

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-26-37

УДК 621.886.1

**Іван Дегтярьов¹, Анна Нешта², Микола Самардак³, Віталій Кононович⁴,
Павло Кушніров⁵, Вадим Бага⁶, Ярослав Клок⁷**

¹кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

²кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4072-5439>

³інженер, ПАТ «Сумський завод “Насосенергомаш”» (Суми, Україна)

E-mail: samardaknik@gmail.com

⁴аспірант кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: v.kononovych@tmvi.sumdu.edu.ua

⁵кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5894-538X>

⁶кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технічної теплофізики
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: v.baga@kttf.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0131-631X>

⁷студент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: yarikklok11@gmail.com

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБЛАСТІ КОНТАКТУ ШТИФТОВИХ КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ З КОНУСНІСТЮ 1:50

На основі геометричного аналізу області контакту штифтового конічного з'єднання встановлено параметри, що впливають на тип контакту отвору і штифта. Уперше встановлена та запропонована у вигляді формули залежність величини відхилення кута отвору під штифт від допусків на параметри розгортки конічних. У роботі як рекомендації конструктору для проектування штифтових конічних з'єднань із конусністю 1:50 представлені графіки залежності відхилення кутів отвору та штифтів класів точності А і В від їхнього номінального значення. Також визначена сумарна відносна похибка відхилення кутів отвору та штифта від номінального значення кута для усіх стандартних значень діаметрів штифтових конічних з'єднань.

Ключові слова: насособудування; клас точності; допуск; конструкторська документація; номінальний розмір.
Табл.: 1. Рис.: 11. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Штифтові з'єднання (ШЗ) застосовуються в деталях машин та механізмів, де необхідно отримати високу точність центрування у процесі складання вузлів [1]. Штифти можуть застосовуватись як у з'єднаннях, що не потребують демонтажу, тобто як напрямні елементи, що забезпечують додаткову жорсткість конструкції від сил зсуву, якщо такі виникають між деталями. Та в більшості випадків штифтові з'єднання передбачають можливість періодичних демонтажів та монтажів спряжених деталей для здійснення регламентного обслуговування. Під час складання кришки та корпусу відцентрового насоса з метою приведення їхніх базових поверхонь у початкове положення, що було досягнуте у процесі першого регулювання та складання, при повторних монтажах застосовують штифтові конічні з'єднання (ШКЗ). Повторне складання необхідне для можливості здійснення обслуговування та заміни підшипників ротора та виконання інших робіт. При цьому вимоги до точності взаємного розміщення кришки відносно корпусу досить високі, адже це впливає на роботу агрегату загалом, тому виконання аналізу області контакту в ШКЗ є актуальним завданням.

Постановка проблеми. У зв'язку з постійно зростаючою конкуренцією в області насособудування, замовники продукції насособудівних підприємств віддають перевагу тій продукції, конструктивні рішення в якій дозволяють виконувати технічне обслуговування насосів в автономному від підприємства-виробника режимі. Це передбачає лише покупку запасних частин і пристроїв для виконання регламентних робіт. Тому на етапі

замовлення продукції насособудування технічні фахівці замовника оцінюють не єдиного разу вигоду при купівлі обладнання, а довгострокову вигоду в процесі його експлуатації за інших рівних умов (технічні характеристики, надійність та ін.). Таким чином, на перший план виходить експлуатаційна технологічність конструкції. Нині для частих процесів монтажу та демонтажу, а також отримання постійного точного взаємного розміщення кришки та корпусу відцентрового насосу альтернативи ШКЗ із конусністю 1:50 немає. Конструкція ШКЗ здебільшого складається мінімум із двох деталей, взаємне положення між якими фіксується за допомогою штифта конічного, тобто це з'єднання на перший погляд досить просте саме з погляду конструктора. Адже штифт є стандартною деталлю, а отвір під нього виготовляється стандартним інструментом – розгорткою конічною. Відповідно конструктор, вважаючи, що всі вимоги для правильного функціонування з'єднання будуть забезпечені на рівні вимог стандартів на штифти та розгортки конічні, приділяє досить мало уваги технічним вимогам до ШКЗ, що як показує реальна практика виготовлення ШКЗ є помилкою. Через відсутність необхідної інформації саме від конструктора на робочих та складальних кресленнях деталей, що містять ШКЗ [2], а також через досить великі допуски на діаметр та кут штифтів конічних за відповідними стандартами на виробництвах часто виникають ситуації з появою браку саме у ШКЗ. Оскільки основним завданням ШКЗ є приведення базових поверхонь кришки і корпусу у первинне положення, що досягнуте під час регулювання та складання, після планових ремонтних робіт з високою точністю, то проблему недостатньої інформації про технічні та геометричні параметри ШКЗ необхідно вирішувати починаючи з аналізу області контакту в ШКЗ саме для штифтів з конусністю 1:50.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання проектування та розрахунку штифтових з'єднань у різних галузях машинобудування розглядали багато вчених по всьому світу. Зокрема у [3] досліджуються питання міцності штифтів під час навантаження на зріз між двома металевими пластинами за допомогою чисельного моделювання у програмному комплексі ABAQUS / Explicit. F. Nouri зі співавторами в роботі [4] досліджували параметри відмови ШЗ під час сполучення балок із композиційних матеріалів зі сталлю та деревом із використанням методу скінчених елементів. У роботі [5] виконувались дослідження контактних напружень у ШЗ на межі контакту штифтів та алюмінієвих пластин, з'єднаних між собою. Важливість дослідження ШЗ, що вже введені в експлуатацію, підтверджується у роботі [6], де вчені вивчали статистику використання та відмов розтискних штифтів у різних галузях промисловості. У роботі [7] запропонована технологія складання ШЗ під час з'єднання сталльної деталі з композиційним матеріалом на основі фібергласу за допомогою сталевих штифтів малого діаметра, а також дослідження цих з'єднань. Також широко застосовуються ШЗ і в аерокосмічній галузі, що описано в [8], де з виконувався аналіз впливу технологічних факторів, пов'язаних із виготовленням місця під штифт, а також зусиль необхідних для складання та демонтажу ШЗ залежно від якості оброблення поверхні отвору з використанням ABAQUS. M. Kraus та M. Merklein у роботі [9] пропонують та досліджують міцність на зсув ШЗ алюмінієвих та сталевих пластин, за рахунок застосування екстремального методу посадки штифтів у пластини.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання аналізу області контакту у ШКЗ науковою спільнотою розглядалися досить обмежено. А саме не досліджено вплив відхилення кутів отвору та штифта у ШКЗ на тип контакту та наслідків, що можуть при цьому виникати.

Метою статті є встановлення типу контакту у штифтових конічних з'єднаннях із конусністю 1:50 залежно від допусків на діаметральні та кутові розміри отвору та штифта.

Виклад основного матеріалу. Як уже згадувалося в [10], ШЗ мають багато варіантів конструкцій і дуже широке застосування відповідно до стандартів, розглянутим у попередніх публікаціях [11].

Шляхом порівняльного аналізу штифтових циліндричних з'єднань (ШЦЗ) і ШКЗ [12] встановлено, що ШКЗ мають переваги в показниках:

- ремонтпридатності;
- стабільності величини натягу при монтажах / демонтажах;
- можливості регулювання величини натягу;
- можливості використання ручного інструменту при ремонті місця під штифт;
- зручності і швидкості монтажу / демонтажу з'єднання.

При цьому ШЦЗ мають перевагу лише на етапі виготовлення, що добре лише одно-моментно тільки для виробника, а не для замовника. Тому, зважаючи на необхідність регламентних робіт протягом усього терміну служби агрегату, який становить не менше 40 років, ШКЗ мають більше переваг перед ШЦЗ. Оскільки вигода від незначного зниження ціни агрегату з використанням в конструкції ШЦЗ не йде ні в які порівняння зі складністю, проблемами і вартістю регламентних робіт в подальшому при використанні ШЦЗ, то вибір замовника об'єктивно залишається за виробом, де використовуються саме ШКЗ.

Це дозволяє перейти до більш детального розгляду ШКЗ, яке повністю задовольняє сучасні вимоги експлуатаційної технологічності конструкції виробів. Нижче представлені базові варіанти конструкції ШКЗ, де використовуються стандартні конічні штифти (рис. 1-4).

На рис. 1 наведено ШКЗ на основі штифта конічного за ГОСТ 3129-70 у варіантах його використання при з'єднанні втулки й вала для передачі крутного моменту, а також кришки і корпусу для установаження необхідного взаємного положення один відносно одного. Цей варіант ШКЗ за необхідності повторних монтажів може бути використаний тільки для наскрізних отворів.

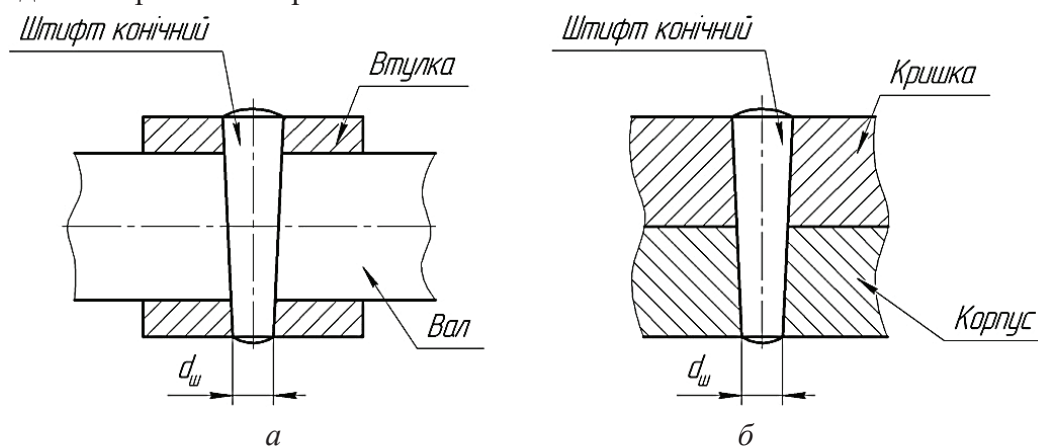


Рис. 1. Варіанти застосування ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 3129-70 у з'єднанні:
а – втулки і вала; б – кришки і корпусу

Штифти за ГОСТ 9464-79 можуть бути використані у ШКЗ у варіантах як із наскрізним, так і з глухим отворами (рис. 2). Використання цієї конструкції штифтів конічних отримало найбільше поширення у глухих отворах, що представляється можливим завдяки наявності отвору із різьбою, що за рахунок використання «зворотного молотка» дозволяє видалити штифт за необхідності їх демонтажу. Переважно такі штифти використовують там, де не допускається виступання будь-яких елементів над робочими поверхнями деталей, що сполучаються. Також не забороняється використовувати штифти даної конструкції і в наскрізних отворах, але це можна вважати недоцільним унаслідок більш високої ціни самого штифта.

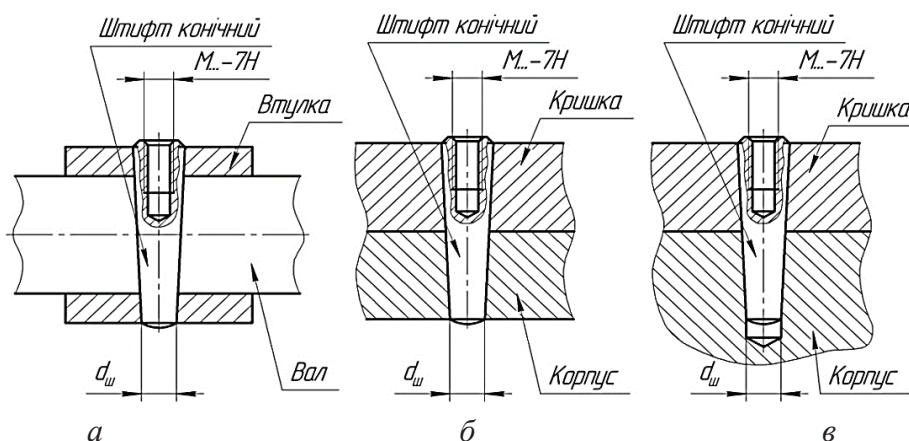


Рис. 2. Варіанти застосування ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 9464-79 у з'єднанні:
 а – втулки і вала; б – кришки і корпусу з наскрізним отвором;
 в – кришки і корпусу з глухим отвором

Штифти за ГОСТ 9465-79 можуть бути використані у ШКЗ як із наскрізним, так і з глухим отворами (рис. 3). Використання цієї конструкції штифтів конічних отримало найбільше поширення в глухих отворах (рис. 3, б), що представляється можливим завдяки наявності різьбової цапфи, яка дозволяє витягнути штифт з отвору за рахунок затягування гайки, таким чином, створюючи необхідне осьове зусилля для демонтажу. Переважно такі штифти використовують там, де допускається виступання різьбової цапфи над робочими поверхнями деталей, що сполучаються. Також не забороняється використовувати штифти даної конструкції і в наскрізних отворах (рис. 3, а), але це можна вважати недоцільним внаслідок більш високої вартості самого штифта.

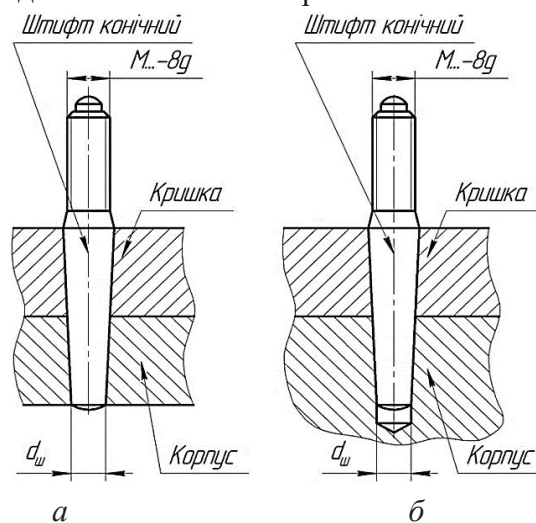


Рис. 3. Варіанти застосування ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 9465-79 у з'єднанні:
 а – кришки і корпусу з наскрізним отвором; б – кришки і корпусу з глухим отвором

Штифти за ГОСТ 19119-80 можуть бути використані у ШКЗ тільки у варіанті з наскрізним отвором (рис. 4). Особливістю штифтів даної конструкції є наявність поздовжнього паза на меншому діаметрі штифта, що дозволяє розводити дві його половини і таким чином виконувати стопоріння штифта, запобігаючи його випадінню. Такі конструкції штифтів переважно використовуються при високих вібраційних і відцентрових навантаженнях, як правило, у з'єднаннях втулки і вала. Але штифти цієї конструкції теж не забороняється використовувати і при з'єднанні плоских деталей. Хоча варто при цьому враховувати, що розбирання ШКС з розвідними штифтами передбачає його одноразове використання, зважаючи на великі пластичні деформації розсувних елементів штифта й можливого їх руйнування.

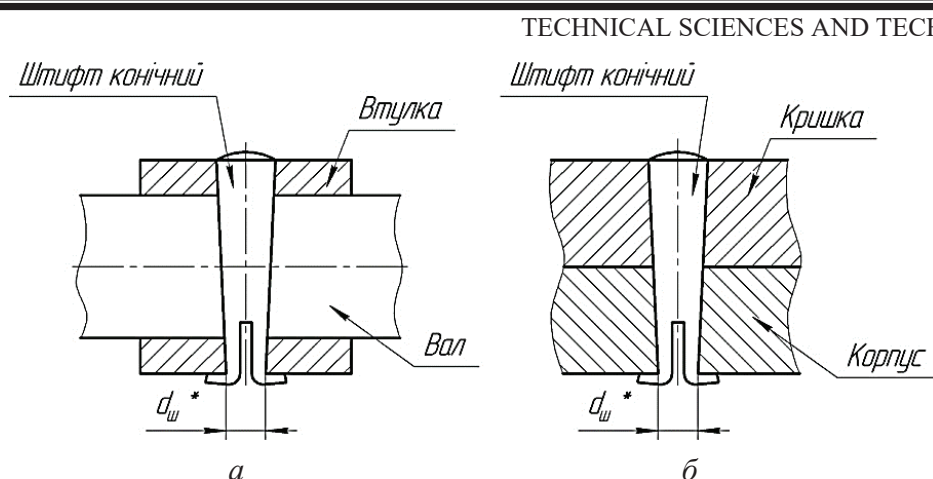


Рис. 4. Варіанти використання ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 19119-80 у з'єднанні:
а – втулки і вала; б – кришки і корпусу

На рис. 5 представлено ШКЗ із використанням штифта за ГОСТ 9465-79 в тому вигляді, як воно показано у стандарті підприємства (СТП) АТ «Сумський завод «Насосенергомаш», що нині використовується. Цей СТП розроблений на ПАТ «ВНДІАЕН» ще в 90-і роки ХХ століття для потреб підприємства та досі не переглядався. Як видно з рис. 5, це ШКЗ відрізняється від базового варіанта (рис. 3, б) наявністю гайки і внутрішнього циліндричного уступу (цековки) під установлення гайки. Глибина даного уступу, як правило не менше висоти конічного перехідного паска між різьбовою цапфою і робочою поверхнею штифта конічного. Уступ служить для можливості видалення штифта з отвору, а гайка, необхідна виключно для демонтажу штифта. Більш детальний аналіз варіанта ШКЗ згідно рис. 5 виконаємо у наступних публікаціях.

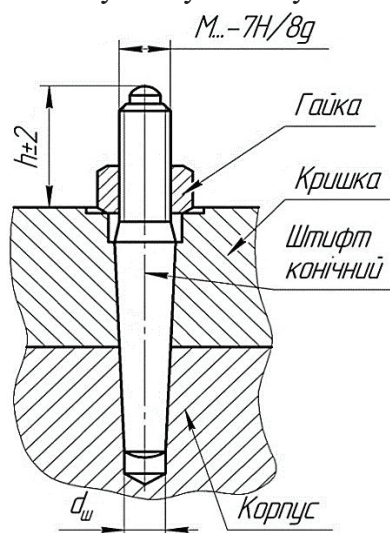


Рис. 5. ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 9465-79 на прикладі з'єднання кришки й корпусу з глухим отвором і гайкою для демонтажу (заводський варіант за СТП)

Як було встановлено із літературного огляду, області контакту між конічною поверхнею штифта й отвору під нього приділено досить мало уваги. Це відноситься до усіх ШКЗ (рис. 1-5). Так, конструктор правомірно допускає утворення різних типів контакту поверхонь отвору і штифта, вважаючи, що всі параметри штифта стандартизовані, а параметри отвору отримуються за допомогою розгорток, які виготовляються за відповідними стандартами.

Розглянемо більш докладно стандартне місце під установку штифта конічного, яке зображується на кресленнях конструктором, з точки зору надання допустимих параметрів на виготовлення конічного отвору. А саме ступінь точності конічного отвору під

штифт прямо не вказується, так як залежить від ступеня точності розгортки, а допуск на діаметр розгортки за ГОСТ 10083-81 відповідає - h9. При цьому допуски на кутовий розмір конусності самого штифта за ГОСТ 26862-86 відповідають 8-му ступеню точності для штифтів класу точності А і 10-му - для штифтів класу точності В, а поля допусків на номінальний діаметр штифта h10 і h11 відповідно.

У результаті на практиці може виникнути ситуація, коли на поверхнях, що підлягають складанню, та виготовлених у межах допусків, відсутній необхідний рівномірний контакт на всій конічній поверхні.

Рівномірний контакт по всій конічній поверхні є важливим з погляду утворення рівномірного натягу у ШКЗ, що є основною умовою його функціонування з огляду на виконання ним службового призначення. Це з погляду конструктора передбачає, що дійсні контактні напруження вздовж усієї поверхні отвору не перевищать допустимих значень для конкретного матеріалу деталей, які підлягають складанню.

Розглянемо випадок, коли спочатку без прикладання навантаження поверхні контактують за меншим діаметром конусу, а по більшому діаметру утворюється зазор (рис. 6, а). Зазор усувається шляхом осевого переміщення штифта до моменту створення натягу при посадці з фіксацією за заданим взаємним осевим переміщенням сполучених конусів від їх початкового положення згідно п. 3.3 ГОСТ 2.320-82.

При цьому може виникнути ситуація, коли на меншому діаметрі ШКЗ величина контактних напружень перевищить значення напруження зминання для матеріалів деталей, що сполучаються, а на більшому діаметрі все ще буде присутній зазор. У результаті ніякого рівномірного контакту досягнути не вдасться. Твердість штифта завідомо вища і становить мінімум 50 HRC за ГОСТ 26862-86, що суттєво переважає даний показник з'єднувальних деталей. Вказання заданої величини осевого переміщення штифта для створення необхідного натягу в ШКЗ, що вимагає п. 3.3 ГОСТ 2.320-82, можливе лише при після проведення серій експериментальних досліджень для кожного з діаметрів ШКЗ. У результаті задання величини осевого переміщення на кресленні не гарантує контакту вздовж усієї конічної поверхні ШКЗ, що в такому разі робить його необґрунтованим та ставить під сумнів необхідність присутності останнього на кресленні в такому вигляді як це є зараз.

При початковому контакті на більшому діаметрі ШКЗ може виникнути протилежна ситуація (рис. 6, б). Таким чином, варіанти контакту згідно з рис. 6 з погляду конструкторських розмірів вважаються правомірними, адже ніяких інших вимог не надається.

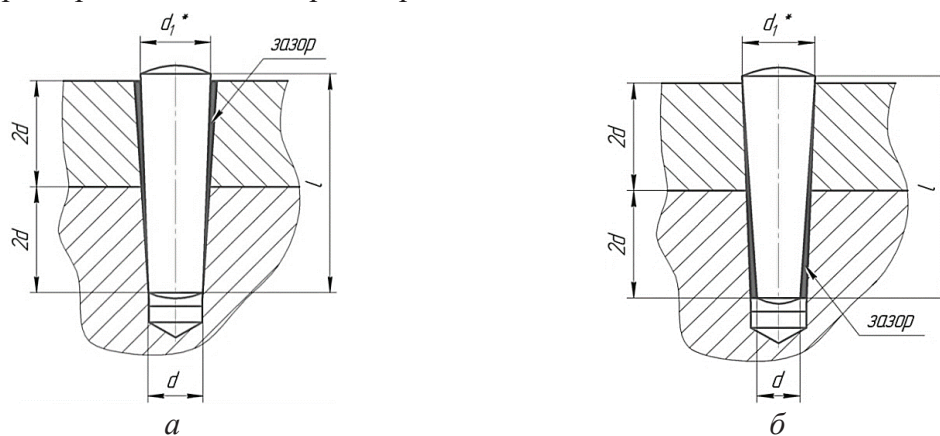


Рис. 6. Ілюстрація контакту робочих поверхонь штифта і деталей, що попередньо контактують:

а – за меншим діаметром штифта; б – за більшим діаметром штифта

Отже, з рис. 6 видно, що тип контакту залежить саме від фактичних значень кутів штифта й отвору, що регламентуються відповідно кутовими допусками на штифти і розгортки конічні. При цьому допуски на діаметри штифта та отвору не впливатимуть на тип контакту, а лише впливають на осьове положення штифта відносно отвору при умові контакту за номінальними значеннями кутів конуса отвору та штифта. Тому для зручності подальшого аналізу кутових відхилень обрано варіант контакту із зазором за більшим діаметром (рис. 6, а), а обґрунтування вибору варіанта контакту з погляду виготовлення та контролю з'єднання буде зроблено в наступних публікаціях.

Ступені точності кутів для штифтів різних класів точності відомі, тому варто визначити відхилення кута розгортки конічної від його номінального значення, що і відповідатиме відхиленню кута отвору під штифт.

Ступінь точності кута розгортки конічної не вказується у ГОСТ 10083-81, але в п. 1.11 цього стандарту зазначено, що граничні відхилення різниці діаметрів розгортки конічної в сторону зменшення конусності на довжині 100 мм:

- не більше 0,05 мм при довжині робочої частини до 100 мм;
- не більше 0,04 мм при довжині робочої частини 100 ... 200 мм;
- не більше 0,03 мм при довжині робочої частини більш ніж 200 мм.

Фразу «в сторону зменшення конусності» варто розуміти як зменшення значення кута конічної поверхні, тобто наближення її до циліндричної форми, при якій різниця діаметрів повинна бути мінімальною.

Так як розгортки для отворів під штифти конічні є мірним інструментом, то розмір отвору визначається розміром розгортки. Тому для визначення величини відхилення кута конуса від номінального значення за відомими значеннями зміни зовнішнього діаметра конуса використано геометричну побудову половини штифта конічного (рис. 7) в сторону зменшення конусності.

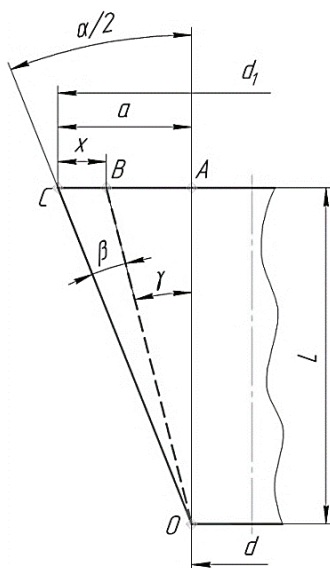


Рис. 7. Ілюстрація відхилення кута конуса штифта від номінального значення в сторону зменшення конусності

Визначимо допустимий кут зміни конуса β залежно від половини номінального кута конуса $\alpha/2 = 34'23''$ і мінімально допустимого кута γ , а також висоти конуса L .

З прямокутного трикутника OAC:

$$\frac{\alpha}{2} = \arctg\left(\frac{d_1-d}{2L}\right) = \arctg\frac{a}{L}, \quad (1)$$

де d_1 – більший діаметр отвору під штифт, мм;

d – менший (номінальний) діаметр отвору під штифт, мм;

L – довжина робочої поверхні отвору під конічний штифт, мм.

З прямокутного трикутника ОАВ:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{a-x}{L}\right), \tag{2}$$

де x – половина граничного відхилення різниці діаметрів розгортки конічної в сторону зменшення конусності за ГОСТ 10083-81, мм.

З рис. 7 та рівнянь (1), (2) визначимо кут β :

$$\beta = \arctg\frac{a}{L} - \arctg\left(\frac{a-x}{L}\right) = \arctg\frac{x}{L} \tag{3}$$

З формули (3) випливає, що допустимий кут зміни конуса отвору під штифт – β , тобто відхилення від половини номінального кута конуса $\alpha/2$ тим менше, чим більше довжина конуса в певному діапазоні довжин встановлених ГОСТ 10083-81.

Згідно з [12] визначені значення відхилення половини кута конуса $\alpha/2$ (рис. 8) для штифтів класів точності А і В залежно від ступеня точності кута його конічної поверхні. Для отворів під штифт (рис. 9) за формулою (3) розраховані граничні відхилення половини кута $\alpha/2$ залежно від заданих ГОСТ 10083-81 відхилень різниці діаметрів розгортки конічної в сторону зменшення конусності для максимальних значень діапазонів 0...100 мм, 100...200 мм, > 200 мм, а результати зведені в таблиці. Третій діапазон > 200 мм був обмежений максимальним значенням 280 мм, оскільки це максимально можлива довжина штифта конічного за ГОСТ 3129-70.

Таблиця

Граничні відхилення кутів і діаметрів штифтів конічних та отворів під них для максимальних значень діапазонів

Діапазон довжин, мм	Діапазон діаметрів, мм	Максимальний розмір діапазону довжин, мм	Максимальний розмір діапазону діаметрів, мм	Максимальне відхилення розміру отвору під штифт конічний від його номінального значення (поле допуску розгортки h9)		Максимальне відхилення розміру штифта конічного від номінального значення для класів точності			
				кутове, °	діаметральне, мм	А (поле допуску h10)		В (поле допуску h11)	
						кутове, °	діаметральне, мм	кутове, °	діаметральне, мм
0...100	0...25	100	25	0°5'24''	- 0,052	0°0'40''	- 0,084	0°1'30''	- 0,130
100...200	25...50	200	50	0°0'54''	- 0,062	0°0'25''	- 0,100	0°0'1'	- 0,160
>200	50	280	50	0°0'12''	- 0,062	0°0'20''	- 0,100	0°0'50''	- 0,160

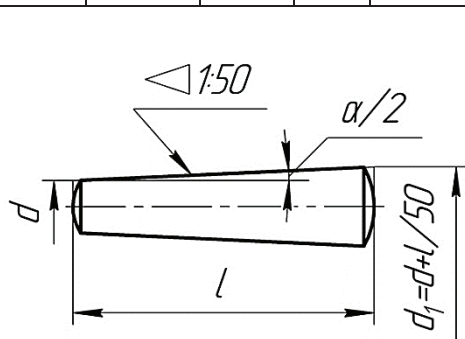


Рис. 8. Ілюстрація параметрів штифта конічного за ГОСТ 3129-70

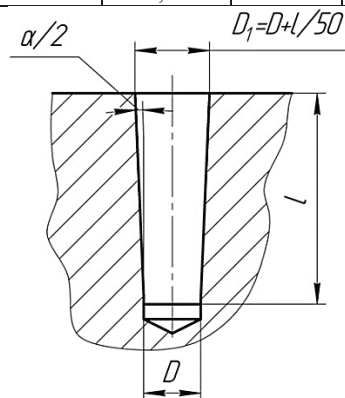


Рис. 9. Ілюстрація параметрів отвору під штифт конічний за ГОСТ 3129-70 та ГОСТ 9465-79

Також для наочності та можливості визначення відхилення кутів отвору в ШКЗ та штифтів класів точності А та В від їх номінальних значень наведений графік (рис. 10). Для визначення діаметрального зазора на більшому діаметрі штифта у варіанті контакту в ШКЗ за рис. 6, а залежно від діаметра ШКЗ наведено графік (рис. 11). Оцінка сумарної відносної похибки отвору та штифта в ШКЗ від номінального значення кута ШКЗ представлена графічно рис. 12). Це особливо актуально для досить малих кутів, яким є в нашому випадку і є кут $\alpha/2=34'23''$ у ШКЗ із конусністю 1:50.

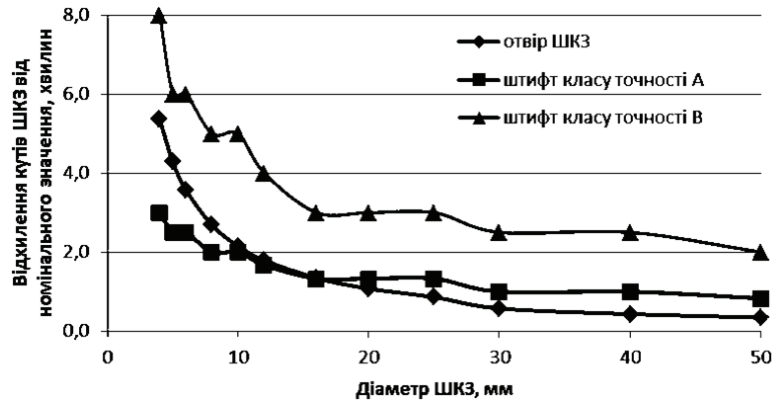


Рис. 10. Відхилення кутів отвору та штифтів у ШКЗ від номінального значення

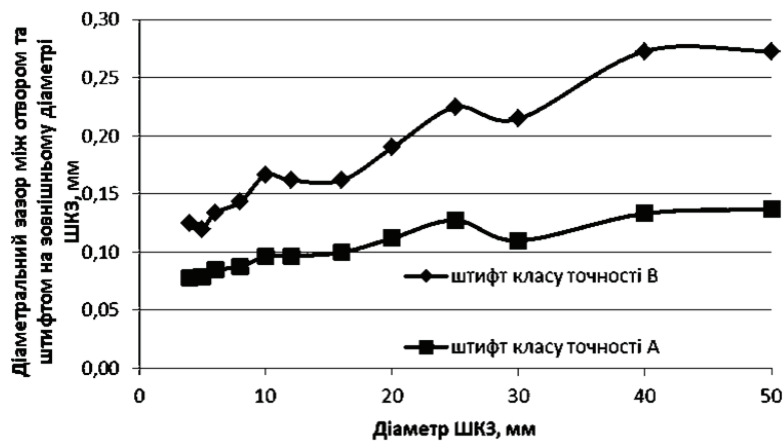


Рис. 11. Залежність діаметрального зазора на більшому діаметрі штифта від діаметра ШКЗ

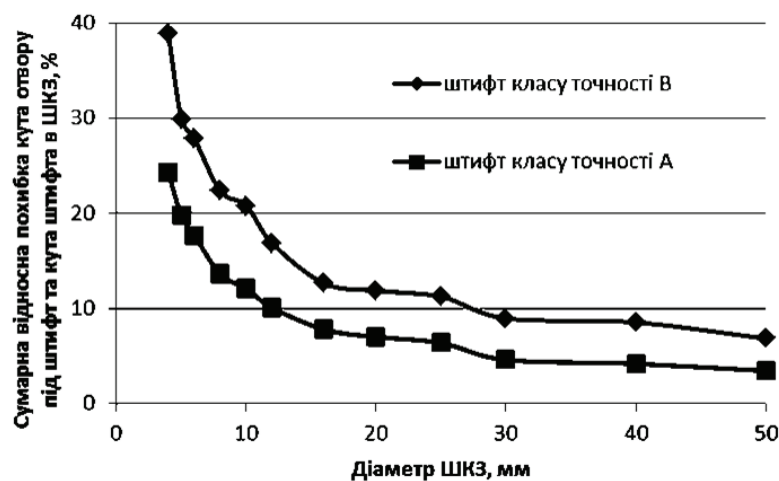


Рис. 12. Графічна ілюстрація сумарної відносної похибки відхилення кутів отвору та штифта у ШКЗ від номінального значення

З рис. 10 та рис. 12 видно, що зі збільшенням діаметра ШКЗ відхилення кутів отвору та штифтів класів точності А і В у ШКЗ від їх номінального значення та сумарна відносна похибка зменшуються. Це можна пояснити тим, що при збільшенні діаметра ШКЗ зростає і його довжина, а згідно з п. 1.11 ГОСТ 10083-81 значення відхилень розгорток конічних від номінального профілю конічної поверхні, що задані в діаметральному вираженні менші для більших значень довжини розгорток та отворів під штифти відповідно. А збільшення довжини розгорток прямо пропорційно залежить від діаметрів ШКЗ. За [12] також встановлено, що зі збільшенням довжини штифтів, що застосовуються в ШКЗ відхилення від номінального значення кута зменшується.

Отримані значення діаметрального зазору (рис. 11) можуть бути застосовані конструктором для визначення необхідної величини осевого переміщення штифта для закриття зазору на більшому діаметрі штифта. З рис. 11 простежується, що зі збільшенням діаметра ШКЗ діаметральний зазор між отвором та штифтом на зовнішньому діаметрі збільшується.

Висновки. На основі геометричного аналізу області контакту ШКЗ встановлено, що тип контакту у ШКЗ залежить лише від допустимих кутових відхилень кутів отвору під штифт та штифта. Уперше встановлена та представлена у вигляді формули геометрична залежність величини відхилення кута отвору під штифт від допусків на параметри розгорток конічних за ГОСТ 10083-81, що задані у діаметральному вираженні. Як рекомендації конструктору ШКЗ представлені графіки залежності відхилення кутів отвору та штифтів класів точності А і В у ШКЗ від їх номінального значення, а також величини діаметрального зазору на більшому діаметрі штифта, що можуть бути застосовані конструктором під час проектування ШКЗ.

Встановлено, що сумарна відносна похибка відхилення кутів отвору та штифта в ШКЗ від номінального значення досягає 25 та 38 % для ШКЗ із застосуванням штифтів класу точності А та В відповідно, а також зменшується зі збільшенням діаметра ШКЗ.

Отримані результати дозволяють говорити про доцільність подальших досліджень ШКЗ з конусністю 1:50, адже необхідної інформації для проектування ШКЗ у відповідних стандартах, якими користується конструктор не достатньо, що переноситься і у недостатність інформації на кресленні, та як наслідок часто призводить до появи браку при виготовленні. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на аналіз технічних вимог до ШКЗ, що вказуються конструктором на кресленнях та наданням чітких науково обґрунтованих рекомендацій щодо нанесення на креслення технічних вимог та параметрів ШКЗ.

Список використаних джерел

1. Huyett G.L. Taper Pin Features [Electronic resource] / Huyett G.L. – 2021. Asses mode: <http://www.huyett.com/blog/taper-pin-features>.
2. Дегтярев И. М. Проблемы применения штифтовых конических соединений при проектировании и изготовлении насосного оборудования / И. М. Дегтярев // Нешта А. А. Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта: тези доповідей / А. А. Нешта, Н. Ф. Самардак. – К.: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 97-100.
3. Truong A., Pham C. Numerical modelling of power-actuated fastener connections joining high-strength steel sheet to mild steel plate subjected to monotonic shear / A. Truong, C. Pham // Thin-Walled Structures. – 2021. – Vol. 165. – Pp. 107950-107962.
4. Nouri F. Finite element modelling of steel-timber composite beam-to-column joints with nominally pinned connections / F. Nouri, H. Valipour, M. Bradford // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 201. – Pp. 109854-109872.
5. Foust B. Inverse Stress Analysis of Pinned Connections Using Strain Gages and Airy Stress Function / B. Foust, R. Rowlands // International Symposium on Inverse Problems in Engineering Mechanics (ISIP 2003). – Nagano, Japan, 2003. – Pp. 323-332.
6. Karlsen O. Questionnaire-based survey of experiences with the use of expanding PIN systems in mechanical joints / O. Karlsen, H. Lem // Results in Engineering. – 2021. – Vol. 9. – Pp. 100212-100223.

7. Arenas J. Design, manufacturing and testing of hybrid adhesive joints with metallic pins to join steel with fiberglass reinforced composite / J. Arenas, J. Suárez, E. Gavrilenco, C. Alía // *Procedia Manufacturing*. – 2019. – Vol. 41. – Pp. 500-507.
8. Sadowski T. The Influence of Hybrid Material Parameters in Socked-pin Connection on the Value of Opening Force / T. Sadowski, P. Golewski, V. Radoiu // *Solid State Phenomena*. – 2016. – Vol. 254. – Pp. 1-7.
9. Kraus M. Potential of Joining Dissimilar Materials by Cold Formed Pin-Structures / M. Kraus, M. Merklein // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2020. – Vol. 283. – Pp. 116697-116710.
10. Дегтярев И. М. К вопросу об области применения различных конструкций штифтовых соединений в машиностроении / И. М. Дегтярев // Нешта А. А. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2020: тези доповідей / А. А. Нешта, Н. Ф. Самардак. – Чернігів: Національний університет «Чернігівська політехніка», 2020. – С. 180-183.
11. Дегтярьов І. М. Порівняльний аналіз конструкцій конічних та циліндричних штифтових з'єднань / І. М. Дегтярьов // Нешта А. О. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2021: тези доповідей / А. О. Нешта, М. П. Самардак, І. С. Парфенцев. – Чернігів: Національний університет «Чернігівська політехніка», 2020. – С. 150-151.
12. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В. И. Анурьев. – Москва: Машиностроение, 2015. – Т. 1. – 920 с.

References

1. Huyett, G.L. (2021). *Taper Pin Features*. <http://www.huyett.com/blog/taper-pin-features>.
2. Dehtiarov, I., (2020). Problemy primeneniia shtiftovykh konicheskikh soedinenii pri proektirovanii i izgotovlenii nasosnogo oborudovaniia [Problems of using pin conical connections in the design and manufacture of pumping equipment]. In A. Neshta, N. Samardak, *Prohresyvnna tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita [Progressive technology, technology and engineering education]*. NTUU KPI im. Ihoria Sikorskoho.
3. Truong, A., & Pham, C. (2021). Numerical modelling of power-actuated fastener connections joining high-strength steel sheet to mild steel plate subjected to monotonic shear. *Thin-Walled Structures*, 165, 107950-107962.
4. Nouri, F., Valipour, H., & Bradford, M. (2019). Finite element modelling of steel-timber composite beam-to-column joints with nominally pinned connections. *Engineering Structures*, 201, 109854-109872.
5. Foust, B., & Rowlands, R. (2003) Inverse Stress Analysis of Pinned Connections Using Strain Gages and Airy Stress Function. *International Symposium on Inverse Problems in Engineering Mechanics* (pp. 323-332).
6. Karlsen, O., & Lem, H. (2021) Questionnaire-based survey of experiences with the use of expanding PIN systems in mechanical joints. *Results in Engineering*, 9, 100212-100223.
7. Arenas, J., Suárez, J., Gavrilenco, E., & Alía, C. (2019). Design, manufacturing and testing of hybrid adhesive joints with metallic pins to join steel with fiberglass reinforced composite. *Procedia Manufacturing*, 41, 500-507.
8. Sadowski, T., Golewski, P., & Radoiu, V. (2016). The Influence of Hybrid Material Parameters in Socked-pin Connection on the Value of Opening Force. *Solid State Phenomena*, 254, 1-7.
9. Kraus, M., Merklein, M. (2020). Potential of Joining Dissimilar Materials by Cold Formed Pin-Structures. *Journal of Materials Processing Technology*, 283, 116697-116710.
10. Dehtiarov, I., Neshta, A., & Samardak, N. (2020). K voprosu ob oblasti primeneniia razlichnykh konstruktsii shtiftovykh soedinenii v mashinostroenii. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnikh protcesiv ta sistem – 2020 [On the question of the field of application of various designs of pin joints in mechanical engineering. Complex safekeeping of technological processes and systems - 2020]* (pp. 180-183).
11. Dehtiarov I., Neshta A., Samardak N., Parfentsev I. (2021) *Porivnialnyi analiz konstruktsii konichnykh ta tsylindrychnykh shtyftovykh ziednan. Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnikh protcesiv ta sistem – 2020 [Comparative analysis of the design of conical and cylindrical pin joints. Complex safekeeping of technological processes and systems - 2020]* (pp. 150-151).
12. Anuriev V. I. (2015) *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelia [Handbook of the constructor-mechanical engineer]*. (Vol. 1). Mashinostroenie.

Отримано 15.08.2021

UDC 621.886.1

***Ivan Dehtiarov¹, Anna Neshta², Mykola Samardak³, Vitalii Kononovych⁴,
Pavlo Kushnirov⁵, Vadim Baha⁶, Yaroslav Klok⁷***

¹PhD in Technical Science, Senior Lecturer of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

²PhD in Technical Science, Senior Lecturer of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4072-5439>

³Engineer

PAO «Sumy plant «Nasosenergomash» (Sumy, Ukraine)

E-mail: samardaknik@gmail.com

⁴PhD Student of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: v.kononovych@tmvi.sumdu.edu.ua

⁵PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Manufacturing Engineering,
Machines and Tools

Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5894-538X>

⁶PhD in Technical Science, Senior Lecturer of Technical Thermophysics Department
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: v.baga@kttf.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0131-631X>

⁷Student of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: yarikklok11@gmail.com

ANALYSIS OF APPLICATION OF STRUCTURES AND CONTACT AREA OF TAPERED PINS WITH TAPER 1:50

There is currently no alternative to the use of tapered pins in the manufacture and assembly of parts and assemblies where high accuracy of mutual placement is required, as well as the ability to perform quick assembly and disassembly while maintaining the initial accuracy parameters. Tapered pins with a taper of 1:50 have become especially widely used due to their design features.

At the moment, the operational adaptability of the design comes to the fore for the customer, in which tapered pin is one of the main components of the product quality as a whole. However, during production in enterprises, due to the lack of information on the working and assembly drawings of parts containing tapered pins, as well as other related factors, situations often arise with the occurrence of defects in this connection.

A review of recent research and publications on the analysis of geometric parameters and properties of tapered pins has shown that the analysis of the contact area in the connection, to date, little attention is paid in scientific papers and literature used by designers in the design of components containing pins with a taper of 1:50.

The aim of the article is to establish the type of contact in tapered pins with a taper of 1:50 depending on the tolerances on the diametrical and angular dimensions of a hole and a pin.

Based on the analysis of geometric parameters in the contact area of tapered pins, the types of contacts are established and for the first time the geometric dependence of the deviation of a hole angle under the pin on the tolerances on the parameters of conical scans is presented. Graphs of the deviation of hole angles and pins of accuracy classes A and B used in tapered pins are obtained from their nominal value, as well as the size of the diametrical gap on the larger diameter of the pin depending on the nominal diameter of the connection. These graphs can be used by the designer as reference recommendations when designing assemblies containing pins with a taper of 1:50. The values of the total relative error of deviation of a hole and pin angles from the nominal value for all standard diameters of tapered pins are determined.

Keywords: pump production; accuracy class; tolerance; design documentation; nominal size.

Table: 1. **Fig.:** 11. **References:** 12.