on the ends. While solving this problem, the factors related to contact stresses during basing, as well as the critical clamping force from the condition of workpiece stability are taken into account.

Practical value. The developed chuck structure can be applied in production on universal lathes instead of the existing three-cam chucks for machining internal cylindrical surfaces of cylindrical long parts.

Conclusions. The developed structure of the three-cam chuck based on the calculation of its certain structural elements makes it possible to use it for the workpieces with the diameter from 30 up to 80 mm and the length up to 600 mm. Application for workpieces of larger diameter requires additional investigations

Research perspective. For this method of basing and clamping, it is necessary to investigate the stress-strain state of the workpiece depending on the wall thickness, the length of basing in the cams, load and other parameters and develop practical recommendations

Key words: clamp, thin-walled cylinder, basing, tappet radius, chuck design.

REFERENCES

1. Lester G. French (2018). *Deep Hole Drilling*. Forgotten Books.
2. Han X., Liu Z., Feng Y. (2020) Experimental research on the deep-hole boring of pure niobium tube. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 234(8):1124-1132. doi:10.1177/0954405420905980
3. Kuznietsov Yu.M., Lutsiv I.V., Shevchenko O.V., Voloshyn V.N. (2011) *Tekhnologichne osnashchennia dlia vysokofektyvnoi obrobky detalei na tokarnykh verstatakh [Technological equipment for highly efficient processing of parts on lathes]*. Terno-hraf. [in Ukrainian]
4. Kuznietsov Yu.M., Humeniuk O.A., Rudkovskyi A.M., Al-Dabas Kh. (2006) Pryntsypy stvorennia instrumentalnykh pretsyziynykh zatysknykh patroniv dlia vysokoshvydkisnoi obrobky. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohrads'koho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyziatsiia*, 17, 134–141. [in Ukrainian]
5. Skyba O.P. (2010) Syntez hvyntovykh zatysknykh prystroiv dlia zakriplennia tonkostinnykh zahotovok na metalorizalnykh verstatakh [Synthesis of screw clamping devices for fastening thin-walled workpieces on metal cut-

ting machines]. Expanded abstract of candidate theses. Terнопil: TNTU [in Ukrainian]

6. Lutsiv I., Voloshyn V., Bytsa R. (2015) Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface *Machines, Technologies, Materials. International journal*, 12/2015, 64–67.

7. Kuznietsov Yu.M., Prydalnyi B.I., Haidaienko Yu.V. (2018). Zatytskyi patron iz zovnishnim elektromekhanichnym pryvodom [Clamping chuck with external electromechanical drive]. *Cutting & tools in technological systems*, 88, 88–93 [in Ukrainian].

8. Novik M.A., Yurchyshyn O.Ya., Muzychenko V.V. (2017). Doslidzhennia statychnykh ta dynamichnykh kharakterystyk bezkamernykh zatytskykh patroniv dlia vysokoshvydkisnoi obrobky materialiv rizanniam [Study of static and dynamic characteristics of tubeless clamping chucks for high-speed material cutting]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu «KhPI» : zb. nauk. pr.: Tekhnolohii v mashynobuduvanni*, 17 (1239), 67–70 [in Ukrainian].

9. Lutsiv I.V., Voloshyn V.N., Los I.H. (2023) Shyroko diapazonni plunzherno-klynovi tokarni patrony z pruzhnymy lankamy [Wide-range plunger-wedge turning chucks with elastic links]. Proceedings from KZlaTPS'23 *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system* (pp. 48–50). Chernigiv : NU «Chernihivs'ka politekhnika» [in Ukrainian].

10. Prydalnyi, B. (2023). Improvement of the Automatic Workpiece Clamping Mechanism of Lathes to Expand Technological Capabilities. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Pitel', J. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32767-4_31.

11. Prydalnyi, B. (2022). Creation of automatic clamping mechanisms for spindle assemblies of machine tools using a formalized description of structural elements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(1 (119)), 26–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265191>.

12. Novik M.A., Yurchyshyn O.Ia. (2020) Rozrobka i doslidzhennia zusyillia zatytsku i krutnoho momentu bezkamernoho zatytsknoho patrona [Development and research of the clamping force and torque of the tubeless clamping cartridge]. *Visnyk NTU «KhPI»*, 1, 54–57. <https://doi.org/10.20998/2079-004X.2020.1.09>.

13. Wang, G., Cao, Y., Zhang, Y. (2022). Digital twin-driven clamping force control for thin-walled parts. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101468. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101468>.

14. Estrems, M., Arizmendi, M., Cumbicus, W.E., López, A. (2015). Measurement of Clamping Forces in a 3 Jaw Chuck through an Instrumented Aluminium Ring. *Procedia Engineering*, 132, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.519>.

15. Yoshitomi, K., Une, A., Tada, K. (2020). Study of a clamping process with no deformation for a thin substrate using a freezing pin chuck system. *Precision Engineering*, 64, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.03.008>.

16. Kenichiro Yoshitomi, Atsunobu Une, Kazuki Tada (2020) Study of a clamping process with no deformation for a thin substrate using a freezing pin chuck system, *Precision Engineering*, 64, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.03.008>.

17. Novik M.A., Muzychenko V.V. (2015) Sposib eksperymentalnoho vyznachennia kontaktnykh tyskv na zovnishnii i vnutrishnii poverkhniakh zatytsknoi vtulky malohabarytnoho zatytsknoho patrona z rehulovanoi syloiu zatytsku [The method of experimental determination of contact pressures on the outer and inner surfaces of the clamping sleeve of a small-sized clamping cartridge with adjustable clamping force]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 1, 149–154. [in Ukrainian].

18. Lutsiv I.V., Voloshyn V.N., Bukhovets V.M. (2023) Kompiuternyi analiz pidsystem zatytsku ta samonalahodzhuvanno osnashchennia dlia bahatolezovoi obrobky adaptivnoho typu [Computer analysis of clamping subsystems and self-adjusting equipment for adaptive multi-blade machining]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*, 2, 183–190 [in Ukrainian].

19. Lytvyn, O.V., Kushyk, V.H. (2008) Vyznachennia pruzhno-deformovanoho stanu zatytsknoho patronu tokarnoho verstata [Determination of the elastically deformed state of the clamping chuck of a lathe]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 3–4(21–22), 121–128. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3-4\(21-22\).2008.58862](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3-4(21-22).2008.58862) [in Ukrainian]

20. Thorenz, B., Westermann, H., Kafara, M., Nuetzel, M., Steinhilper, R. (2018). Evaluation of the influence of different clamping chuck types on energy consumption, tool wear and surface qualities in milling operations. *Procedia Manufacturing*, 21, 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.158>.

21. Wan, S., Hong, J., Du, F., Fang, B., Li, X. (2019). Modelling and characteristic investigation of spindle-holder assembly under clamping and centrifugal forces. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33 (5), 2397–2405. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0438-3>.

22. Spur, G., Stelzer, C. (1994). Closed-loop Control in Power Operated Three-jaw Chucks. *Advancement of Intelligent Production*, 271–276. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81901-7.50059-1>.

23. Kuznietsov Yu.M., Kushyk V.H., Voloshyn V.N. (2002) Skhemy okhloplennia zahotovok riznymy zatytsknymy patronamy [Schemes of coverage of workpieces with various clamping cartridges]. *Visnyk Ternopil'skoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, 3, 23–28. [in Ukrainian]

24. Sölter J., Grote C., Brinksmeier E. (2011) Influence of clamping strategies on roundness deviations of turned rings. *Machining Science and Technology: An International Journal*, 15, 338–355.

25. Bytsa R.O. (2017) Obruntuvannya kharakterystyk tokarnykh kulachkovykh patroniv z adaptivnymy zatytsknymy elementamy [Justification characteristics of lathe chucks with adaptive clamping elements] Candidates thesis. Ternopil, TNTU [in Ukrainian].

26. Estrems, M., Carrero-Blanco, J., Cumbicus, W.E., de Francisco, O., Sánchez, H.T. (2017). Contact mechanics applied to the machining of thin rings. *Procedia Manufacturing*, 13, 655–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.138>.

27. Trach V.M., Podvorni A.V. (2018) *Opir materialiv (spetsialnyi kurs), teoriia pruzhnosti ta plastychnosti [Resistance of materials (special course), theory of elasticity and plasticity]*. Kyiv: Karavela [in Ukrainian].

28. Kryvyi P.D., Krupa V.V., Prodan V.I. (2010) *Konstruktorsko-tehnolohichni peredumovy pidvyshchennia yakosti obroblennia hlybokykh otvoriv tonkostinnykh tsylindriv [Design and technological prerequisites for improving*

the quality of processing deep holes of thin-walled cylinders]. *Visnyk TDTU*. 15,1, 147–156. [in Ukrainian]

29. Krupa V.V. (2015) *Metalorizalni instrumenty z asymetrychnym rozmishchenniam lez dlia obroblennia hlybokykh tsylindrychnykh otvoriv [Metal-cutting tools with asymmetric location of cutters for machining of cylinder deep holes]*. *Candidates thesis*. Ternopil, TNTU [in Ukrainian].

30. *Metal Cutting Tool Handbook, Cutting tools (1989)*, Industrial Press Inc.

31. *Samotsentruyuchyy trykulachkovyy patron [Self-centering three-jaw chuck]*: pat. 117075 Ukraine : МПК В23В 31/16. № а201705784 ; stated 12.06.2017; publ. 11.06.2018, Bul. № 11 [in Ukrainian]

Стаття надійшла 22.08.2023