

*ОХРИМЕНКО О.О., ГЛАВЧЕВА Ю.М., СТАРЧЕНКО О.П., ФЕДОРЕНКО В.С., ФУ ХУН*

## ОСОБЛИВОСТІ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ ВИДІВ З'ЄДНАНЬ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ КРУТНОГО МОМЕНТУ

Головною метою сучасного машинобудування є виготовлення продукції високої якості з мінімальними капіталовкладеннями та якомога меншими затратами часу, що в той же час супроводжується постійним підвищенням складності геометричних форм деталей і їх точності, високими вимогами до сполучуваних поверхонь і їх властивостей, працездатності складальних виробів та умов їх експлуатації. Елементи шпонкових та шліцьових з'єднань становлять значну частку продукції машинобудування серед великої різноманітності інших виробів. Існує значна група роз'ємних з'єднань, що використовуються для передачі крутного моменту, в яких роз'єм здійснюється за допомогою особливих конструктивних умов збірки. До цієї групи в першу чергу слід віднести шпонкові та шліцьові з'єднання. Це стандартні способи об'єднання, в яких всі конструктивні параметри, матеріали, точність виготовлення та умови експлуатації, а також збірка повністю визначаються державними стандартами.

Розглянуті шпонкові та шліцьові з'єднання призначені для передачі крутного моменту від валу до посаженої на нього деталі (шків, зубчатого колеса та ін.) і навпаки. Перевагами шпонкових з'єднань є їх простота і надійність у експлуатації, але вони ослаблюють вали та маточину шпонковими пазами і викликають концентрацію напруги. Шліцьові з'єднання в порівнянні з шпонковими мають велику навантажувальну здатність, краще центрують деталь на валу і дають меншу концентрацію напруги, що підвищує втомну міцність валів, але вони складніші у виробництві.

**Ключові слова:** шпонкові та шліцьові з'єднання, існуючі конструкторські види, передачі крутного моменту, навантажувальна здатність, центруючі види.

**O.O. OKHRYMENKO, J.H. GLAVCHEVA, O.P. STARCHENKO, V.S. FEDORENKO, FU HONG**

### FEATURES OF EXISTING CONSTRUCTION TYPES OF CONNECTIONS FOR TORQUE TRANSMISSION

the main goal of modern mechanical engineering is the production of high-quality products with minimal capital investments and as little time as possible, which at the same time is accompanied by a constant increase in the complexity of the geometric shapes of parts and their accuracy, high requirements for mating surfaces and their properties, the performance of assembly products and their operating conditions. elements of splined and splined joints make up a significant share of machine-building products among a wide variety of other products. there is a significant group of plug connections used for torque transmission, in which the plug is made using special design conditions of assembly. this group primarily includes keyed and slotted connections. these are standard methods of joining, in which all structural parameters, materials, manufacturing accuracy and operating conditions, as well as assembly are fully determined by state standards.

the considered keyed and splined connections are intended for the transmission of torque from the shaft to the part mounted on it (pulley, gear wheel, etc.) and vice versa. the advantages of key joints are their simplicity and reliability in operation, but they weaken the shafts and the hub with key grooves and cause stress concentration. compared to splined joints, spline joints have a greater load capacity, better center the part on the shaft and give a lower stress concentration, which increases the fatigue strength of the shafts, but they are more difficult to manufacture.

**key words:** keyed and slotted connections, existing design types, torque transmission, load capacity, centering types.

**Вступ.** Елементи шпоночних та шліцьових з'єднань становлять значну частку продукції машинобудування серед великої різноманітності інших виробів. Існує значна група роз'ємних з'єднань, що використовуються для передачі крутного моменту, в яких роз'єм здійснюється за допомогою особливих конструктивних умов збірки. До цієї групи в першу чергу слід віднести шпонкові та шліцьові з'єднання. Це стандартні способи об'єднання, в яких всі конструктивні параметри, матеріали, точність виготовлення та умови експлуатації, а також збірка повністю визначаються державними стандартами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Шпонкові та шліцьові з'єднання призначені для передачі крутного моменту від валу до посаженої на нього деталі (шків, зубчатого колеса та ін.) і навпаки. Перевагами шпонкових з'єднань є їх простота і надійність у експлуатації, але вони ослаблюють вали та маточину шпонковими пазами і викликають концентрацію напруги. Шліцьові з'єднання в порівнянні з шпонковими мають велику навантажувальну здатність, краще центрують деталь на валу і дають меншу концентрацію напруги, що підвищує втомну міцність валів, але вони складніші у виробництві

**Мета дослідження.** Головною метою сучасного машинобудування є виготовлення продукції високої якості з мінімальними капіталовкладеннями та якомога меншими затратами часу, що в той же час супроводжується постійним підвищенням складності геометричних форм деталей і їх точності, високими вимогами до сполучуваних поверхонь і їх властивостей, працездатності складальних виробів та умов їх експлуатації.

**Основна частина.** Шпонкові з'єднання. Шпонка - елемент з'єднання, захищає з'єднувальні деталі від відносного зміщення, головним чином від відносного повороту [2]. За формою стандартні шпонки поділяються на призматичні, клинові, сегментні та тангенціальні. Призматичні та сегментні шпонки створюють ненапружені з'єднання вузлів деталі з валом, збірка яких звичайно проводиться з натягом. Клинові і тангенціальні шпонки створюють напружені при їх монтажі з'єднання, в яких робочі поверхні шпонки та сполучені з нею деталі знаходяться в напруженому стані ще до передачі навантаження. У таких з'єднаннях спостерігається перекис деталей при забиванні шпонки в паз валу та маточини, тому область їх застосування обмежена [3].

Шпонкові з'єднання з призматичними шпонками (рис. 1.1) стандартизовані по ГОСТ 23360-78 [4]. Стандарт встановлює розміри та крайні відхилення розмірів призматичних шпонок та відповідних їм шпонкових пазів на валах та в втулках. Поперечний зріз шпонки - прямокутний з притупленими дугою або фаскою кутами. Вузькі грані шпонки - робочі.

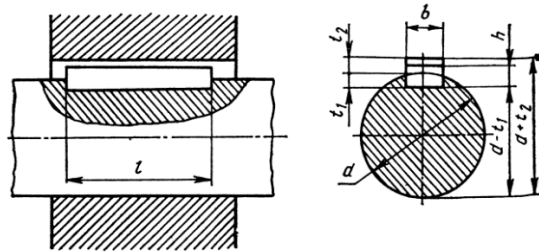


Рис. 1 – З'єднання з призматичною шпонкою  
 $d$  – діаметр вала;  $b$  – ширина шпонки;  $h$  – висота шпонки;  
 $l$  – довжина шпонки;  $t_1$  – глибина паза на валу;  $t_2$  – глибина паза на втулці

Призматичні шпонки виготовляють зазвичай з відношенням висоти до ширини від 1:1 (для валів малих діаметрів) до 1:2. В важко навантажених з'єднаннях застосовують шпонки призматичні високі, що мають велику висоту і ширину [3].

Шпонкові з'єднання з сегментними шпонками (рис. 1.2) застосовують на валах невеликих діаметрів (до 38 мм); з'єднання прості у виробництві та складанні, однак вал послаблюється глибоким пазом під шпонку [3].

Сегментні шпонки регламентовані по ГОСТ 24071–97 [5], який встановлює розміри і граничні відхилення розмірів сегментних шпонок і відповідних їм шпонкових пазів на валу і у втулці, а також встановлює залежність між діаметром валу і перерізом шпонки, що виникає при передачі крутного моменту і фіксації положення.

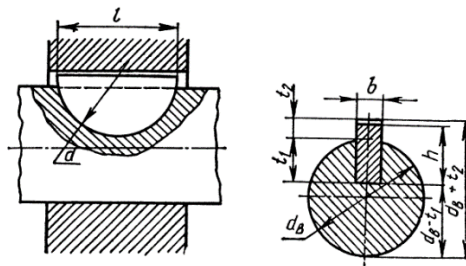


Рис. 2 – З'єднання з сегментною шпонкою  
 $d$  – діаметр шпонки;  $d_B$  – діаметр валу;  $b$  – ширина шпонки;  $h$  – висота шпонки;  $l$  – довжина шпонки;  $t_1$  – глибина паза на валу;  $t_2$  – глибина паза на втулці

Ще одним різновидом шпонки є клинова шпонка (рис. 1.3). Вона встановлюється в пази валу і маточини з бічними зазорами. ГОСТ 24068-80 [6] встановлює розміри і граничні відхилення розмірів клинових шпонок з головкою і без головки і відповідних їм шпонкових пазів на валах і у втулках. Відповідно до стандарту існують такі різновиди клиновий шпонки: клинова з закругленими або плоскими кінцями, клинова з головкою і плоским кінцем.

Поперечний переріз шпонки - прямокутник з притупленими дугою або фаскою кутами; робочими є широкі грані. Одна з широких граней має по довжині ухил 1:100, що забезпечує самозупинку шпонки. Паз на валу не має ухилу відносно осі. Паз у втулці має по довжині ухил відносно осі 1:100 [2].

При необхідності - для вивірки шпонками положення втулки щодо валу, для зниження робочої напруги - ставлять дві-три шпонки, розташовуючи їх (дві шпонки) під кутом, відмінним від 180 ° [2].

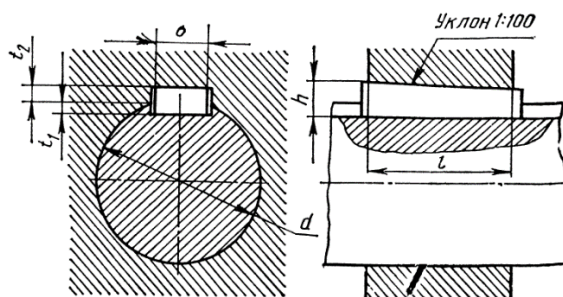


Рис. 3 – З'єднання з клинвою шпонкою  
 $d$  – діаметр валу;  $b$  – ширина шпонки;  $h$  – висота шпонки;  $l$  – довжина шпонки;  $t_1$  – глибина паза на валу;  $t_2$  – глибина паза на втулці

Тангенціальні шпонки (рис. 1.4) з двох односкатних клинів застосовують для важко навантажених валів в умовах реверсивного обертання. Натяг між валом і маточиною створюється в окружному напрямку.

Зазвичай встановлюються дві шпонки під кутом  $120 - 135^\circ$ . Довжина шпонки вибирається на  $10 - 15\%$  більше довжини маточини. При великих ударних навантаженнях і частому реверсуванні застосовують посилені тангенціальні шпонки [3].

Розміри і граничні відхилення розмірів тангенціальних шпонок і відповідних їм шпонкових пазів на валу і втулці, а також залежність між діаметром валу і перерізом шпонки регламентуються по ГОСТ 24069–97 [7].

Шпонкові з'єднання широко застосовують у всіх галузях машинобудування при малих навантаженнях, можливості розміщення довгих маточин, необхідності легкої збирання та розбирання. По мірі зростання навантажень застосування шпонок скорочується.

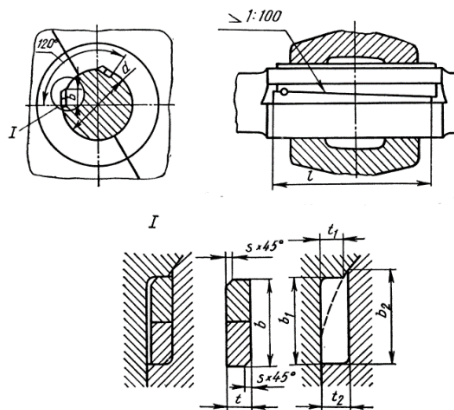


Рис. 4 – З'єднання з тангенціальною шпонкою

$d$  – діаметр валу;  $b$  – ширина шпонки;  $b_1$  – ширина паза у втулці;

$b_2$  – ширина паза на валу;  $t$  – товщина шпонки;  $t_1$  – глибина паза на валу;  $t_2$  – глибина паза на втулці;  $l$  – довжина шпонки;  $s$  – фаска

Шліцьові з'єднання, їх види і призначення. Шліцьові з'єднання застосовують для посадок з натягом або зазором деталей (зубчастих коліс, шківів, втулок та ін.) на валу. У порівнянні зі шпонковими, шліцьові з'єднання мають ряд переваг: деталі на шліцьових валах краще центруються і направляються при пересуванні вздовж валу; менше напруження змінювання на гранях шліців; вище міцність валів при динамічних і змінних навантаженнях.

Шліцьові з'єднання отримали широке поширення в машинобудуванні, що пояснюється їх високою здатністю навантаження, конструктивними і технологічними перевагами перед іншими видами з'єднань типу вал – втулка. Шліцьові з'єднання застосовують для посадки на вал зубчастих коліс, фланців, маховиків, шківів ремінних передач, зірочок ланцюгових передач, муфт, дисків та ін. Широко застосовують шліцьові з'єднання в трансмісіях тракторів, автомобілів, дорожньо–будівельних і сільськогосподарських машин, металорізальних верстатів.

Найбільшого поширення в машинобудуванні мають прямокутні шліцьові з'єднання, частка яких становить  $80 - 90\%$ . Широке застосування останнім часом стали отримувати з'єднання з евольвентним профілем зубів, що пояснюється тим, що їх здатність навантаження вище, ніж у прямокутного.

Вибір типу шліцьових з'єднань пов'язаний з конструктивними і технологічними особливостями прямокутних і евольвентних шліцьових з'єднань. Евольвентний профіль зуба має підвищену міцність завдяки потовщення зубів до основи і наявності заокруглень біля основи, що знижує концентрацію напружень. Для обробки шліцьових валів евольвентного профілю потрібно менший комплект простіших фрез з прямолінійними ріжучими кромки, ніж для валів прямокутного профілю. Разом з тим трудомісткість шліфування евольвентних зубів вала вище трудомісткості шліфування зубів прямокутного профілю, а для обробки сполучених з валом втулок необхідні евольвентні протяжки високої якості, що є складним і більш дорогим інструментом в порівнянні з прямокутними протяжками.

Форма шліцьового профілю і розмірний ряд прямокутних шліцьових з'єднань (рис. 1.5) регламентовані стандартом ГОСТ 1139–80 [8]. Стандарт поширюється на шліцьові з'єднання загального застосування з прямокутним профілем зубів, розташованих паралельно осі з'єднання, і передбачає з'єднання легкої, середньої та важкої серій. Розмірний ряд охоплює з'єднання з зовнішніми діаметрами  $14 - 125$  мм і числом зубів  $6 - 20$  і не поширюються на спеціальні шліцьові з'єднання.

У прямокутних шліцьових з'єднаннях застосовують (для виготовлення і експлуатації) три способи центрування (базування) шліцьового валу і втулки: по зовнішньому діаметру шліців, по внутрішньому діаметру шліців, по бічних сторонах шліців,

При перших двох видах центрування мінімальні зазори задають по поверхнях  $D$  чи  $d$ , зазор по бічних сторонах зубів також обмежений. По нецентрувальному діаметру передбачається значний зазор. При центруванні по  $b$  мінімальний зазор задають по бічних сторонах зубів, по діаметральним поверхням передбачаються значні зазори. Все це забезпечується за рахунок відповідного вибору полів допусків.

Зуби мають плоскі бічні поверхні, паралельні їх осям симетрії. Для впадин втулки передбачена одна

форма виконання, а для зубів валу

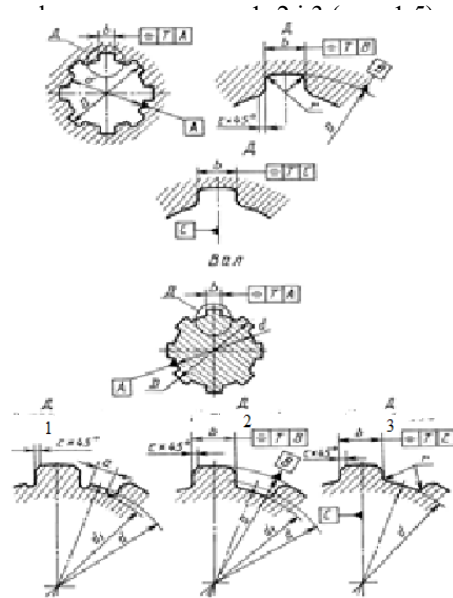


Рис. 5 – З'єднання шліцьове прямокутне  
 $D$  – зовнішній діаметр;  $d, d_1$  – внутрішній діаметр;  $b$  – ширина шліця;  
 $r$  – радіус заокруглення;  $a$  – ширина виступу пазу;  $c$  – фаска

При центруванні по внутрішньому діаметру шліцьові вали виготовляють виконанням 1 і 3, а при центруванні по зовнішньому діаметру і бічних сторонах зубів — у виконанні 2. Для з'єднань легкої та середньої серій розмір  $a$  наведений для валів виконання 1 при виготовленні методом обкатування. Вали з'єднань важкої серії виконання 1, як правило, методом обкатування не виготовляються.

Центрування по зовнішньому або внутрішньому діаметру застосовують в тих випадках, коли пред'являються підвищені вимоги до точності взаємного положення сполучених деталей, наприклад в з'єднанні зубчастого колеса з валом. Такого роду шліцьові з'єднання часто застосовують в металорізальних верстатах, для яких точність кінематичної передачі відіграє велику роль, а також в ряді механізмів автомобілів, тракторів, літаків і інших машин, де підвищення цієї точності збільшує довговічність зубчастих коліс, знижує знос підшипників і інших деталей, що сполучаються. Якщо маточину по отвору термічно не обробляють або обробляють до невисокої твердості, то з технологічних міркувань застосовується центрування по зовнішньому діаметру. В цьому випадку центрувальні поверхні допускають точну і продуктивну обробку: на втулці — протягуванням, а на валу — круглим шліфуванням. Якщо маточина по отвору має високу твердість, то доцільно застосовувати центрування по внутрішньому діаметру, обробляючи центрувальні поверхні валу і втулки шліфуванням. При цьому забезпечується найбільш висока точність центрування.

Досвід ряду заводів масового виробництва показав можливість застосування центрування по зовнішньому діаметру і для з'єднань з високою твердістю поверхонь шліцьових отворів. Це досягається застосуванням ріжучих інструментів, що допускають чистову обробку шліцьового отвору після термообробки до високої твердості (дюрні, твердосплавні протяжки та ін.), шляхом раціонального розподілу допусків зубів до термообробки з урахуванням деформації і зменшення викривлення деталей при термообробці. Останнє може бути досягнуто за рахунок впровадження наступних заходів (на прикладі виробництва зубчастих коліс тракторів): застосування сталі зі зменшеними в порівнянні зі стандартом межами вмісту вуглецю (0,05%); суворе дотримання розміру зерна в сталі; призначення режиму термообробки в залежності від хімічного аналізу сталі; застосування попередньої термообробки для створення такої мікроструктури сталі, при якій після механічної обробки в зубчастих колесах не виникають великі залишкові напруги; застосування автоматичного контролю і регулювання режимів термообробки з підтримкою температури нагрівання та охолодження в вузьких межах; впровадження систематичного контролю за викривленням зубчастих коліс після термообробки.

Центрування по бокових поверхнях зубів не дає співвісності маточини і валу, але забезпечує високу навантажувальну здатність з'єднання при передачі великих крутних моментів, особливо в умовах динамічного або реверсивного навантаження. Тому цей вид центрування застосовують в важконавантажених шліцьових з'єднаннях, які не потребують точного центрування маточини і валу, наприклад, в ковзних шліцьових з'єднаннях карданних валів автомобілів [9].

Евольвентні шліцьові з'єднання (рис. 1.6) також стандартизовані. ГОСТ 6033–80 [10] поширюється на шліцьові з'єднання з евольвентним профілем зубів, розташованих паралельно осі з'єднання, з кутом профілю 30 °. Стандарт встановлює вихідний контур, форму зубів, номінальні діаметри, модулі і числа зубів, номінальні розміри і вимірювані величини а також допуски і посадки.

Розмірний ряд охоплює з'єднання модулями 0,5–10 мм, зовнішніми діаметрами 4–500 мм і числами зубів 6–82.

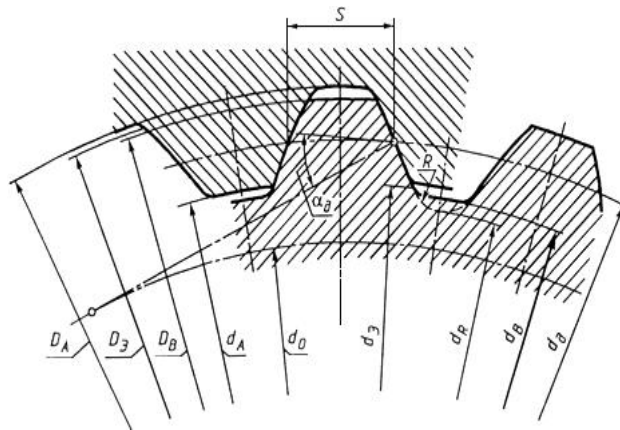


Рис. 6 – З'єднання шліцьове евольвентне

$D_A$  – номінальний зовнішній діаметр отвору;  $D_{\text{э}}$  – діаметр окружності через початкові точки перехідних кривих отвору;  $D_B$  – номінальний зовнішній діаметр валу;  $d_A$  – номінальний внутрішній діаметр отвору;  $d_O$  – діаметр основного кола;  $d_{\text{э}}$  – діаметр валу через початкові точки перехідних кривих;  $d_R$  – номінальний діаметр валу на заокругленій впадині;  $d_B$  – номінальний діаметр валу на плоскій впадині;  $d_o$  – діаметр ділильного кола;  $S$  – номінальні товщина зуба валу і ширина впадини отвору по ділильному колу;  $\alpha_o$  – кут тиску на ділильному колі;  $R$  – радіус заокругленої впадини.

Евольвентні шліцьові з'єднання використовують для передачі значних крутних моментів, а також в тих випадках, коли до точності центрування з'єднаних елементів пред'являють підвищені вимоги. Ці з'єднання мають підвищену міцність завдяки поступовому потовщенню зубів від вершини до основи, а також внаслідок зменшення концентрації напружень біля основи. Крім того, завдяки застосуванню при обробці шліців черв'ячної фрези з прямолінійними ріжучими крайками забезпечуються менша шорсткість поверхні і більш висока точність обробки шліців, завдяки чому можна виключити подальше шліфування. При евольвентному профілю шліців можна допускати види обробки, що застосовуються при зубонарізуванні: шевінгування, шліфування по методу обкатки і ін.

Згідно з ГОСТ 6033–80 евольвентні шліцьові з'єднання обробляються та експлуатуються з урахуванням трьох видів центрування:

- 1) по зовнішньому діаметру
- 2) по бокових поверхнях зубів (для плоскої або заокругленої форми впадини)
- 3) по внутрішньому діаметру.

Трикутні шліцьові з'єднання (рис. 1.7) застосовують як правило, для нерухомих з'єднань замість з'єднань з натягом, що дозволяє використовувати тонкостінні втулки, а також для з'єднання втулок з легких сплавів з сталевими валами. Центрування при цьому виді шліцьових з'єднань здійснюють тільки по бічних сторонах шліців. Основні геометричні параметри регламентуються по ОСТ 1.00092–73 [11]. Рекомендація поширюється на шліцьові з'єднання з кутом профілю  $60^\circ$  при номінальних діаметрах до 60 мм включно і з повним кутом вихідного контуру  $55^\circ$  при діаметрах 65 мм і більше.

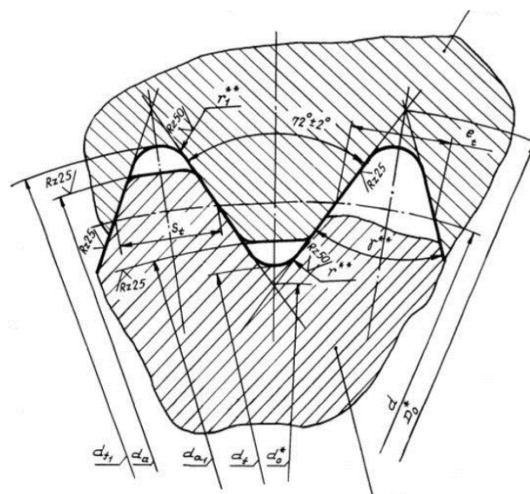


Рис. 7 – З'єднання шліцьове трикутне

Крім рекомендованих, в машинобудуванні застосовують трикутні шліцьові з'єднання в різних галузевих нормалях. Ці нормалі містять з'єднання з кутом профілю  $90^\circ$ ,  $72^\circ$  і  $60^\circ$ , номінальними зовнішніми діаметрами 5 – 75 мм, модулями 0,2 – 1,5 мм і числом зубів 20 – 70.



**Висновки.** 1. Шпонкові з'єднання з сегментними шпонками застосовують на валах невеликих діаметрів (до 38 мм); з'єднання прості у виробництві та складанні, однак вал послаблюється глибоким пазом під шпонку

2. Центрування по зовнішньому або внутрішньому діаметру застосовують в тих випадках, коли пред'являються підвищені вимоги до точності взаємного положення сполучених деталей, наприклад в з'єднанні зубчастого колеса з валом.

3. Досвід ряду заводів масового виробництва показав можливість застосування центрування по зовнішньому діаметру і для з'єднань з високою твердістю поверхонь шліцьових отворів. Це досягається застосуванням ріжучих інструментів, що допускають чистову обробку шліцьового отвору після термообробки до високої твердості (дорни, твердосплавні протяжки та ін.), шляхом раціонального розподілу допусків зубів до термообробки з урахуванням деформації і зменшення викривлення деталей при термообробці.

4. Евольвентні шліцьові з'єднання використовують для передачі значних крутних моментів, а також в тих випадках, коли до точності центрування з'єднаних елементів пред'являють підвищені вимоги.

5. Ці з'єднання мають підвищену міцність завдяки поступовому потовщенню зубів від вершини до основи, а також внаслідок зменшення концентрації напружень біля основи.

#### Список літератури

1. Ключко О.О., Анциферова О.О., Камчатна-Степанова К.В., Старченко Є.П. Управління технологічним процесом обробки великогабаритних ЕШЗ з модифікованим профілем / Інформатика, управління та штучний інтелект. Тези сьомої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – С.33.

2. Kovalev Viktor D, Vasilchenko Yana V., Klochko Alexander A., Gasanov Magomedemir I. Technology of restoration of large gear boxes. Dašić, P. (editor): Modern trends in metalworking, Vol. 1: Vrnjačka Banja: SaTCIP Publisher Ltd., 2018. – P. 43–63. ISBN 978-86-6075-065-7.

3. Підвищення точності, якості та продуктивності обробки шліцьових поверхонь / О.О. А. Ключко, О.П. Старченко // Труды Двадцять дев'ятої міжнародної конференції «Новые технологии и в машиностроении» (2-8 сентября 2019 г., Коблево). – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2019. – С.5.

4. Исследование процессов зубофрезерования закаленных шевронных зубчатых колес / А.А. Ключко, М.И. Гасанов, Е.В. Басова, С.Ю. Палашек, А.Л. Невмержицкий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2017. – Вип. 40. – С. 90–101.

5. Ключко А.А., Скоркин А.О., Камчатная-Степанова Е.В., Старченко Е.П., Ищенко М.Г. Современные методы технологии формообразования крупномодульных зубчатых колес // Ежемесячный международный научный журнал "Znanstvena misel jorna"-Ljubljana, Slovenia, №48/2020 - С.25-26. – ISSN 3124-1123.

6. Ключко О.О., Чекердес Е. О., Хорошайло В.В., Федоров В.В., Хомяков С.А. Автоматизація управління технологічною підготовкою виробництва крупногабаритних евольвентних шліцьових з'єднань. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 31 жовтня – 02 листопада 2018 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 74.

7. Анділахай О.О., Ключко О.О., Камчатна-Степанова К.В., Старченко Є.П. Технологічні засоби обробки крупногабаритних евольвентних шліцьових з'єднань з модифікацією зуборізного інструменту: Машинобудування і зварювальне виробництво / Наука та виробництво : міжвузівський тематичний збірник наукових праць. – Мариуполь : ДВУЗ «ПДТУ», 2019. – Вип. 19. – С.50–63

8. Шліцеві сполуки / Г.І. Скудін, В.І. Нікітін. - М.: Машинобудування, 1981. - 128 с.

9. Крупіна, Н. П. Розрахунок інструментів для виробництва зубчастих коліс, шліцевих валів та втулок. - Ч. 1. / Н. П. Крупіна. - Челябінськ, 2008. - 284 с.

10. Шелковой А.Н. Обеспечение эксплуатационных свойств закаленных зубчатых колес / А.Н. Шелковой, А.А. Ключко, М.И. Гасанов // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. – Севастополь : ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2017. – Вип. 8. – С. 61–70.

11. Функциональные аспекты имитационного математического моделирования геометрических параметров процесса зубофрезерования / О.М. Шелковий, О.О. Ключко, М.І. Гасанов, Д.О. Кравченко, О.О. Анциферова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології у машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 66–74. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079–004X.

12. Заковоротної О.Ю., Ключко О.О., Старченко О.П., Камчатна-Степанова К.В. Анциферова О.О. Підвищення точності, якості та продуктивності обробки крупногабаритних евольвентних шліцьових поверхонь. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 04 – 07 липня 2019 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – С. 36 – 37. ISBN 978-966-379-853-0.

13. Опыт создания современных технологий изготовления нежестких деталей с применением передовых CAD/CAM/CAE систем / С.С. Добротворский, Е.В. Басова, М.И. Гасанов, Р.В. Головатый, С.А. Гаков, С.С. Гнучих // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – №. 4(1113). – С. 37–40.

14. Ключко А.А., Скоркин А.О., Камчатная-Степанова Е.В. Старченко Е.П., Ищенко Г.И., Перминов Е.В. Уникальные технологические приемы зубофрезерования крупномодульных цилиндрических зубчатых колес // Ежемесячный международный научный журнал «Research-science» – Banská Bystrica, Словакия, 2020. – №13/2020 – С.19–24.

15. Ramadani, R., Belsak, A., Kegl, M., Predan, J., & Pehan, S. (2018). Topology optimization based design of lightweight and low vibration gear bodies. International Journal of Simulation Modelling, 17(1), 92-104.

16. M. Ciavarella, On the significance of asperity models predictions of rough contact with respect to recent alternative theories, ASME J. Tribol. 139 (2017) 021402-1-11.

17. L. Chang, Y.R. Jeng, P.Y. Huang, Modeling and analysis of the meshing losses of involute spur gears in high-speed and high-load conditions, ASME J. Tribol. 135 (1) (2013) 1–11 Art. no. 011504.

18. A. Diez-Ibarbia, A. Fernandez-Del-Rincon, P. Garcia, A. De-Juan, Assessment of load dependent friction coefficients and their influence on spur gear efficiency, Meccanica 53 (1–2) (2018) 425–445.

19. A. Arana, J. Larranaga, I. Ulacia, Partial friction coefficient model to predict power losses in cylindrical gears, Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol. 233 (2) (2019) 229–255

20. Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. The current state of scientific research and technology in the industry. – Kharkiv. 2018. – № 3 (3). – P. 59–70.

#### References (transliterated):

1. Klochko O.O., Anciferova O.O., Kamchatna-Stepanova K.V., Starchenko Є.P. Upravlinnya tekhnologichnim procesom obrobki velikogabaritnih EShZ z modifikovanim profilom / Informatika, upravlinnya ta shtuchnij intelekt. Tezi s'omoi' mizhnarodnoi' naukovotekhnichnoi' konferencii. – Harkiv: NTU "HPI", 2020. – S.33.

2. Kovalev Viktor D, Vasilchenko Yana V., Klochko Alexander A., Gasanov Magomedemin I. Technology of restoration of large gear boxes. Dašić, P. (editor): Modern trends in metalworking, Vol. 1: Vrnjačka Banja: SaTCIP Publisher Ltd., 2018. – R. 43–63. ISBN 978-86-6075-065-7.
3. Pidvishchennya tochnosti, yakosti ta produktivnosti obrobki shlic'ovih poverhon' /O.O. A. Klochko, O.P. Starchenko // Trudy Dvadcat' devyatoj mezhdunarodnoj konferencii «Novye tekhnologii i v mashinostroenii» (2-8 sentyabrya 2019 g., Koblevo). – Har'kov: NAKU «HAI». – 2019. – S.5.
4. Issledovanie processov zubofrezerovaniya zakalennyh shevronnyh zubchatyh koles / A.A. Klochko, M.I. Gasanov, E.V. Basova, S.Yu. Palashek, A.L. Nevmerzhičikij // Nadijnist' instrumentu ta optimizaciya tekhnologichnih sistem: zb.nauk. pr. – Kramators'k : DDMA, 2017. – Vip. 40. – S. 90–101.
5. Klochko A.A., Skorkin A.O., Kamchatnaya-Stepanova E.V., Starchenko E.P., Ishchenko M.G. Sovremennye metody tekhnologii formoobrazovaniya krupnomodul'nyh zubchatyh koles // Ezhemesyachnyj mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal "Znanstvena misel jurnal"-Ljubljana, Slovenia, №48/2020 - S.25-26.– ISSN 3124-1123.
6. Klochko O.O., Chekerdes E. O., Horoshajlo V.V., Fedorov V.V., Homyakov S.A. Avtomatizaciya upravlinnya tekhnologichnoyu pidgotovkoyu virobničtva krupnogabaritnih evol'ventnih shlic'ovih z'ednan'. Mashinobuduvannya ochima molodih: progresivni ideї – nauka – virobničtvo. Materiali Mizhnarodnoї naukovo-tekhnichnoї konferencii 31 zhovtnya – 02 listopada 2018 roku / Pid zag. red. V. D. Koval'ova. – Kramators'k: DDMA, 2018. – S. 74.
7. Andilajaj O.O., Klochko O.O., Kamchatna-Stepanova K.V., Starchenko E.P. Tekhnologichni zasobi obrobki krupnogabaritnih evol'ventnih shlic'ovih z'ednan' z modifikacij zaboriznogo instrumentu: Mashinobuduvannya i zvaryuval'ne virobničtvo / Nauka ta virobničtvo : mizhvuziv's'kij tematičnij zbirnik naukovih prac'. – Mariupol' : DVUZ «PDTU», 2019. – Vip. 19. – S.50–63
8. Shlicevi spoluki/G.I. Skudin, V.I. Nikitin. - M.: Mashinobuduvannya, 1981. - 128 s.
9. Krupina, N. P. Rozrazhunok instrumentiv dlya virobničtva zubchastih kolis, shlicevih valiv ta vtulok. - Ch. 1. / N. P. Krupina. - Chelyabinsk, 2008. - 284 s.
10. Shelkovej A.N. Obespechenie ekspluatacionnyh svojstv zakalennyh zubchatyh koles / A.N. Shelkovej, A.A. Klochko, M.I. Gasanov // Vestnik sovremennyh tekhnologij: sb. nauch. tr. – Sevastopol' : FGAOU VO «Sevastopol'skij gosudarstvennyj universitet», 2017. – Vyp. 8. – S. 61–70.
11. Funkcional'nye aspekty imitacionnogo matematicheskogo modelirovaniya geometricheskikh parametrov processa zubofrezerovaniya / O.M. Shelkovej, O.O. Klochko, M.I. Gasanov, D.O. Kravchenko, O.O. Anciferova // Visnik NTU «HPI». Seriya: Tekhnologii u mashinobuduvanni. – Harkiv : NTU «HPI», 2017. – № 26 (1248). – S. 66–74. – Bibliogr.: 6 nazv. – ISSN 2079–004H.
12. Zakovorotnij O.Yu., Klochko O.O., Starchenko O.P., Kamchatna-Stepanova K.V. Anciferova O.O. Pidvishchennya tochnosti, yakosti ta produktivnosti obrobki krupnogabaritnih evol'ventnih shlic'ovih poverhon'. Vazhke mashinobuduvannya. Problemi ta perspektivi rozvitku. Materiali Mizhnarodnoї naukovo-tekhnichnoї konferencii 04 – 07 lipnya 2019 roku / Pid zag. red. V. D. Koval'ova. – Kramators'k: DDMA, 2019. – S. 36 – 37. ISBN 978-966-379-853-0.
13. Opyt sozdaniya sovremennyh tekhnologij izgotovleniya nezhestkih detalej s primeneniem peredovyh CAD/CAM/CAE sistem / S.S. Dobrotvorskiy, E.V. Basova, M.I. Gasanov, R.V. Golovatyj, S.A. Gakov, S.S. Gnuchih // Visnik NTU «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Tematičnij vipusk: Tekhnologii v mashinobuduvanni – Harkiv: NTU «HPI», 2015. – №. 4(1113). – S. 37–40.
14. Klochko A.A., Skorkin A.O., Kamchatnaya-Stepanova E.V. Starchenko E.P., Ishchenko G.I., Perminov E.V. Unikal'nye tekhnologicheskie priemy zubofrezerovaniya krupnomodul'nyh cilindricheskikh zubchatyh koles // Ezhemesyachnyj mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Research-science» – Banská Bystrica, Slovakiya, 2020. – №13/2020 – S.19–24.
15. Ramadani, R., Belsak, A., Kegl, M., Predan, J., & Pehan, S. (2018). Topology optimization based design of lightweight and low vibration gear bodies. International Journal of Simulation Modelling, 17(1), 92-104.
- 16 M. Ciavarella, On the significance of asperity models predictions of rough contact with respect to recent alternative theories, ASME J. Tribol. 139 (2017) 021402–1-11.
17. L. Chang, Y.R. Jeng, P.Y. Huang, Modeling and analysis of the meshing losses of involute spur gears in high-speed and high-load conditions, ASME J. Tribol. 135 (1) (2013) 1–11 Art. no. 011504.
18. A. Diez-Ibarbia, A. Fernandez-Del-Rincon, P. Garcia, A. De-Juan, Assessment of load dependent friction coefficients and their influence on spur gear efficiency, Meccanica 53 (1–2) (2018) 425–445.
- 19 A. Arana, J. Larranaga, I. Ulacia, Partial friction coefficient model to predict power losses in cylindrical gears, Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol. 233 (2) (2019) 229–255
20. Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. The current state of scientific research and technology in the industry. – Kharkiv. 2018. – № 3 (3). – R. 59–70.

Поступила (received) 24.02.2022

#### *Відомості про авторів / About the Authors*

**Охріменко Олександр Анатолійович (Ohrimenko Oleksandr)** – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: (067) 267-69-43; e-mail: [alexhobs77@gmail.com](mailto:alexhobs77@gmail.com); ORCID: 0000-0002-5446-6987;

**Главчева Юлія Миколаївна (Glavcheva Julia)** – PhD, директор науково-технічної бібліотеки; Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м.Харків; вул. Кирпичова, 2, Україна, тел.: (066) 7528241;; e-mail: [yuliia.glavcheva@khp.edu.ua](mailto:yuliia.glavcheva@khp.edu.ua); ORCID 0000-0001-7991-5411

**Старченко Олена Павлівна (Starchenko Olena)** – аспірант кафедри технології машинобудування та металорішальні верстати Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м.Харків; тел.: (093) 3315174–e-mail: [estarchenko79@gmail.com](mailto:estarchenko79@gmail.com).

**Федоренко Віталій Сергійович (Fedorenko Vitaly)** – аспірант кафедри технології машинобудування та металорішальні верстати Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м.Харків; тел.: (095) 9159688–e-mail: [19fws98@gmail.com](mailto:19fws98@gmail.com).

**Фу Хун (Fu Hong)** – аспірант Ніжинського державного університета, м.Ніжин. тел.: +8618246070961;–e-mail: [huayuedongfang\\_fh@163.com](mailto:huayuedongfang_fh@163.com).