

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ ВІДСУТНОСТІ НАДЛИШКОВОГО БАЗУВАННЯ В З'ЄДНАННІ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ЇХ КОНСТРУКЦІЇ

*Висвітлено питання аналізу конструкції з'єднань деталей на технологічність на основі принципу відсутності надлишкового базування. Розглянуто можливі випадки позиціонування робочих деталей відносно базових та особливості визначення класу їх кінематичних пар. Акцентовано увагу на доцільність детального підходу, а не формального, до аналізу з'єднань на надмірність їх базування з огляду на помилки, які допускають на практиці під час проектування. Подано рекомендації стосовно доведення конструкції цих з'єднань до технологічності.*

**Ключові слова:** технологічність конструкції, надлишкове базування, кінематична пара, спряження деталей, обмеження.

Методи та принципи конструювання й виготовлення елементів складальних одиниць оптичних приладів різного рівня складності мають суттєві відмінності. Конструюючи їх, намагаються досягти необхідної точності, надійності та технологічності [1...3]. Якісну та кількісну оцінку технологічності складальних одиниць проводять, переважно, з точки зору виготовлення складових деталей, а не їх конструкції. Зауважимо, що деталі та складальні одиниці можуть бути одночасно технологічними стосовно виготовлення і навпаки – нетехнологічними по відношенню до їх конструкції.

Практика показує, що для забезпечення вищезгаданих показників, під час конструювання, необхідно враховувати принцип накладання матеріальних зв'язків деталей одна на одну у з'єднанні.

Відомо, що деталь, як неподільне однорідне тіло, описується низкою поверхонь, які мають певні функціональні призначення, і найбільш сприятливим вважається варіант, коли вдається поєднати робочі елементи з базовими та мінімізувати з'єднувальні [4]. Таким чином, кількість поверхонь, як у будь-якої деталі, так і в з'єднанні, повинна бути мінімально достатньою. Виходячи з цього виникає потреба у дослідженні з'єднання на технологічність з точки зору її конструкції.

Під час базування відбувається прибирання зайвих ступенів вільності приєднуваної деталі стосовно базової в їх з'єднанні. Базування буде надлишковим, коли зайві ступені вільності приєднуваної деталі прибрано більше одного разу, тобто коли для позбавлення зайвої ступені вільності накладено більш ніж один матеріальний зв'язок.

Аналіз з'єднання на технологічність, з точки зору її конструкції, можна здійснити використовуючи наступну залежність:

$$q = n + \sum_{k=1}^{k=5} P_k K - 6, \quad (1)$$

де  $n$  – ступінь вільності з'єднання;  $P_k$  – клас елементарної пари контакту, який визначає число ступенів вільності, що віднімається парною;  $K$  – кількість пар даного класу.

Надмірне базування може привести до невизначеності положення робочих елементів з'єднання щодо базових, виникнення деформацій деталей, ускладнення їх складання (тобто таке співвідношення не буде точним, надійним і технологічним).

Наприклад, для з'єднання повзуна 1 (рис. 1, а), який переміщують вздовж осі із циліндричними напрямними 2 і 3 отримуємо  $q=1+4 \times 2-6=3$ .

Ця конструкція має надлишкове базування (три надлишкові зв'язки), в результаті чого внаслідок похибок виготовлення деталей (похибок міжосьових відстаней, непаралельності отворів в повзуні і осей валів) можуть відбутися деформації повзуна і його заклинювання при русі, особливо у разі коливання температури. Уникнути цього можна за рахунок великих зазорів в направляючих, що призведе до втрати точності, або за рахунок ретельного регулювання циліндрів, що істотно підвищить трудомісткість складання з'єднання. Конструкція повзуна, яка подана на рис. 1, в є вільною від зазначених вище недоліків:  $q=1+4 \times 1+1 \times 1-6=0$ .

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

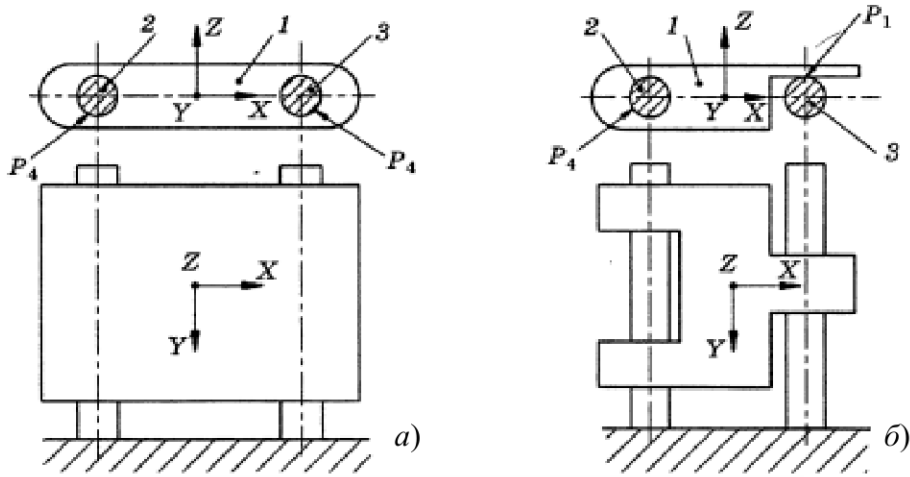


Рис. 1. З'єднання повзуна з напрямними

У деяких випадках порушення принципу можна побачити “неозброєним оком” – за дублюванням спряжень деталей (базових елементів), віднімають одні й ті ж степені вільності приєднуваної деталі відносно базової (рис. 2, а та в).

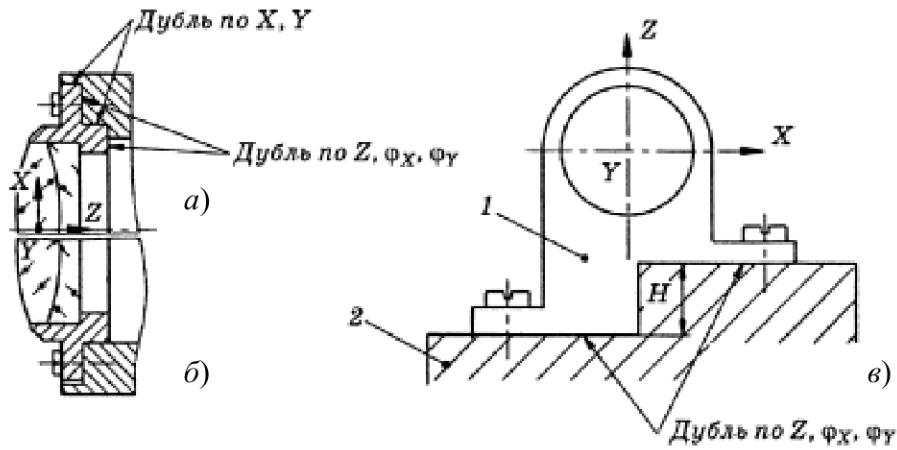


Рис. 2. Дублювання в спряженні деталей

Усунути невизначеність базування можна змінивши конструкцію спряження деталей (рис. 2, б), або здійснивши спільну технологічну обробку відповідних поверхонь деталей, які з'єднуються (наприклад, розмір  $H$  кронштейна 1 та основи 2 на рис. 2, в).

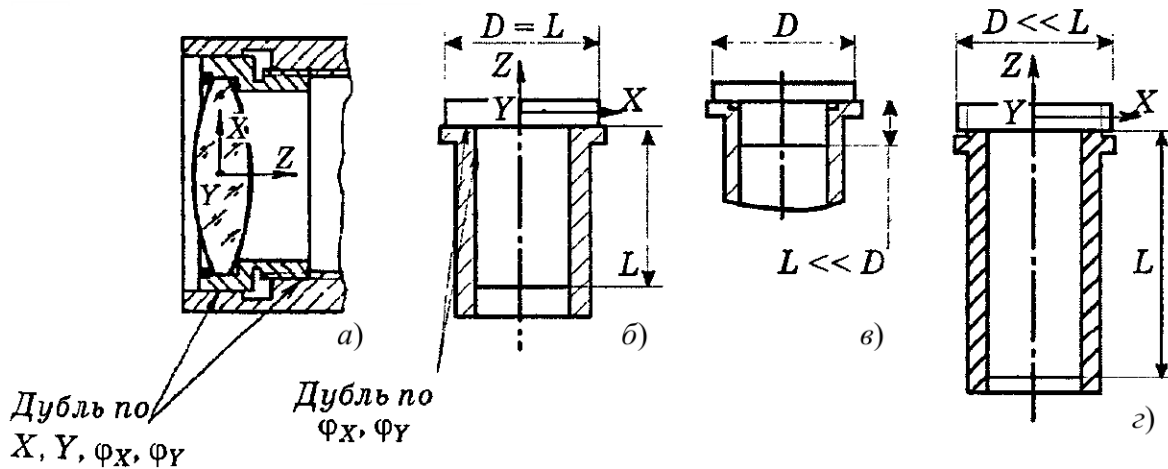


Рис. 3. Спряження деталей в з'єднаннях за двома поверхнями

У тих конструкціях з'єднання, у яких сполучення деталей здійснюється одночасно за двома поверхнями (рис. 3), теоретичної невизначеності базування в реальній конструкції можна уникнути, керуючи відповідними розмірами спряжених поверхонь або допусками на їх похибки.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

На рис. 3, а зображено конструкцію з'єднання оправи об'єктива з тубусом, що має центрувальний поясок і різьбу для фокусування об'єктива. Щоб не виникало надмірності базування у цих спряженнях, необхідно у посадці під різьбове з'єднання забезпечити гарантовано великий зазор, у порівнянні із зазором посадки циліндричного пояска.

На рис. 3, б представлено з'єднання валу з підшипником, у якому нахили валу навколо осей  $X, Y$  компенсовано його спряженням із підшипником як за циліндричною, так і плоскою поверхнями. Для даного випадку, реальне дублювання може виникнути у наслідок рівності відповідних баз ( $D$  та  $L$ ) поверхонь, що обмежують повороти. Для реального усунення надмірного базування в подібному поєднанні слід змінити його конструкцію так, щоб одна з баз була б на багато меншою за іншу (див. рис. 3, в та з).

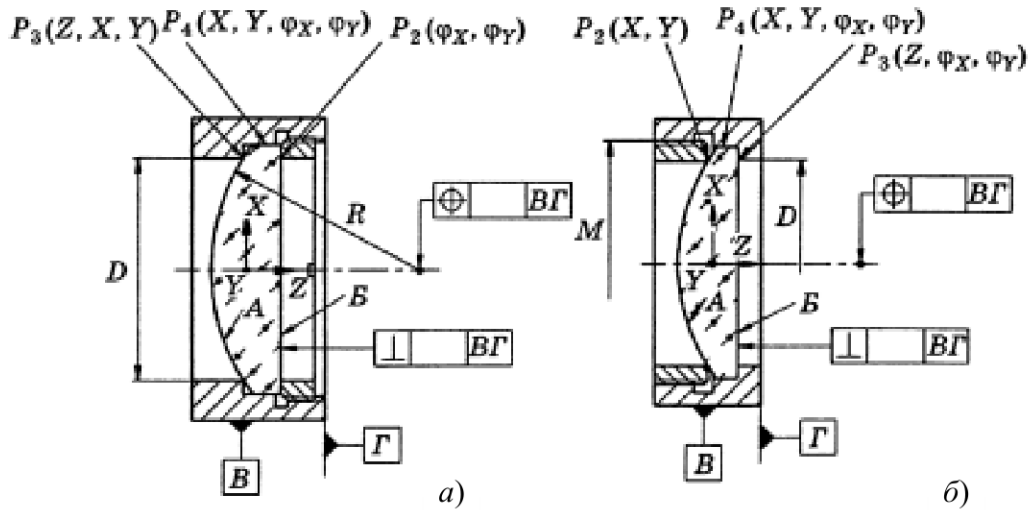


Рис. 4. Кріплення лінзи в оправі різьбовим кільцем

У ряді випадків перевірка з'єднання на надмірність базування вимагає ретельного аналізу, оскільки його результат не так очевидний, як у наведених прикладах.

На рис. 4 показана типова конструкція з'єднання плоско-опуклої лінзи з оправою за допомогою різьбового кільця. Якщо формально підійти до визначення класу елементарних пар контакту в даному з'єднанні – можна констатувати, що: контакт сферичної поверхні лінзи з буртиком оправы (рис. 4, а) є парою третього класу ( $P_3$ ) і прибирає зміщення лінзи за осями  $X, Y, Z$ , посадка лінзи в оправу за циліндричною поверхнею є парою четвертого класу ( $P_4$ ) і прибирає в лінзи зміщення за осями  $X, Y$  і повороти навколо цих осей  $\varphi_x, \varphi_y$ ; різьбове кільце, що замикає лінзу на буртик оправы (за віссю  $Z$ ), впливаючи на плоску поверхню лінзи, віднімає у неї повороти навколо двох осей  $\varphi_x, \varphi_y$ .

Поворот навколо осі лінзи  $Z(\varphi_z)$  цими контактними парами не віднімається (він віднімається силами тертя), тому за виразом (1) отримуємо:  $q=1+3 \times 1+4 \times 1+2 \times 1-6=4$ .

Аналогічний результат можна отримати і для конструкції з'єднання, яке подано на рис. 4, б, де лінза різьбовим кільцем підтискається з боку сферичної поверхні.

Таким чином, формальне проведення аналізу цього з'єднання на надмірність базування показує, що конструкція має нібито чотири надлишкові зв'язки і, отже, є нетехнологічною. Однак практика показує, що це не так.

Розглянемо з'єднання ще раз, більш ретельно. Почнемо з контакту сферичної поверхні лінзи з гранню оправы (або різьбового кільця), утвореною торцевою опорною поверхнею та отвором діаметром  $D$  (див. рис. 5). Як видно з вищезгаданого рисунку з боку грані на лінзу діє сила реакції  $F$  (обумовлена силою підтискання  $P$  з боку різьбового кільця), яка має складову  $T$ , зсовуючи лінзу вздовж осі  $X$  (до моменту, коли лінза торкнеться протилежної сторони грані), коли ця складова більше складової  $T'$  сили тертя  $F_{тр\Sigma}$  між лінзою, кільцем і оправою.

Таким чином, цей контакт, обмежуючи зміщення вздовж осі лінзи 2, забирає переміщення лінзи за осями  $X$  та  $Y$ , (тобто здійснює її центрування) тільки при виконанні умови  $\alpha \geq 2\rho$  (де  $\rho$  – кут тертя), тобто наближено:

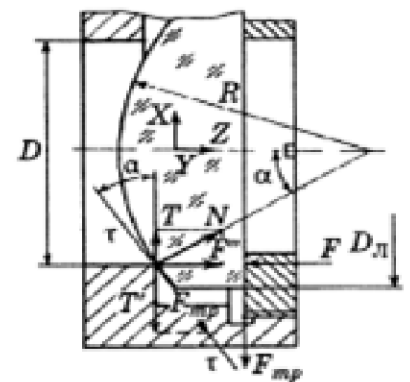


Рис. 5. Центрування лінзи в оправі

$$\frac{D}{2R} \geq 2\mu \approx 0,3, \quad (2)$$

де  $R$  – радіус лінзи;  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання матеріалів оправы та лінзи.

Коли дана умова не виконується, у спряженні віднімаються зміщення вздовж осі  $Z$  і повороти навколо осей  $X, Y(\varphi_x, \varphi_y)$ .

Розглянемо пару лінзи з посадкового циліндра діаметром  $D_{л}$  з отвором оправы. Як відомо, ця посадка повинна бути з гарантованим зазором. Тому при виконанні умови (2) лінза не контактує з оправою (див. рис. 5) за циліндричною поверхнею діаметром  $D_{л}$ , і це сполучення не повинно враховуватися при визначенні надмірності базування в з'єднанні. Спряження плоскої поверхні лінзи з різбовим кільцем, як було сказано, обмежує повороти лінзи (навколо центру кривизни сферичної поверхні) за осями  $X$  та  $Y$ .

Отже, це з'єднання є статично визначене:  $q=1+3 \times 1+2 \times 1-6=0$ .

Коли умова (2) не виконується, зсув лінзи вздовж осей  $X$  та  $Y$  обмежується її з'єднанням з оправою за посадковим циліндром, а зміщення вздовж осі  $Z$  – торцевою крайкою оправы.

Складність задачі додає аналіз обмеження поворотів. Повороти навколо осей  $X$  та  $Y$  обмежуються і торцевою кромкою оправы, і циліндричною поверхнею посадкового отвору й, начебто, різбовим кільцем. Однак внаслідок того, що база торцевої грані, яка обмежує повороти, на багато більше відповідної бази (довжини) циліндричної поверхні лінзи, а також внаслідок того, що зусилля, яке розвиває різбове кільце, не приводять до розвороту лінзи, слід вважати, що в реальній конструкції саме торцева грань буде визначати кутове положення лінзи.

Таким чином, при невиконанні умови (2) з'єднання не буде мати надлишкового базування, проте роль поверхонь оправы в обмеженні руху лінзи буде іншою. Зазначена обставина призводить до того, що вимоги (допуски) до параметрів оправы лінзи, різбового кільця та лінзі з'єднання (див. рис. 4) будуть різними в залежності від умови (2).

Наприклад, під час виконання умови (2) у з'єднанні, яке наведено на рис. 4, а, отвір оправы діаметром  $D$  повинен бути співвісним з базовою віссю  $B\Gamma$  оправы, а в з'єднанні (див. рис. 4, б) цієї співвісності нехтують, але вводять співвісність різбового отвору  $M$ . Допуск на центрування самої лінзи може бути більш широким (вільним) порівняно з випадком, коли умова (2) не виконується. Перпендикулярність торцевої поверхні різбового кільця до його різбової поверхні буде мати обмежений допуск у разі виконання умови (2) і широкий – в разі його невиконання.

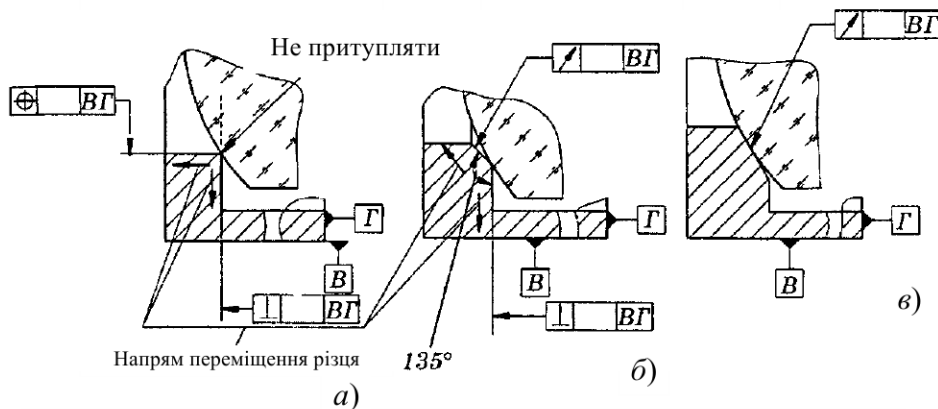


Рис. 6. Спряження деталей в з'єднаннях за двома поверхнями

Аналіз даного з'єднання на надмірність базування змушує звернути увагу на такі “дрібниці”, які часто випадають з поля зору. Так, опорна грань буртика оправы не повинна мати задирок, тому напрямки руху різця повинні бути від кромки в “тіло” деталі (рис. 6, а та б) під час її обробки. У разі, коли для зменшення деформації, грані оправы та лінзи при закріпленні останньої крайку виконують під кутом  $135^\circ$  або під кутом, який є дотичним до сферичної поверхні лінзи (рис. 6, б та в), необхідно забезпечити розташування вершини конічної поверхні грані на базовій осі оправы.

Отже, проводячи аналіз конструкції з'єднання на технологічність можна зустріти три випадки, які дозволяють констатувати потребу у відповідному доопрацюванні конструкції: якщо  $q=0$  – базування в з'єднанні правильне (конструкція технологічна і доопрацювання її не потрібне); якщо  $q<0$  – у приєднуваній деталі залишаються зайві ступені вільності; якщо ж  $q>0$ , то це означає, що в з'єднанні існує надмірність базування.

Оптимальним співвідношенням між ступенями вільності  $n$  і кількістю накладених зв'язків  $m$  повинно відповідати числу 6.

**Інформаційні джерела**

1. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. ч. 1. Принципы конструирования оптических приборов и их элементов. – С.Пб.: ИТМО, 1996. – 99 с.
2. Погарев Г. В. Юстировка оптических приборов. – Л.: Машиностроение, 1982. – 237 с.
3. Плотников В. С., Варфоломеев Д. Н., Пустовалов В. Е. Расчет и конструирование оптико-механических приборов. – М.: Машиностроение, 1983. – 256 с.
4. Проектирование оптико-электронных приборов / Под ред. Ю. Г. Якушенкова. – М.: ЛОГОС, 2000. – 487 с.

**Кайдик О.Л., к.т.н., Терлецкий Т.В., к.т.н..**

Луцкий национальный технический университет

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ОТСУТСТВИЯ ИЗБЫТОЧНОГО БАЗИРОВАНИЯ В СОЕДИНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИХ КОНСТРУКЦИИ**

*Освещены вопросы анализа конструкции соединений деталей на технологичность на основе принципа отсутствия избыточного базирования. Рассмотрены возможные случаи позиционирования рабочих деталей относительно базовых и особенности определения класса их кинематических пар. Акцентировано внимание на необходимость детального подхода, а не формального, к анализу соединений на избыточность их базирования учитывая ошибки, которые допускают на практике во время их проектирования. Даны рекомендации по доведению конструкции этих соединений к технологичности.*

**Ключевые слова:** технологичность конструкции, избыточное базирования, кинематическая пара, сопряжения деталей, ограничения.

**O. Kaidyk, T. Terletskyi**

Lutsk National Technical University

**APPLICATION OF THE PRINCIPLE OF ABSENCE OF EXCESS BASE IN THE CONNECTION OF PARTS FOR THE ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF THEIR CONSTRUCTION**

*The questions of analysis of the design of joints of parts for technological ability on the basis of the principle of absence of redundant base are highlighted. Possible cases of positioning of working parts in relation to the basic and features of determination of the class of their kinematic pairs are considered. Attention is focused on the need for a detailed approach, rather than a formal approach, to analyzing the connections for the redundancy of their basing, taking into account the errors that are allowed in practice during their design. Recommendations are given regarding bringing the design of these compounds into technological capacity.*

**Key words:** technological design, redundant base, kinematic pair, conjugation of parts, limitation.