

Симонюк В.П., Косенюк Г.В.

Елементи несиллових механічних пристроїв



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Луцький національний технічний університет

Симонюк В.П., Косенюк Г.В.

Елементи несилових механічних пристроїв

Навчальний посібник
Частина 1

Луцьк 2022

Рецензенти:

Рудь Віктор Дмитрович, доктор технічних наук, професор Луцького національного технічного університету;

Авраменко Валентин Семенович, кандидат фізико-математичних наук, доцент Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького;

Богомолів Микола Федорович, кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «КПІ» ім. Ігоря Сікорського.

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету

(протокол № 9 від 28.04.2022 р.)

Симонюк В.П., Косенюк Г.В.

Елементи несилових механічних пристроїв. Частина 1.– Навчальний посібник. – Луцьк: Луцький НТУ, 2022. – 100 с.

УДК 621.8; 681.1; 681.2; 681.7

Викладено відомості про основну технічну термінологію, критерії роботоздатності елементів пристроїв, конструкційні матеріали, відомості про з'єднання деталей та вузлів при виготовленні пристроїв точної механіки, вимірювального обладнання, мікро- та наносистемної техніки, області науки і техніки – мехатроніка.

Висвітлено основні методи розрахунків. Значна увага в посібнику приділяється ілюстраціям реальних зображень як у окремому виконанні, так і в конкретних конструкціях. Наведені окремі новітні конструктивні методи та підходи у висвітленні інформації.

Для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», 153 «Мікро- та наносистемна техніка».

Може бути використаний, також, для спеціальностей, що стосуються верстатобудування, засобів транспортування.

ISBN 978-617-8018-30-6

© Луцький НТУ, 2022

© Симонюк В.П., 2022

© Косенюк Г.В., 2022

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	6
1 Технічна термінологія.....	8
2 Критерії роботоздатності елементів пристроїв.....	12
3 Конструкційні матеріали та їх вибір.....	21
3.1 Метали.....	21
3.2 Пластмаси.....	23
3.3 Змащувальні матеріали для механізмів пристроїв.....	26
3.3.1 Тверді мастильні матеріали.....	28
3.3.2 Пластичні мастильні матеріали.....	29
3.3.3 Мастильні оливи.....	30
3.3.4 Газоподібні мастильні матеріали.....	31
3.4 Захисні і декоративні покриття.....	33
4 З'єднання деталей та вузлів.....	35
4.1 Нероз'ємні з'єднання.....	35
4.1.1 З'єднання зварюванням.....	35
4.1.2 З'єднання пайкою.....	44
4.1.3 З'єднання заклепуванням.....	48
4.1.4 Клеї і клеєві з'єднання.....	54
4.1.5 Герметики.....	55
4.1.6 Клеєзварні і клеєклепані з'єднання.....	58
4.1.7 Замазки.....	59
4.1.8 З'єднання заформовкою.....	59
4.1.9 З'єднання деталей з натягом.....	60
4.1.10 З'єднання розвальцюванням, завальцюванням, поясками, лапками, фальцями.....	61
4.2 Роз'ємні з'єднання.....	65
4.2.1 З'єднання різьбою.....	65
4.2.2 З'єднання штифтами.....	80

4.2.3 З'єднання шпонками.....	84
4.2.4 З'єднання шліцами.....	90
4.2.5 Безшпонкові з'єднання.....	93
4.2.6 Швидкороз'ємні з'єднання.....	95
Список використаних джерел	99

ВСТУП

Технічна література та існуючі засоби інформативного доступу до джерел, дають можливість відшукати необхідну інформацію, практично, на більшість питань. Але деякі матеріали, в силу обставин, висвітлені не повністю, некоректно, у деяких випадках з помилками та неточностями. Також, не виключена можливість помилкового розуміння деяких відомостей. Це природньо.

Для покращення сприйняття навчального матеріалу потрібна певна послідовність його викладення. Зрозуміло, що інформаційний простір постійно змінюється. В цьому посібнику необхідний навчальний матеріал, за можливістю, максимально структурований та викладений у певній послідовності.

Оскільки повністю надати всю необхідну для вивчення інформації неможливо, то в даному посібнику частину навчального матеріалу подано у стислому вигляді. Ці питання детальніше розглядаються в інших, спеціалізованих напрямках, наприклад, у матеріалознавстві, технології виготовлення, засобах та методах вимірювання, хімічній галузі тощо.

Розрахунки, проектування, конструювання – це складні процеси у розробці пристроїв, конструкцій, приладів, установок тощо. Наявна науково-технічна література з їх створення присвячена, як правило, вивченню окремих, конкретизованих видів розробок, їх вузлів, елементів тощо.

Результатом роботи конструктора, при розробці пристроїв несилового напрямку, можуть бути мікро- та наносистемні пристрої, прилади, що призначені для вимірювання, реєстрації, обліку інформації, блокування, вмикання, координації, дослідження, діагностики, лікування, мехатронні пристрої та ін. Цими конструкціями є як первинні так і вторинні, самостійні, допоміжні, дублюючі пристрої.

Новітні конструкторські розробки потрібно розглядати як конструкції, що містять значну частку електронних пристроїв, мікропроцесорів, а також,

механічну складову із різноманіттям геометричних розмірів від мікронів до метрів та значним розмахом ваги, від міліграмів до тон. Також значно змінилась і матеріальна база. На заміну дорогим та важкообробним матеріалам з'явилися легкодоступні, дешеві, легкообробні матеріали.

Залежно від конструкції, призначення, сфери застосування, комплектації, ступеня автоматизації та ін., розробки можуть мати глибоку назву: комплекс, робот, автомат, агрегат тощо. Наприклад, діагностичний медичний комплекс, вимірювальний агрегат, автоматизована та роботизована виробнича лінія і т.д.

Пристаюючи до проектування, конструктор перш за все повинен вибрати матеріал для виготовлення деталей, визначити параметри їх виготовлення та способи з'єднання їх як в складальній одиниці так і пристрої в цілому.

1 Технічна термінологія

Будь-який пристрій має складену конструкцію, яка зібрана із певних складових частин. Ці частини можуть бути простими, або, в свою чергу, зібраними із інших складових частин. Від цього залежить кількість складальних одиниць, вузлів, агрегатів, деталей, покупних елементів, стандартних чи оригінальних деталей або інших складників. При цьому, обов'язковими є і елементарні частини конструкції – деталі. Із таких частинок складається весь виріб, також, за їх допомогою можуть відбуватись, наприклад, з'єднання або ж кріплення елементів конструкції. У багатьох конструкціях можуть застосовуватись гнучкі, в конструктивному розумінні, електричні, гідравлічні, пневматичні та інші проводи.

Чинними стандартами передбачені технічні терміни та технічна термінологія їх застосування. Багатьма із цих термінів, і не тільки, конструктору доводиться постійно стикатись у своїй роботі. Окремі із них наведені нижче.

Деталь – елементарна частина складальної одиниці, виготовлена із однієї заготовки без застосування складальних операцій. В пристроях різного призначення ряд деталей виконують однакові функції, а деяка частина деталей – декілька функцій. Усі деталі за їх призначенням можна розділити на такі основні групи:

- *з'єднувальні*, які служать для фіксації положення деталей одна відносно другої (різьбові, штифти, шпонки, шплінти і т.п.);
- *пружні елементи*, змінюють форму і розміри під дією навантаження і поновлюють попередню форму після зняття навантаження (пружини, мембрани, сільфони і інші);
- *деталі механізмів*, за допомогою яких перетворюються переміщення, швидкості, сили і закони руху (важелі, зубчасті колеса, кулачки, шківни, зірочки);

- *напрямні*, забезпечують переміщення одних деталей відносно інших в заданому напрямку (підшипники, напрямні для поступального руху);
- *ущільнюючі*, які використовуються для герметизації закритих порожнин (фланці, ніпелі, штуцери, сальникові втулки і т.п.);
- *деталі відлікових пристроїв*, призначені для візуального спостереження за зміною вимірювального фізичного параметру (лімби, циферблати, вказівники);
- *корпусні*, які виконують функції нерухомих опор (станини, кронштейни, кришки і т.п.);
- *допоміжні*, що полегшують експлуатацію виробу (ручки, крюки, петлі, спостережні вікна і інші).

В кожній групі є деталі стандартизовані, типи розміри і експлуатаційні параметри яких регламентовані стандартами, та оригінальні, які потребують нової конструкторської розробки.

Складальна одиниця – це виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню між собою на одному підприємстві, в одному цеху, на одній ділянці і т.д. складальними операціями. Складальні одиниці можуть бути простими виробами, складеними з двох-трьох деталей, наприклад, вал з напресованим зубчастим колесом, зварний корпус, та можуть бути більш складними виробами, які містять в собі багато деталей і складальних одиниць, наприклад, редуктор, кулачковий механізм і т.п.

Складальні одиниці є специфікованими виробами, так як складаються із складових частин і супроводжуються специфікаціями.

Виріб – будь-який предмет або набір предметів виробництва, виготовлений підприємством.

Вузол (технологічна складальна одиниця) – складальна одиниця, яка може складатись окремо від інших частин виробу, або виробу в цілому, і виконувати відповідну функцію у виробі одного призначення тільки разом з іншими складовими частинами, наприклад, редуктор чи пасова передача.

Агрегат – складальна одиниця, яка має можливість повної взаємозаміни, можливість складання окремо від інших складових частин виробу або виробу в цілому і можливість виконувати відповідну функцію у виробі або самостійно.

Машина – пристрій, що виконує механічні рухи для перетворення енергії, матеріалів і інформації з метою полегшення фізичної та розумової праці людини.

Механізм – система деталей, призначених для перетворення одного виду руху в інший. Механізми, які входять в склад машини, поділяють за функціональними ознаками: передаточні; виконуючі; керування; контролю; регулювання; подачі; транспортування і сортування. Основні елементи механізму – ланки і кінематичні пари.

Ланка механізму – одна або декілька жорстко з'єднаних деталей, наприклад, вал і шків чи вал і зубчасте колесо. Розрізняють вхідні і вихідні ланки. *Вхідною* називають ланку, якій передається рух, перетворений механізмом в необхідні рухи інших ланок. *Вихідною* називають ланку, яка виконує рух для виконання якого й призначений механізм. Між вхідною і вихідною можуть бути розміщені *проміжні ланки*. В кожній парі спільно працюючих ланок в напрямку силового потоку розрізняють ведучі та ведені ланки.

Кінематична пара – з'єднання двох стичних тіл, яке допускає їх відносний рух. За функціональними ознаками кінематичні пари можуть бути обертальними, поступальними, коливальними, гвинтовими і т.д.

Кінематичний ланцюг – система ланок, зв'язаних між собою кінематичними парами.

Привід – пристрій, який приводить в рух ланку або механізм. Він складається із джерела енергії, передавального механізму і апаратури керування.

Коли розглядати готовий виріб у цілому, необхідно пам'ятати наступні технічні поняття: *комплекс* та *комплект*.

Комплексом називається два і більше специфікованих виробу, не з'єднаних на підприємстві, що їх виготовило, складальними операціями, але призначених для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій. Кожен

із цих специфікованих виробів, що входять в комплекс, служить для виконання однієї або декількох основних функцій, встановлених для всього комплексу.

Комплектом називається два і більше вироби, не з'єднаних на підприємстві, що їх виготовляє, складальними операціями і є набором виробів, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад комплект запасних частин, комплект інструменту, комплект вимірювальної апаратури.

2 Критерії роботоздатності елементів пристроїв

В техніці обов'язковими до виконання є поняття критеріїв роботоздатності того чи іншого пристрою. До основних, як правило, відносять наступні: міцність, жорсткість, стійкість до спрацювання, корозійна стійкість, теплостійкість, вібростійкість, надійність. Значення того чи іншого критерію для даної деталі залежить від її функціонального призначення і умов роботи. Наприклад, для з'єднувальних гвинтів головним критерієм є міцність, а для ходових гвинтів – стійкість до спрацювання. При конструюванні деталей, їх роботоздатність забезпечують, в основному, вибором відповідного матеріалу, раціональною конструктивною формою і розрахунком розмірів за головними критеріями.

Враховуючи велику кількість, як основних, так і другорядних факторів, які висуваються до виробів, що розробляються, не завжди основні критерії є пріоритетними. Дуже часто, другорядні критерії переходять в ранг основних. Важливішими можуть бути умови, в яких будуть експлуатуватись проєктовані вироби: атмосферні дії, кислотність середовища, умови транспортування до місця експлуатації, тиск, вакуум, радіація, вібрації, тряска; для електричних пристроїв – живлення стаціонарне чи автономне, заземлення; для медичних – безпечна дія для людини; для космічних та підводних – ряд специфічних вимог і т.д. Ці критерії та умови вказані тільки для прикладу. Їх є багато і вони різнопланові.

Не завжди є необхідність проведення попередніх силових розрахунків. Часто, достатньо провести лише перевірочний розрахунок, а іноді, розрахунки проводять лише геометричні, як то, при конструюванні приладів вимірювальної, мікро- та наносистемної техніки, махатронних, медичних технічних, біомедичних виробів, автоматизованих та роботизованих виробничих комплексів де в якості матеріалів для виготовлення відповідальних деталей використовують, в основному, леговані матеріали, які мають кратні запаси міцності, жорсткості, стійкості та ін.

І, все ж, *міцність* є головним критерієм роботоздатності більшості деталей. Слід пам'ятати, що поломки деталей і механізмів приводять не тільки до простоїв на виробництві, а й до нещасних випадків.

У процесі експлуатації виробу під дією навантажень, прикладених до його деталей (навіть і незначних, як, наприклад, у вимірювальних пружинах), можуть виникнути неприпустимо великі деформації і, як наслідок, руйнування. Слід також враховувати інерційні перевантаження, пов'язані з експлуатацією на рухомих об'єктах або транспортуванням. Пришвидшення, поштовхи і вібрації, що виникають при цьому, залежать від типу об'єкту, розташування, характеристик проектованого об'єкту, тривалості роботи і т. п. При розрахунках на міцність крім статичних навантажень слід враховувати інерційні. Залишкові деформації тягнуть за собою зміну форми і розмірів деталей, можуть викликати порушення нормальної взаємодії елементів приладу, зміну необхідного характеру сполучення деталей. Руйнування деталей спостерігається у вигляді поломок або пошкоджень робочих поверхонь (викришування, спрацювання та ін.). Враховуючи можливість різної напруженості основних деталей одного і того ж виробу, при проектуванні прагнуть забезпечити їх рівноміцність. Завдання забезпечення необхідної міцності зводиться до того, щоб визначити розміри і форму деталей, що виключають можливість виникнення неприпустимо великої залишкової деформації, поломок і поверхневих руйнувань. Навантаження і відповідні їм напруги, зазвичай, не залишаються постійними, але для деталей, що працюють з маломінливими напруженнями (пружини, заклепки тощо), їх допустимо вважати постійними. Змінні напруги і змінні навантаження характеризуються певними закономірними циклами і при розрахунках враховуються спеціальними коефіцієнтами. Розрахунки на міцність проводять з урахуванням коефіцієнтів запасу міцності або по номінальних допустимих напруженнях.

У процесі розрахунку розрізняють номінальні (умовні) та розрахункові (статичні) навантаження. Дуже відповідальною для конструктора задачею є

вибір коефіцієнтів запасу міцності. Непередбачуваними і небезпечними при конструюванні та експлуатації є деталі з крихких матеріалів, що працюють в умовах постійних напружень. Тому, для них приймають коефіцієнти запасу міцності великими, порядку 3 і вище. Для деталей із пластичних матеріалів, що працюють в тих же умовах, та враховуючи межу текучості матеріалу, ці коефіцієнти приймають рівним 1,2...1,5. При розрахунку деталей на втомленість, запас міцності беруть по відношенню до межі витривалості матеріалу 1,3...2,5. Коефіцієнт запасу міцності n іноді встановлюють на основі диференціального методу, приймаючи його рівним добутку складових коефіцієнтів $n = n_1 n_2 n_3$, де коефіцієнт $n_1 = 1...1,5$ враховує достовірність визначення розрахункового навантаження і напруги; коефіцієнт n_2 враховує однорідність механічних властивостей матеріалів, для сталевих деталей з прокату $n_2 = 1,2...1,5$; коефіцієнт $n_3 = 1...1,5$ враховує специфічні вимоги безпеки.

Розрізняють поломки деталей внаслідок втрати статичної міцності або опору втомленості. Втрата *статичної міцності* відбувається тоді, коли значення робочих напружень перевищує межу статичної міцності матеріалу. Це пов'язане, як правило, із випадковими перевантаженнями, не врахованими при розрахунках, або із прихованими дефектами деталей (пустоти, тріщини тощо). Втрата *опору втомленості* відбувається внаслідок тривалої дії змінних напружень, що перевищують межу витривалості матеріалу. Опір втомленості значно знижується при наявності концентраторів напружень, пов'язаних із конструктивною формою деталі (галтелі, канавки) або з дефектами виробництва (подряпини, тріщини).

Жорсткість характеризується зміною розміру і форми деталі під навантаженням. Під жорсткістю розуміють спроможність деталей зберігати свою форму в межах заданих обмежень під дією робочого навантаження. Зміни форми визначаються виходячи з лінійних λ або кутових φ переміщень точок або січень деталей.

Жорсткість в загальному вигляді визначається як відношення силового фактору до відповідного переміщення. Для оцінки жорсткості, в залежності від функціонального призначення деталей, можуть бути використані різні поєднання силових факторів (сили, моменту, тиску і т.п.) та переміщень, тому жорсткість може мати такі одиниці, як: Н/м; Нм/рад і інші. В деяких випадках зміни форми деталей характеризують *податливістю* – величиною, зворотною жорсткості. Умови жорсткості:

$$\lambda \leq |\lambda|; \varphi \leq |\varphi| \quad (2.1)$$

де, λ – лінійне переміщення;

φ – кутове переміщення.

Допустимі значення переміщень лінійних λ і кутових φ вибирають із врахуванням досвіду експлуатації типових деталей і необхідної точності пристрою.

Під *стійкістю* розуміють спроможність деталі зберігати початкову форму пруткової рівноваги. Поява нестійкої рівноваги між зовнішніми стискаючими силами і внутрішніми силами пруткості викликають поздовжній згин стрижня. Стискаюча сила, перевищення якої призводить до поздовжнього згину стрижня, називається *критичною*.

При осьовому навантаженні, переміщення можливі лише за умови згину прямих стрижнів в результаті викривлення їх осей під дією прикладених навантажень. При поперечному згині стрижнів, що працюють за схемою консольних і однопрогінних (однопролітних) балок, жорсткість може бути визначена за лінійними і кутовими переміщеннями. Отже, лінійні переміщення λ якої-небудь точки осі зігнутого стрижня вимірюються в напрямку, перпендикулярному до вихідного положення осі ненавантаженого стрижня і називаються *прогинами*. В результаті прогину стрижня відбувається також поворот січення на кут α навколо осі, що знаходиться в площині січення. Поворот січень приводить до перекосів і заклинювання в напрямних для

обертального і поступального рухів, тому роботоздатність таких пристроїв визначається жорсткістю за кутовими переміщеннями.

Розрахунки на жорсткість і міцність при стисканні можуть бути достатніми тільки для «коротких» стрижнів. Деталі у вигляді «довгих» стрижнів під дією стискаючих сил можуть втратити стійкість вихідної прямолінійної форми.

Раціональними і рівностійкими у всіх напрямках є круглі, кільцеві, квадратні і коробчастої форми січення.

З метою підвищення жорсткості слід зменшувати довжини стрижнів, збільшувати їх січення, а також застосовувати матеріали з високими значеннями пружних констант E та G .

Спрацювання – процес постійної зміни розмірів деталей в результаті тертя. При цьому збільшуються зазори в підшипниках, в зоні контакту стичних деталей, в зубчастих зачепленнях тощо. Збільшення зазорів знижує якісні характеристики механізмів – потужність, коефіцієнт корисної дії, надійність, точність та інше.

Спроможність матеріалу здійснювати опір спрацюванню називають стійкістю до спрацювання. Застосування мастила значно знижує процеси спрацювання. При цьому значна частина поверхонь деталей розділена тонким шаром змащувального матеріалу і, відповідно, менше спрацьовується, а коефіцієнт тертя стає дуже малим ($\approx 0,005$).

Вибірковий перенос це фізико-хімічний процес, що відбувається в середовищі поверхонь тертя і змащення, в результаті якого на поверхні тертя виникає захисна металева плівка, яка наділена особливою структурою і різко знижує характеристики тертя і спрацювання.

Утворення металевої захисної плівки може відбуватись за рахунок матеріалу, що міститься в мастилі і самих парах тертя. Наприклад, в парі сталь і мідь або її сплави (бронза, латунь) матеріалом, що утворює плівку буде мідь. Для пари сталь + сталь або чавун, таким матеріалом може бути мідний порошок, що додається у вигляді присадки в мастило.

Вибірковий перенос має властивість автокомпенсації спрацювання, тобто захисна плівка хоча і спрацьовується (порівняно мало), але й безперервно поновлюється. Вибірковий перенос застосовується в першу чергу у вузлах тертя, які працюють в екстремальних умовах, наприклад у вакуумі, на космічних кораблях, в агресивному середовищі хімічної промисловості і т.п.

У всіх випадках поверхні тертя необхідно захищати від забруднення. При забрудненні всі методи захисту від спрацювання стають малоефективними.

Найбільш розповсюджені такі види спрацювання деталей механізмів – адгезійне, абразивне, від втомленості та корозійне.

Адгезійне спрацювання виникає при контакті тіл, особливо при ковзанні. Це результат послідовного утворення і руйнування фрикційних зв'язків, які виникають через міжмолекулярні і міжатомні взаємодії плівок оксидів, що покривають поверхні тіл. Адгезійне спрацювання в значній мірі визначається властивостями і станом поверхонь стикання. Наявність мастила послаблює сили міжатомної взаємодії і зменшує кількість фрикційних зв'язків. Великий вплив на інтенсивність спрацювання має *металургійна сумісність* контактуючих металів, тобто ступінь взаємного притягування атомів цих металів.

Абразивне спрацювання – це результат дії абразивних частинок, котрі проникають в зону контакту поверхонь або із мастилом, або при забрудненні, чи в результаті проникнення продуктів спрацювання інших видів.

Відносно тверда частинка утворює мікроборозну в більш м'якому матеріалі. Слід відмітити, що, як правило, абразивне спрацювання не характерне для нормального режиму експлуатації.

Спрацювання від втомленості виникає внаслідок багатократного деформування поверхневих шарів при відносному ковзанні, коченні чи ударах. При коченні це основний вид спрацювання. На поверхнях контакту і під плівкою оксидів виникають мікротріщини, їх розвиток призводить до відділення частинок від основного матеріалу.

Корозійне спрацювання виникає при електрохімічних і інших немеханічних процесах у вузлах механізмів і окремих деталях внаслідок порушення поверхневої плівки. Корозійне спрацювання в основному визначається хімічними процесами та інколи чисто механічними параметрами. У випадку нерухомого з'єднання (наприклад, штифтового) виникає особливий вид корозійного спрацювання *фретинг-корозія*.

Необхідно зазначити, що співставлення умов, в яких спрацьовуються елементи кінематичних пар, показують принципову можливість зменшити адгезійне спрацювання на 2-3 порядки, замінюючи однакові або однорідні матеріали різнорідними: наприклад, можна один із однорідних матеріалів пари покрити тонким шаром іншого матеріалу для того, щоб пара тертя стала різнорідною. Суттєве значення на процес спрацювання має наявність змащувального матеріалу, навіть погане мастило знижує спрацювання на порядок.

Теплостійкість називають нагрів деталей механізмів приладів який може викликати наступні шкідливі наслідки: зниження міцності матеріалу і появу повзучості; зниження захисної спроможності мастильних плівок, і, відповідно, пришвидшення спрацювання деталей; зміну зазорів між стичними деталями, що може привести до заклинювання або заїдання; зниження точності роботи приладу.

Щоб не допустити шкідливих наслідків перегріву на роботу приладу, виконують теплові розрахунки і, при потребі, вносять відповідні конструктивні зміни (наприклад, штучне охолодження).

Вібростійкість. Вібрації викликають неточності у показах приладів і додаткові перемінні напруження. Останні, як правило, приводять до руйнування деталей від втомленості. Особливо небезпечними є резонансні коливання. У зв'язку із чим та враховуючи умови роботи приладу, слід проводити розрахунки на коливання.

Проблема надійності – одна із найважливіших в мехатроніці, медичному та біомедичному приладобудуванні, вимірювальній, мікро- та наносистемній техніці, автоматизації та роботизації виробничих процесів, космічній та підводній техніці та ін. Поняття надійності комплексне, воно враховує всі етапи експлуатації виробу, в тому числі підналадку і зберігання, транспортування і профілактичні заходи.

Надійність – це властивість виробу виконувати свої функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах на протязі необхідного відрізка часу або необхідного напрацювання. Надійність включає такі поняття, як *безвідмовність*, *ремонтоздатність*, *збережність*, *довговічність* складових частин виробу.

В теорії надійності *відмовою* називається подія, в результаті якої виникає порушення роботоzдатності механізму чи пристрою. Основний показник надійності – ймовірність безвідмовної роботи в межах даного проміжку часу або необхідного напрацювання.

Ремонтоздатність – це пристосованість системи до попередження, виявлення і усунення відмов та несправностей. Ремонтоздатність характеризується або середнім часом примусового простою для профілактики, пошуку місця відмови і її усунення, або ймовірністю виконання необхідного ремонту в заданий час. Висока ступінь ремонтоздатності може бути досягнута при використанні в конструкціях легкозмінних блочних елементів і вузлів.

Збереженість називають властивість системи знаходитись у справному стані на протязі строку зберігання і при транспортуванні. Погіршення або зміна властивостей і параметрів окремих елементів системи може виникати в результаті старіння і ряду випадкових причин.

Довговічність називається властивість зберігати роботоzдатність до кінцевого стану з необхідними перервами для профілактичних міроприємств і ремонтів. Кількісний показник довговічності *ресурс* або *строк служби*,

наприклад, час від початку експлуатації системи до моменту її технічної непридатності внаслідок спрацювання і старіння.

Довговічність будь-якого технічного пристрою чи установки суттєво залежить від умов і технічного рівня експлуатації. Низький рівень обслуговування призводить до скорочення їх терміну служби. Однак, вирішальне значення для довговічності установки має раціональність її конструкції. Кожен вузол і кожна деталь мають свою довговічність, що забезпечується їх міцністю, механічною жорсткістю та зносостійкістю. Заходи з підвищення довговічності здорожують конструкцію. Необхідність використання якісних матеріалів, упровадження нових технологічних процесів і додаткового обладнання вимагає збільшення капіталовкладень. Але ці затрати, зазвичай, виправдовуються. Вартість виготовлення деталей, які визначають довговічність пристроїв, зазвичай, є невеликою порівняно з вартістю їх виготовлення, а вартість самого пристрою є невеликою порівняно із загальною сумою експлуатаційних витрат.

Слід зазначити, що надмірне підвищення довговічності, як і недостатня довговічність економічно не вигідні. Довговічність машини не повинна перевищувати терміну морального спрацювання, тобто стану, коли пристрій, зберігаючи фізичну працездатність, за своїми кількісними чи якісними характеристиками перестає задовольняти споживача через підвищення вимог чи появи сучасніших установок.

Попередження морального спрацювання досягається двома шляхами. Перший – в конструкцію установки закладаються резерви розвитку за потужністю, продуктивністю, діапазоном операцій, що виконуються. Це дозволяє в подальшому модернізувати установку відповідно до нових вимог. Другий – підвищення інтенсивності використання машини в експлуатації, тобто прагнення відпрацювати ресурс довговічності за короткий термін служби. Оптимальним, переважно, вважається термін 3...4 роки.

3 Конструкційні матеріали та їх вибір

Основними матеріалами для виготовлення деталей в мехатроніці, медичному та біомедичному приладобудуванні, вимірювальній, мікро- та наносистемній техніці, автоматизованих та роботизованих виробничих комплексів та систем тощо, є різні сплави, пластмаси, спечені керамічні і композиційні матеріали.

3.1 Метали

Залізовуглецеві сплави – чавуни і сталі. Чавуни, в основному, застосовують при виготовленні стаціонарних основ, станин, кронштейнів, баластів, противаг та ін. У відповідальній (точній) механіці, основним із залізовуглецевих матеріалів, є сталі. Це матеріал, з якого виготовляють більшість деталей. Застосовують сталі вуглецеві звичайної якості (сталь 3, сталь 5 і ін.) і сталі якісні конструкційні (марок 20, 35...). Із сталей марок 20, 35... виготовляють, наприклад, зубчасті і фрикційні колеса, вали, осі, шпонки і т.д. Леговані сталі мають підвищені механічні характеристики, але вартістю набагато вищі ніж сталі вуглецеві звичайні і конструкційні.

Твердість і стійкість до спрацювання поверхні сталюї деталі можуть бути підвищені гартуванням, азотуванням і ціануванням. При цьому поверхневий шар глибиною 0,2...0,7 мм насичується азотом і вуглецем.

Деталі, котрі витримують навантаження із поштовхами та ударами, виготовляють із низьковуглецевих і малолегованих сталей марок 15, 20, 15х і ін. Їх поверхнєве зміцнення досягається гартуванням або цементацією (насиченням поверхні вуглецем).

Основні властивості сталей – висока міцність, пластичність, легка зварюваність. Механічні характеристики сталей залежать від кількісного співвідношення складових компонентів і термообробки. Суттєвим недоліком

сталей є висока щільність (7,8 г/см³). Переважна більшість сталей характеризується низькою корозійною стійкістю, а спеціальні нержавіючі сталі з високою корозійною стійкістю, дуже дорогі. Застосовуючи титанові сплави замість сталей, отримують конструкцію в 2...3 рази легшу, стійкішу до корозії. Однак висока вартість і важкооброблюваність титанових сплавів суттєво обмежує область їх застосування.

Леговані конструкційні сталі містять, окрім вуглецю, і інші елементи та мають ряд переваг над вуглецевими, а саме: більш високу міцність, стійкість до спрацювання, нижчу схильність до окислення, більшу витривалість до підвищених температур.

Корозійностійкі сталі містять значний відсоток хрому та нікелю. Зазвичай, такі сталі немагнітні.

Мідні сплави – це різні латуні і бронзи. *Латунь* – сплав міді і цинку, а також багатокomпонентні сплави на тій же основі. *Бронзою* називають сплав міді з оловом і іншими елементами (кремній, нікель, алюміній). Мідним сплавам властиві: висока корозійна стійкість, стабільні механічні характеристики, високі антифрикційні характеристики, немагнітність, пайкість, електропровідність. Вони є надійними матеріалами для роботи при від'ємних температурах. Завдяки цьому їх використовують при необхідності зменшити втрати у вузлах тертя, у пружних елементах і т.д.

Із бронз і латуней виготовляють вкладиші опор ковзання, черв'ячні колеса, деталі функційних муфт, напрямні прямолінійних руху, невеликі зубчасті колеса, плати, деталі лицьових панелей, мембрани, сільфони і т.д. Міцність мідних сплавів (особливо латуні) нижча, ніж сталей, а вартість вища.

Із чистої міді виготовляють провідники, шини, фольгу для друкованих плат.

Алюміній і сплави на його основі. Первинний алюміній відноситься до м'яких металів. Його застосовують для виготовлення проводів, конденсаторної

фольги і ін. Сплави на основі алюмінію мають високі тепло- і електропровідність, корозійну стійкість, малу щільність.

Литтєві алюмінієві сплави мають хороші литтєві властивості та отримали широке застосування у виготовленні відповідальних деталей, таких, як: корпуси, кришки, фланці, основи та ін. властивості сплавів залежать від хімічного складу, способу лиття та виду термічної обробки.

Деформовані алюмінієві сплави виготовляють у вигляді прокату, листів, плит, фасонного профілю.

Властивості та застосування *магнію і сплавів на його основі*, практично, аналогічні алюмінію та сплавам на його основі. Основною перевагою всіх магнієвих сплавів є їх низька щільність в порівнянні з іншими металічними сплавами, що дозволяє суттєво знизити масу деталей, що виготовлені із них.

Магній і його сплави мають низьку корозійну стійкість. Тому, вироби із них повинні мати захисне покриття. Небажаний прямий контакт магнію та його сплавів з будь-яким іншим металом, так як, в результаті цього виникає електрохімічна реакція.

3.2 Пластмаси

Пластмаси – складні матеріали на основі високомолекулярних з'єднань, спроможних до полімеризації. За будовою їх розділяють на лінійні (термопластичні) і просторові (термореактивні). Вироби із пластмас отримують за допомогою простих і дешевих технологічних операцій: прямого і компресійного пресування; лиття під тиском; екструзії; вакуумного формування; механічної обробки; склеювання; спікання; штамповки; зварювання і т.д.

За видом зв'язуючого полімера пластмаси розділяють на поліолефіни, полістирол і матеріали на його основі, фторопласти, матеріали на основі полівінілхлориду та інші.

Пластмаси на основі поліолефінів. До них відносяться поліетилен, поліпропілен і матеріали на їх основі. В техніці ці матеріали застосовують як конструкційні та ізоляційні. Пластмаси високого і низького тисків випускають у вигляді порошків та гранул, які переробляють у виробі методами компресійного пресування, екструзії, лиття під тиском, вакуумного формування. Поліпропілени характеризуються високою міцністю, хімічною стійкістю, водостійкістю в порівнянні з поліетиленами, але гірше працює при низьких температурах. Пластмаси на основі поліолефінів використовують для виготовлення різних напівфабрикатів у вигляді труб, листів, плівки. Для плат друкованого монтажу застосовують фольгований поліетилен.

Пластмаси на основі полістиролу мають властивості, подібні поліетилену, але більшу міцність і меншу пластичність. Оптичний і світлотехнічний полістирол застосовують для виготовлення оптичних, світлотехнічних деталей та ін.

Із полістиролу і його композицій виготовляють напівфабрикати, плівку, листи, папір і т.д. Фольгований полістирол використовують для виготовлення друкованих плат, а пінний полістирол як теплоізоляційний матеріал.

Пластмаси на основі фторопластів. Це є продукти полімеризації етиленів.

Фторопласт-1 – механічно міцний, прозорий, еластичний, стійкий до стирання, хімічно- і радіаційностійкий.

Фторопласт-2 – не значно деформується під дією постійно діючого механічного зусилля. Фторопласт-1 і фторопласт-2 застосовують в якості конструкційних і підшипникових матеріалів.

Фторопласт-3 – має хороші діелектричні властивості і високу хімічну стійкість. Із нього виготовляють різні ізоляційні деталі: каркаси котушок, ізоляційні панелі, основи.

Фторопласт-4 – має найкращі діелектричні властивості серед твердих діелектриків. Застосовують його в якості ізоляційного матеріалу на високих

частотах, а його модифікацію фторопласт-4МБ – в якості антифрикційного покриття.

Фторопласт-40 – стійкий до радіаційного опромінення.

Із фторопластів виготовляють також напівфабрикати: плівки, листи, труби, стержні і т.д. Плівка застосовується, в основному, як ізоляційний матеріал. Виготовляють також листи і плівки фольговані з однієї або з двох сторін мідною фольгою для плат друкованого монтажу.

Пластмасами на основі полівінілхлориду є продукти полімеризації вінілхлориду. Розрізняють полівінілхлорид емульсійний і масовий, який переробляють у виробі наступними методами: литтям під тиском, екструзії, прямого пресування, компресійного пресування та ін. В основному, ці пластмаси застосовуються для ізоляції та захисту проводів і кабелів.

Пластмаси на основі поліакрилатів. Найбільше розповсюдження отримали пластмаси на основі метилметакрилату. Литтєвий поліметилметакрилат (скло органічне) виготовляють у вигляді порошку і гранул та застосовують для деталей різного технічного призначення (шкал, лінз, футлярів). На основі бутілметакрилату виготовляють компаунд марки МБК-1 для просочення блоків радіо- і електроапаратури.

Скло органічне конструкційне легко піддається всім видам механічної обробки, склеюванню, формуванню і широко застосовується для різних технічних потреб. Для виготовлення світлорозсіювачів використовують скло органічне світлотехнічне.

Пластмаси на основі фенопластів випускають різних типів: загального призначення, спеціальні безаміачні, електроізоляційні, вологостійкі, удароміцні, жаростійкі. Фенопласти типу загального призначення використовують для виготовлення малонавантажених армованих і неармованих виробів для роботи при температурі – 60°C до + 60°C (корпусів, кнопок, патронів, рукояток, декоративних виробів). Фенопласти електроізоляційні мають хороші діелектричні властивості і їх застосовують для виготовлення електроізоляційних

виробів. Фенопласти вологостійкі витримують дію агресивних середовищ, стійкі до тропічного клімату. Удароміцні фенопласти використовують для виготовлення армованих і неармованих деталей складної форми (маховиків, фланців, дисків, шестерень і т.п.). Жаростійкі фенопласти мають в якості наповнювача азбест, слюду, а застосовують їх для виготовлення різних фрикційних деталей, а також деталей радіо- і електротехнічного призначення. На основі фенопластів виготовляють напівфабрикати і гетинакс, текстоліт, асбестоліт, пінопласт.

Пластмаси на основі полієфірів розрізняють як насичені і ненасичені полієфіри. Перші застосовують у виробництві лаків і фарб. Другі – в якості зв'язуючих армованих пластиків, доливочних і просочуючих складових у виробках радіо- і електротехнічного призначення. До складних ефірів належать лавсан, який має хороші діелектричні властивості, хімічну стійкість і теплостійкість. Лавсанову електроізоляційну плівку широко застосовують в техніці в якості ізоляційного матеріалу, а фольговану – для гнучких плат друкованого монтажу.

Пластмаси на основі епоксидних смол. Ці пластмаси мають хороші клеєві властивості, а після затвердіння, механічно міцні, хімічно стійкі, діелектричні. Їх затвердіння відбувається хімічною взаємодією компонентів.

Склопластики, це матеріали на основі зв'язуючих смол та скловолокнистих наповнювачів. Їх застосовують для виготовлення армованих, неармованих деталей, а також, в якості з'єднань та при ремонті корпусних та інших деталей.

3.3 Змащувальні матеріали для механізмів пристроїв

Роботоздатність вузлів тертя в значній мірі залежить від правильного вибору марки і кількості змащувального матеріалу (ЗМ). Особливо зростає роль ЗМ при роботі вузлів тертя в екстремальних умовах.

Для змащування вузлів тертя механізмів пристроїв застосовуються ЗМ різних типів: тверді, рідкі (масла, оливи) і пластичні (консистентні). Тверді ЗМ, як правило, використовують при високих температурах (350 – 400°C), коли оливи і пластичні змазки нероботоспроможні або малоефективні. Масла рекомендуються для вузлів тертя, що працюють при малих значеннях навантажень і частот обертання, а також для підживлення підшипникових вузлів. Пластичні змазки мають більший в порівнянні з маслами строк служби, чим пояснюється їх широке застосування у вузлах тертя. Також, пластичні змазки незамінні у тих випадках, коли неможливо забезпечити герметизацію вузла тертя і його поповнення ЗМ. Будь-який ЗМ повинен знижувати або ліквідувати спрацювання деталей, не допускати задирів поверхонь тертя, ущільнювати вузол, захищати його робочі поверхні від корозії та забруднень. Перераховані вимоги до ЗМ повинні виконуватись при різних положеннях вузла тертя в просторі, різних умовах експлуатації і забезпечуватись мінімальною кількістю ЗМ, в ряді випадків незмінним і непоповненим на протязі всього часу роботи, забезпечувати зберігання механізму і пристрою в цілому.

Основним технічним показником для вибору марки змащувальних олів є їх в'язкість, яка визначається в залежності від температури. При виборі олів необхідно враховувати умови роботи пристрою. При великих навантаженнях і температурах застосовують масла з високою в'язкістю. Для швидкісних підшипників рекомендуються оливи з меншою в'язкістю, так як вони, окрім змащення, охолоджують стичні деталі, особливо, в зонах тертя. При від'ємних температурах (від -40°C до -60°C) виникає різке зростання в'язкості олів, що впливає на пускові характеристики та роботоздатність вузлів тертя і тому обмежує їх застосування при низьких температурах.

Навколишнє середовище накладає деякі обмеження на вибір марки ЗМ. Відповідно до умов навколишнього середовища слід використовувати відповідні ЗМ: високий вакуум, високі температури, низькі температури, агресивні середовища.

При виборі ЗМ, також, необхідно враховувати конструкцію вузла тертя, режим його роботи, спеціальні вимоги. Пластичні змазки, в склад яких входять складні ефіри, не рекомендуються при контакті із пластмасовими деталями.

Режим роботи ЗМ визначається частотою обертання, навантаженням і температурою в зоні експлуатації. При виборі типу ЗМ пріоритетною є величина швидкісного фактору. Щодо навантаження, то чим більше навантаження, тим більшу в'язкість повинен мати ЗМ. Як правило, протизносні і протизадирні властивості майже всіх ЗМ достатньо високі, щоб забезпечити нормальну роботу вузлів тертя.

Температура експлуатації значно обмежує вибір ЗМ. При температурах до 100°C використовують ЗМ на мінеральних маслах, так як їх роботоздатність вище, ніж у ЗМ на базовому синтетичному маслі. При більш високих температурах (>120°C) рекомендуються ЗМ, виготовлені на основі синтетичних масел. При дуже високих температурах (до 300°C і вище) застосовують пігментні змазки, використання яких при середніх температурах (20-150°C), великих частотах обертання і навантаження небажане із-за невеликого ресурсу роботи.

При виборі масла слід враховувати температуру його застигання.

3.3.1 Тверді мастильні матеріали

Тверді мастильні матеріали поділяються на:

- тверді неорганічні мастильні матеріали – це такі матеріали, як графіт, дисульфід молібдену, диселенід молібдену, слюда, тальк, нітрид бору, алмазний нанопил тощо;
- тверді органічні мастильні матеріали – цей термін застосовують до твердих олив, мила, восків, пігментів, сажі та ін.;
- м'які метали – олово, свинець, цинк, індій, барій;
- полімерні мастильні матеріали – поліетилен, фторопласт, поліаміди тощо;
- хімічні та гальвано-хімічні покриття – сульфідні, фосфатні, оксидні.

3.3.2 Пластичні мастильні матеріали

Пластичні (консистентні) мастильні матеріали – є нафтовими або синтетичними мастилами з додаванням багатофункціональних присадок та загусника, у ролі якого використовуються мила вищих сортів жирних кислот, тверді вуглеводні (церезини, парафіни), термостійкі загусники (силікагель та сажа), неорганічні загусники (аеросил, змодифіковані глини) тощо.

Пластичні мастильні матеріали застосовують у таких випадках, як:

- для важконавантажених підшипників ковзання, що працюють при невеликих швидкостях в умовах граничного тертя з частими реверсами чи у повторно-короткочасному режимі;
- коли мастильний матеріал, крім основного призначення, використовується як ущільнювач для захисту поверхні від потрапляння забруднювачів із навколишнього середовища;
- для створення захисної масляної плівки на поверхні тертя при тривалих зупинках;
- у вузлах тертя, доступ до яких утруднений, або які можуть працювати тривалий час без поповнення мастилом;
- за потреби одночасного використання мастильного матеріалу для консервації та змащування механізму.

Основні характеристики, що слід враховувати при використанні пластичних мастильних матеріалів (мастил): в'язкість; границя міцності на зсув; температура крапання; пенетрація.

В'язкість пластичних мастильних матеріалів, на відміну від олив, залежить не лише від температури, але і від швидкості деформування. Значення в'язкості пластичного мастильного матеріалу, визначене при заданій швидкості деформування та температурі, є сталим і має технічну назву «ефективна в'язкість».

Границя міцності на зсув – мінімальне напруження зсуву, яке викликає перехід мастила до його в'язкого стану. Границя міцності на зсув характеризує здатність мастила утримуватись на рухомих деталях, витікати і витискатись із незагерметизованих вузлів тертя.

Температура крапання – температура падіння першої краплі пластичного нафтопродукту, який нагрівають у капсулі спеціального термометра. Зазвичай пластичні мастила застосовують за температур на 15...20°C нижчих від температури крапання.

Пенетрація – показник, що характеризується глибиною проникнення стандартного конуса (голки) у нафтопродукт. Число пенетрації характеризує ступінь застигання пластичного мастильного матеріалу, який за стандартами визначається глибиною занурення у мастильний матеріал стандартного конуса пенетрометра за 5 с при температурі 25°C та загальному навантаженні 150 гс і виражається у десятих частках міліметра.

3.3.3 Мастильні оливи

Мастильні оливи або *рідинні мастильні матеріали*, у своїй більшості, є очищеними нафтовими оливами із спеціальними присадками, що дозволяють збільшити термін їхнього використання у 2...4 рази. Оливи без присадок застосовують для мащення малонавантажених високошвидкісних вузлів машин. Останнім часом, у зв'язку з підвищенням екологічних вимог, зокрема до продуктів нафтоперероблення та нафтохімії, спостерігається світова тенденція виготовляти пластичні й рідинні мастильні матеріали на основі олій рослинного походження.

Основними характеристиками, які є спільними для всіх рідких мастильних матеріалів, є:

- в'язкість;
- температура застигання;

- температура спалаху;
- кислотне число.

В'язкість – є однією з найважливіших характеристик мастильного матеріалу, що значною мірою обумовлює силу тертя між рухомими поверхнями, на які нанесено мастильний матеріал. Так як в'язкість є обернено пропорційною до температури (у діапазоні від -30 до +150°C змінюється у тисячі разів) то, для стабілізації в'язкісно-температурних властивостей мастильних олиив до їх складу додають спеціальні в'язкісні присадки, котрі відносно мало підвищують в'язкість базової оливи за низьких температур, але значно збільшують в'язкість при підвищених температурах. Значення в'язкості мастильного матеріалу завжди вказується для конкретного значення температури, зазвичай, це 40°C.

Температура застигання – температура, за якої нафтопродукт втрачає рухомість (найнижча температура, при якій олива розпливається під впливом сили тяжіння). Поняття температури застигання використовується для визначення подачі оливи трубопроводами та можливості змащення вузлів тертя, що працюють за понижених температур. Температура застигання має бути на 5...7°C нижчою від температури, при якій олива повинна подаватись.

Температура спалаху – мінімальна температура, за якої в умовах спеціальних випробувань нафтопродукту над його поверхнею утворюється пара, здатна спалахнути від вогню без виникнення стійкого горіння. Температуру спалаху потрібно враховувати при подачі оливи до вузлів тертя, що працюють за підвищених температур. Температуру спалаху визначають у відкритому або закритому тиглі.

Кислотне число – кількість міліграмів гідроксиду калію (KOH), витраченого на нейтралізацію вільних кислот, що містяться в 1 г нафтопродукту. При старінні оливи кислотне число зростає і часто саме воно є основним критерієм для заміни оливи у циркуляційних мастильних системах.

При підборі рідких мастильних матеріалів для конкретних умов роботи керуються такими характеристиками:

- індекс в'язкості – оцінка зміни в'язкості мастильного матеріалу залежно від зміни температури;
- окиснюваність – оцінка здатності оливи вступати у хімічну реакцію з киснем. Стійкість до окиснювання є показником стабільності тієї чи іншої оливи;
- екстремальний тиск (EP) – міра міцності масляної плівки, використовується для характеристики мастильних матеріалів сильно навантажених поверхонь тертя;
- заїдання – оцінка здатності мастильного матеріалу запобігати стрибкам та нестійкому рухові поверхонь тертя.

За призначенням та областю використання мастильні оливи поділяються на:

- моторні;
- трансмісійні;
- індустріальні;
- гідравлічні.

Строк служби мастильної оливи залежить від швидкості накопичення у ній шкідливих домішок та її старіння. Суть старіння полягає у тому, що в процесі експлуатації відбувається хімічна взаємодія оливи з киснем повітря з утворенням шламу та розчинних кислот.

3.3.4 Газоподібні мастильні матеріали

Газоподібні мастильні матеріали можна поділити на дві групи:

- *мастильні гази*; цей термін застосовують до таких газоподібних матеріалів, як: аргон, пара гасу, гази галогенисті та сірчисті сполуки (хлорометан і дихлорометан), суміш сірководню із сірковуглецем тощо;
- *мастильні аерозолі*, які за видом розпиленого мастильного матеріалу, в свою чергу, поділяють ще на дві підгрупи:

- ❖ тумани, тобто аерозолі, у яких дисперсною фазою є рідинний мастильний матеріал,
- ❖ дими, у яких дисперсною фазою є твердий мастильний матеріал.

3.4 Захисні і декоративні покриття

Під *покриттям* розуміється шар матеріалу, утворений природним або штучним шляхом на поверхні елемента, виконаного з іншого матеріалу. Покриття найчастіше застосовуються з метою захисту металів від корозії. Також, досить широко покриття використовуються в техніці для підвищення стійкості до спрацювання, поверхневої твердості виробів, з метою відновлення робочих поверхонь, та надання їм інших властивостей. Так, наприклад, неструмопровідну деталь зробити струмопровідною та навпаки, можна, застосувавши відповідні матеріали для покриття. Знаходять певне застосування з метою декорування (прикраси) виробів і виконують часто захисно – оздоблювальну функцію.

Для захисту деталі від корозії і для задоволення вимог технічної етики застосовуються металічні, неметалічні і лакофарбові покриття.

В техніці найбільше застосування знаходять *гальванічний, хімічний і анодизаційний* способи нанесення покриттів.

Гальванічні покриття: цинкування, мідніння, нікелювання і хромування – застосовуються для захисту деталей від корозії та для придання поверхням спеціальних якостей, таких, як підвищення поверхневої твердості, стійкості до спрацювання, покращення антифрикційних та декоративних властивостей і т.д.

Хімічні покриття поділяються на дві підгрупи: 1) металічні – нікелювання, сріблення, золочення і ін.; 2) неорганічні захисні плівки – оксидування, фосфатування, хромування і пасивування.

Анодизаційні покриття – анодування (анодне оксидування) – використовується для деталей із нержавіючої сталі, магнієвих і алюмінієвих сплавів (електрополірування).

Лакофарбові покриття застосовують для більш надійного запобігання від корозії металів, а також для декоративного оформлення деталі, вузла або пристрою. Їх, як правило, наносять на поверхні, попередньо оброблені одним із вище вказаних методів антикорозійних покриттів. Широко застосовуються лаки, емалі і фарби.

Вибір захисних і захисно-декоративних покриттів відбувається у відповідності з рекомендаціями стандартів та із врахуванням комплексу експлуатаційних, технологічних і економічних факторів, в тому числі: функціональне призначення, місце встановлення та умови експлуатації пристроїв, технічна етика, матеріал деталі, серійність виробництва і т.д.

4 З'єднання деталей та вузлів

Для забезпечення функціонування будь-якого виробу згідно його призначення, необхідно складові цього виробу сполучити. Сполучення можуть бути контактними, безконтактними та комбінованими. В машинобудуванні, приладобудуванні, автоматизованих системах, мехатроніці та медичних механічних пристроях найбільше застосування отримали контактні сполучення або з'єднання деталей і вузлів які розділяють на дві основні групи: нероз'ємні і роз'ємні.

4.1 Нероз'ємні з'єднання

Нероз'ємними з'єднаннями називають такі, при роз'єднанні яких деталі пошкоджуються. До нероз'ємних відносяться: з'єднання зварюванням, склепуванням, пайкою, склеюванням, з'єднання з натягом (запресовка), завальцювання, поясками, лапками і фальцями, заформуванням і т.д.

4.1.1 З'єднання зварюванням

Зварюванням називається процес отримання нероз'ємного з'єднання шляхом встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами деталей пристроїв при їх місцевому або загальному нагріві, пластичному деформуванні або спільній дії цих факторів. Існує велика кількість видів зварювання, які класифікуються за фізичними, технічними і технологічними ознаками.

За фізичними ознаками зварювання поділяють на термічне (дугове, електрошлакове, електронно-променеве, плазмове, газове і ін.) з використанням теплової операції; термомеханічне (контактне, дифузійне, пресові види

зварювання і ін.) з використанням тиску і теплової енергії; механічне (холодне, вибухом, ультразвукове, тертям і ін.) з використанням механічної енергії і тиску.

За технічними ознаками розрізняють зварювання за способом захисту металу в зоні зварювання, безперервності процесу, ступінню механізації, типу захисного газу та ін.

Технологічні ознаки встановлюють для кожного виду зварювання. Зварювати можна як метали, метали з деякими неметалами так і пластмаси. Зварні з'єднання, в порівнянні, наприклад, із з'єднаннями склепуванням, мають ряд серйозних переваг, завдяки яким вони знайшли широке застосування в механіці. До них відносяться: можливість автоматизації процесу, нижча вартість конструкцій, більш низька трудоемність процесу, простота отримання складних конструкцій із окремих деталей і т.д.

З'єднання зварюванням плавленням поділяють, в основному, на стикові, нахлистові, таврові, кутові (рис.1). Зварювання проводять односторонніми або двосторонніми швами. Для отримання надійного з'єднання кромкам листів надають відповідну форму, регламентовану стандартом.

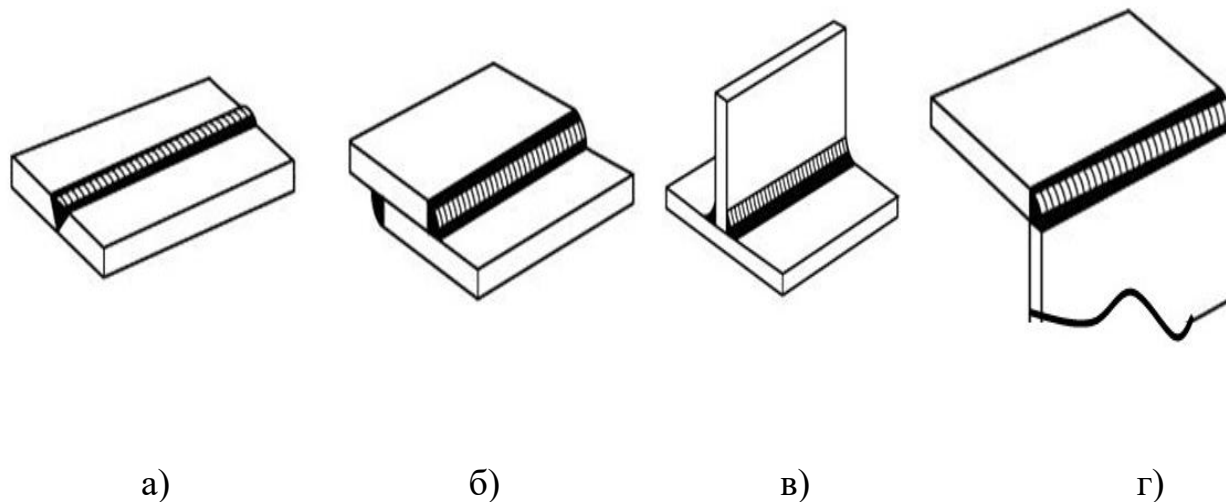


Рисунок 1 – Схеми з'єднання зварюванням плавленням: а – стикові, б – нахлистові, в – таврові, г – кутові

На рис. 2 наведений приклад зварювання плавленням за допомогою аргонно-дугового методу відповідальних деталей виготовлених із легуваних сталей. Таке зварювання відбувається в середовищі захисного газу аргону задля запобігання потрапляння в зону зварювання кисню, який спроможний утворити окислення металу у вигляді шлаку.

Стикове мікрозварювання широко застосовується при виробництві електровимірювальних приладів, годинників, фотоапаратів, рухомих пристроїв і т.д. Як правило, такому зварюванню підлягають мікродеталі із кольорових, однойменних і різнойменних металів і сплавів однакових і різних січень.



Рисунок 2 – З'єднання отримане при аргонно–дуговому зварюванні

До мікродеталей умовно відносять деталі січенням від 0,008 до 3,2 мм² (діаметри дротів від 0,1 до 2,0 мм). З'єднання можуть працювати при знакозмінних навантаженнях, перепадах температур і в інших екстремальних умовах. Стикове мікрозварювання може виконуватись методом опору і

плавлення. У першому випадку зварювання відбувається без плавлення торців з'єднаних деталей, в другому – з їхнім плавленням. Цим видом зварювання з'єднуються дроти однакових і різних діаметрів, кільця із стержнями і трубками, багатожильні дроти, металічні стрічки, листки з накладками, термопари з виробами, пелюстки кріплення з основами, металокерамічні контакти з плоскими пружинами і т.п. Стиковому мікрозварюванню підлягають різні метали і сплави, наприклад, мідь, латунь, бронза, алюміній, корозійностійка сталь, молібден, вольфрам, нікель, інвар, ніхром, золото, срібло, платина, сталь зміцнена і нікельована, залізо алюміноване і інші. Особливістю зварювання цього виду є необхідність більш точного, ніж при зварюванні крупних деталей, дотримання умов зварювання.

До мікрозварювань відноситься і лазерне зварювання. Це зварювання плавленням, при якому джерелом тепла для розплавлення частин з'єднання є енергія світлового променя (рис. 3), одержана від оптичного квантового генератора – лазера.

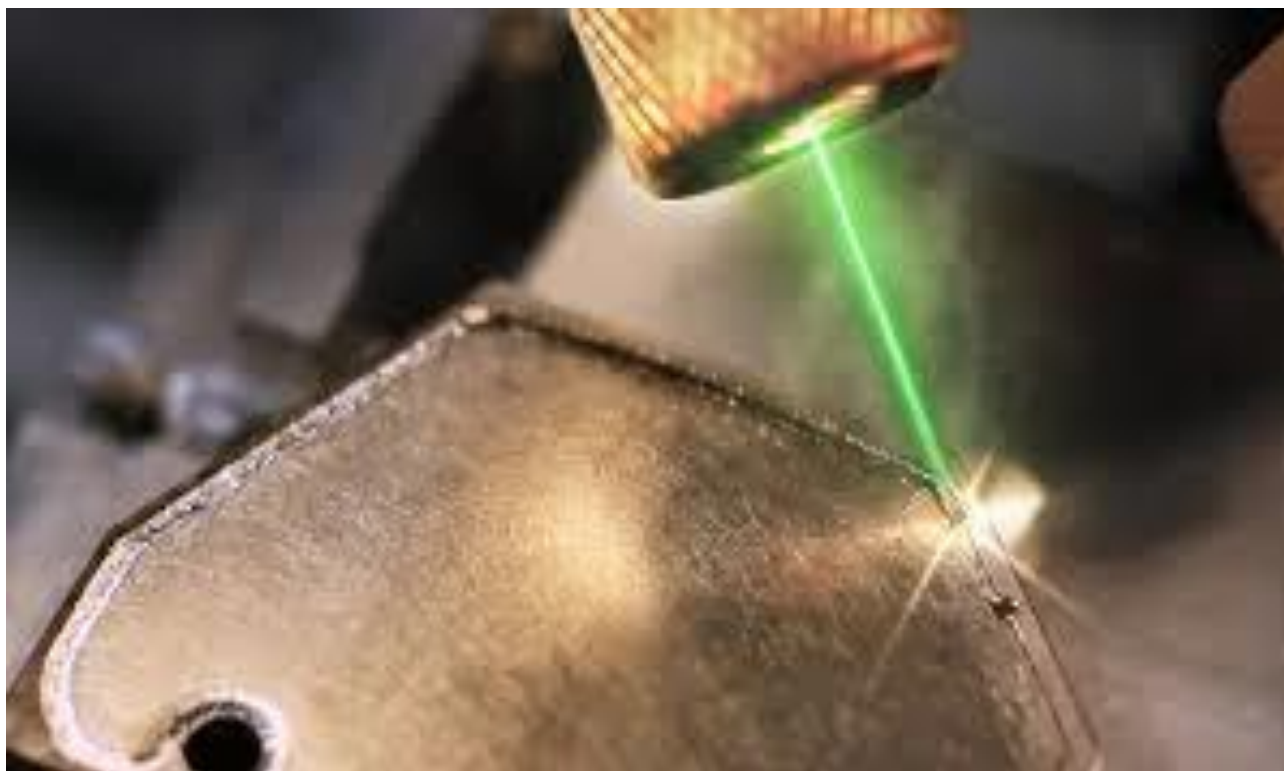


Рисунок 3 – Промінь лазера

Контактне зварювання призначене для отримання нахлистових і таврових з'єднань, воно допускає зварювання деталей товщиною від 0,1 до 20 мм. Стандартом передбачено три основних види контактного зварювання: точкове, рельєфне, шовне.

При точковому зварюванні деталі з'єднуються між собою в окремих "точках" (рис. 4). При цьому, заготовки складають внапуск і затискають між електродами. Під дією зусилля P , електроди тиснуть на деталі 1, 2 та 3, 4. Може використовуватись і основа 5 із протидіючою силою $2P$. На електроди, через трансформатор, подається напруга. Поверхні зварюваних заготовок, що стикаються з мідними електродами, нагріваються повільніше ніж внутрішні їх шари (рис. 5). Нагрівання триває до пластичного стану зовнішніх шарів і до розплавлення внутрішніх шарів. Під дією напруги метал в місці стикання плавиться і деталі з'єднуються.

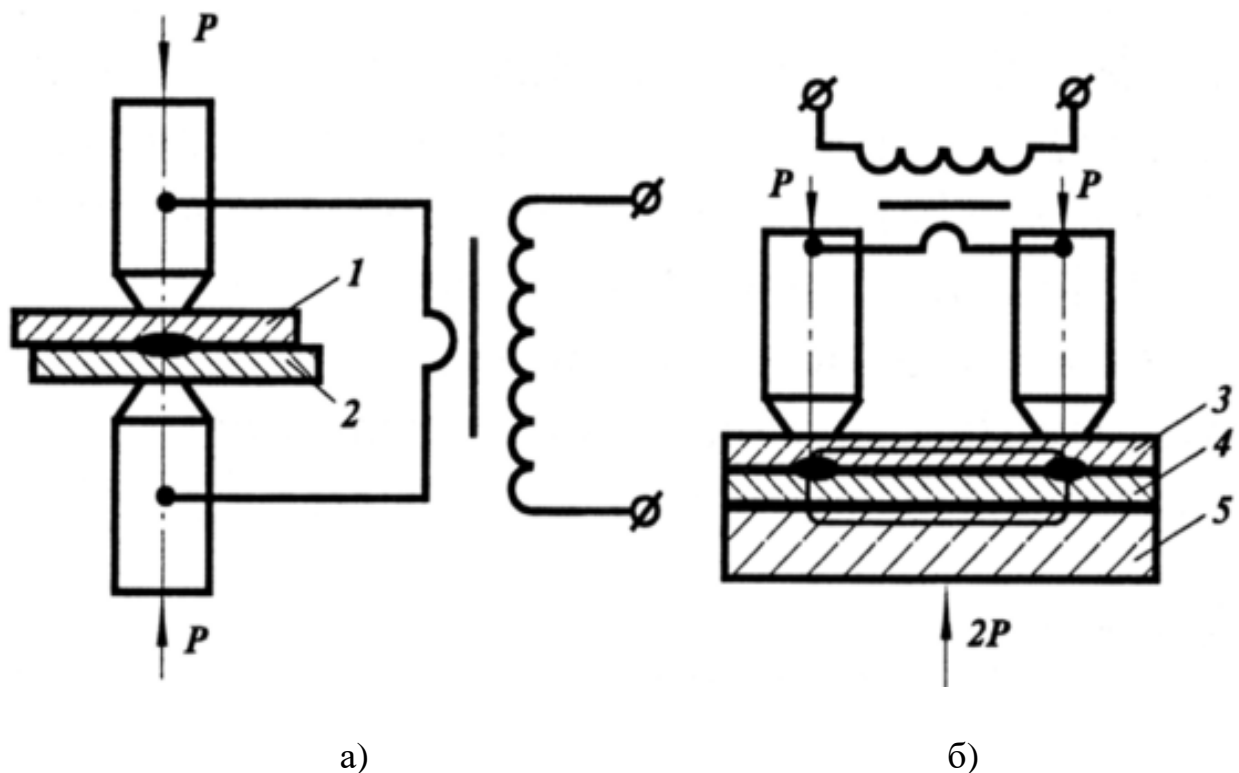


Рисунок 4 – Точкове зварювання: а – електроди різнонапрявлені; б – електроди паралельно напрямлені



Рисунок 5 – Момент плавлення та з'єднання деталей

Рельєфне зварювання відбувається за раніше підготовленими рельєфами – виступах (рис. 6) одночасно в декількох точках. Виступи можуть бути виконані раніше як на одній, так і на двох деталях.

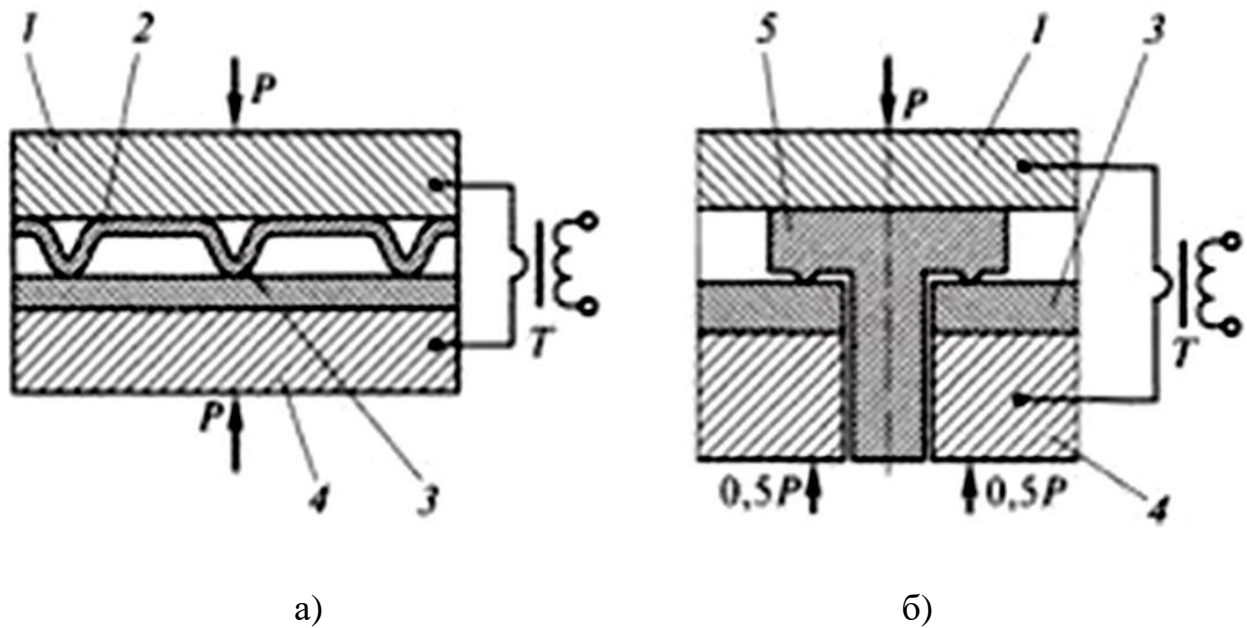


Рисунок 6 – Схеми рельєфного зварювання

При рельєфному зварюванні, процес відбувається аналогічно точковому зварюванню. На рис. 6 електроди показані у вигляді плит 1 і 4 із зусиллям притискання P . Основна плита 3 знаходиться знизу, а до неї приварюються листові деталі 2 (рис. 6, а) та плита 5 (рис. 6, б).

При точковому та рельєфному зварюванні, точки можуть розміщуватись паралельно одна другій, або в шахматному порядку.

Шовне зварювання утворює безперервний шов за допомогою одного або декількох обертових електродів (рис.7, а, б).

З'єднані деталі 1 стискаються під дією сил притискання P електродів, які виготовлені у вигляді валиків 2 (рис.7, а), або ж один із них у вигляді плити 3 (рис.7, б). Під час руху з'єднаних деталей 1, на електроди постійно подається напруга.

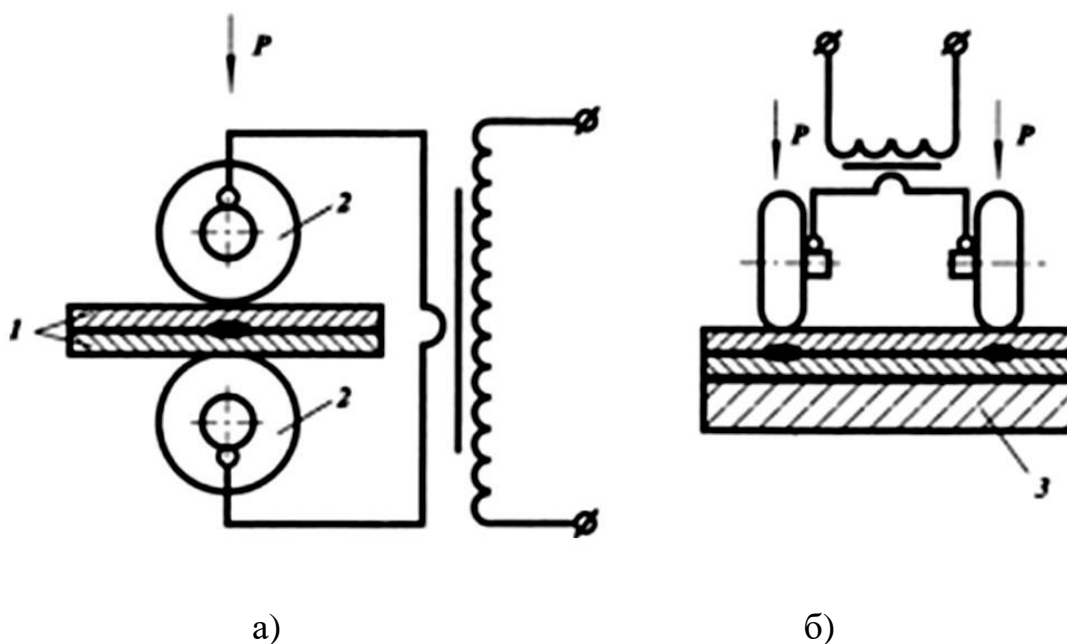


Рисунок 7 – Схеми шовного зварювання: а – з нижнім катком; б – з нижньою плитою

Слабкими ділянками в зварних з'єднаннях можуть бути шви, зони термічного впливу і оплавлення. Протяжність цих зон і властивості металу в них

залежать від матеріалів, що з'єднуються та режиму зварювання. Через неоднорідність механічних властивостей зазначених зон знижуються міцність і пластичність самих сполук. При конструюванні зварних з'єднань необхідно забезпечити рівномірність шва з основним металом при заданих навантаженнях (рис. 8). При розрахунку зварного з'єднання, за основне допустиме напруження беруть допустиме напруження при розтягуванні $|\sigma_p|$. При інших видах навантаження допустимі напруження визначають залежно від основного. Наприклад, допустиме напруження при стисканні дуже часто приймають рівним допустимому напруженню при розтягуванні: $|\sigma_{cm}| = |\sigma_p|$, а допустимі напруження при зрізі $|\tau'|$ зазвичай вибирають в межах $0.5 \dots 0.65 |\sigma_p|$.

У стикових з'єднаннях (рис.1, а) шви розраховують за формулою:

$$\sigma = F/A = F/(l\delta) \leq |\delta|, \quad (4.1)$$

де σ – розрахункове напруження в зварному шві; F – навантаження на шов; l – довжина шва; δ – розрахункова товщина шва, що дорівнює найменшій товщині зварюваних деталей; $|\sigma|$ – допустиме напруження на розтяг у звареному шві.

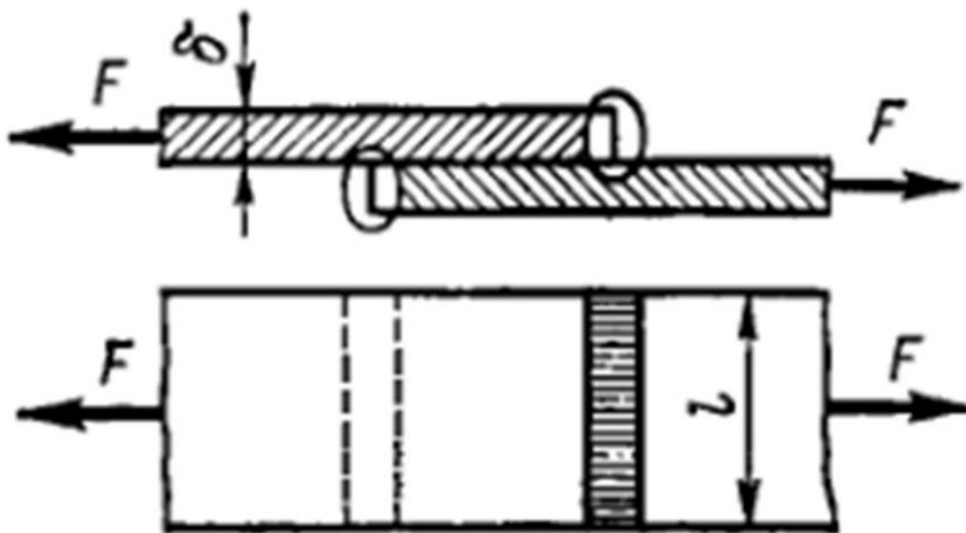


Рисунок 8 – Розтягуючі сили в зварному з'єднанні

Менше значення беруть при точковому зварюванні. Найбільшу міцність при змінних навантаженнях мають стикові з'єднання з прямими і косими швами. Нахлистові з'єднання виходять менш міцними через концентрацію напружень як у самих швах, так і в основному металі навколо швів внаслідок нерівномірності розподілу зусиль. Для підвищення міцності зварних з'єднань часто застосовують додаткову механічну або термічну обробку виробів, що дозволяє значно знизити залишкові напруги. У нахлистових з'єднаннях (рис. 1, б), для розрахунку лобових і флангових швів (рис. 8) користуються формулою:

$$\tau = F/(2lh) \leq |\tau'|, \quad (4.2)$$

де, τ – розрахункове дотичне напруження;

h – розрахункова висота шва, $h \approx 0,7\delta$;

l – довжина шва;

$|\tau'|$ – допустиме напруження на зріз у звареному шві.

За аналогією, при необхідності, проводять розрахунки і решти типів з'єднань. При незначних навантаженнях силові розрахунки не проводять. В таких випадках проводяться лише перевірочні розрахунки.

Зварювання полімерів і пластмас виконують шляхом нагрівання зварних деталей до пластичного в'язкотекучого стану і з'єднанням їх під тиском.

При зварюванні нагрітим газом, розігрівають струменем гарячого повітря або іншого газу зварювані кромки деталей і присадковий матеріал до температури зварювання, після чого присадковий пруток вдавлюють в розділку шва. При зварюванні матеріалу значної товщини в розділку шва послідовно укладають декілька присадкових прутків. При з'єднанні деталей товщиною менше 4 мм, як правило, зварювання проводять без розділки кромки листів. При більшій товщині застосовують X- і V- подібні способи підготовки шва під кутом 60° . Причому X-подібні шви міцніші.

Для зварювання плівок м'яких і жорстких полімерів і пластмас товщиною не більше 2 мм деталі розігрівають за допомогою спеціального електронагрівача

до в'язкотекучого стану, а потім з'єднують зварюванням. Цей метод, до речі, малопродуктивний, так як вимагає певних затрат часу на нагрів, регулювання температури і охолодження шва після зварювання.

При зварюванні струмами високої частоти, з'єднувані деталі нагрівають у високочастотному електричному полі. Після розігріву кромки деталей до пластичного стану їх стискають для утворення міцного з'єднання. В результаті такого зварювання отримують безперервний, міцний і герметичний шов.

При зварюванні тертям нагрівають кромки зварюваних деталей до пластичного стану теплотою, що виділяється при терті поверхонь одна в другу. Перевага даного методу полягає у відсутності необхідності в підготовці поверхонь перед зварюванням, а також у швидкості зварювання.

При зварюванні ультразвуком електричні коливання, що виробляються генератором, перетворюються в механічні коливання робочого інструменту (хвилеводу), а виникаючі в зварюваних деталях високочастотні механічні коливання – в теплоту, яка йде на нагрів і зварювання матеріалів. Цей метод є універсальним і перспективним при зварюванні полімерів і пластмас.

4.1.2 З'єднання пайкою

При паянні з'єднання металічних деталей відбувається при допомозі розплавленого додаткового матеріалу – припою, що вводиться в місце з'єднання деталей. Пайка, як правило, не викликає змін механічних властивостей з'єднаних матеріалів і в них не виникають внутрішні напруження.

Процес пайки формує з'єднання, якому притаманні міжатомні зв'язки, які утворюються шляхом нагрівання матеріалів, що паяються, нижче за температуру їх плавлення, а також, змочування їх розплавленим припоєм, затікання припою в зазор між деталями з наступною його кристалізацією.

В техніці використовується значна кількість припоїв із різними фізичними та хімічними властивостями на основі різних елементів, зазвичай з класу металів,

наприклад, олова, свинцю, міді, цинку, кадмію, нікелю, індію, сурми, тощо, та інших речовин, зазвичай оксидів, як, наприклад, у припоях для пайки скла.

При ручному паянні широке розповсюдження знайшли припої на основі олов'яно-свинцевих сплавів. Враховуючи негативний вплив на довкілля свинцю, в промислових потребах дуже обмеженим є використання таких припоїв. З цієї причини здійснюється поступовий перехід на безсвинцеві припої, які, однак, з різних причин є менш придатними для ручного застосування.

За різними властивостями припої можуть поділятися на жароміцні, теплостійкі, кислотостійкі, спечені, композиційні, тощо.

Класифікують припої і за температурами плавлення. Так, м'які припої поділяються на:

- особливо легкоплавкі (менше 145°C);
- легкоплавкі (від 145 до 450°C).

Паяння такими припоями є м'яким чи низькотемпературним. Найпопулярніші в даній категорії сплави мають температури плавлення від 180 до 190°C. Як правило, ручне паяння м'яких припоїв здійснюється із застосуванням паяльника або паяльної лампи.

Тверді припої, це припої з температурами плавлення вищими за 450°C називаються твердими, і відповідно до температур плавлення поділяються на:

- середньоплавкі (від 450 до 1100°C);
- високоплавкі (від 1100 до 1850°C);
- тугоплавкі (понад 1850°C).

Паяння з використанням таких припоїв називається твердим або високотемпературним, а інколи срібним. Найчастіше, як тверді припої, виступають сплави міді з цинком або із сріблом.

Срібний припій часто застосовується у виробництві для з'єднання металевих деталей, зварювання яких є, з різних причин, неможливим. Сплави, що використовуються при цьому, містять значну частку срібла (до 40%) і можуть містити кадмій.

Для видалення окислів із поверхні паяного матеріалу та припою і в інших цілях попередження їх утворення застосовують флюси, які розділяють на низькотемпературні (нижче 450°C) і високотемпературні (вище 450°C).

В сучасному виробництві, процеси паяння відбуваються в автоматичному режимі з одночасним флюсуванням, паянням та контролем паяного з'єднання на відповідних автоматах чи роботизованих стендах та комплексах (рис. 9).

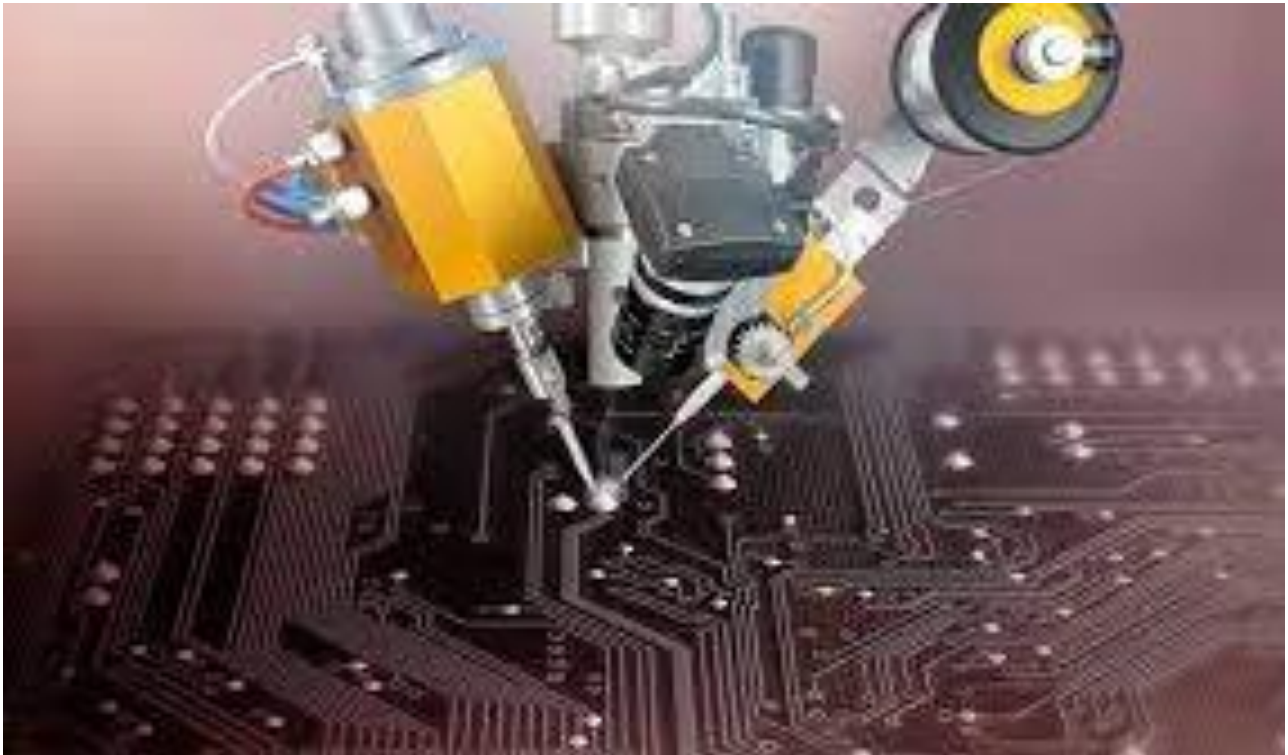


Рисунок 9 – Селективна паяльна головка

М'які припої можуть бути використані для пайки всіх матеріалів в різновидності сполучень із застосуванням флюсів. Виконувати пайку встик м'якими припоями не рекомендується, так як з'єднання буде недостатньо міцним. При цьому необхідно застосовувати додаткові види з'єднань, наприклад, розвальцювання, зварку або обжимку дротів. Використовуючи тверді припої, отримують більш стійкі з'єднання, не нижчі за міцністю від основного матеріалу, і в цьому випадку деталі можна з'єднувати встик або внахлистку.

Для паяння твердими припоями, часто застосовують, для прогріву паяних стиків, установки із струмами високої частоти або відкрите полум'я (рис. 10). При цьому, в якості припою, використовують відповідні пасти.



Рисунок 10 – Паяння твердими припоями відкритим полум'ям

Міцність паяних з'єднань залежить від великої кількості факторів, в тому числі і від механічних властивостей припоїв, які на даний час вивчені недостатньо. Через це, при наявності даних про механічні властивості паяного шва, можна провести розрахунок із умови рівномірності шва і основного матеріалу за формулами:

– для з'єднання внахлистку

$$b = (\sigma_p / \tau_{3p}^1) \delta, \quad (4.3)$$

– для з'єднання встик

$$b = (\sigma_p / \sigma_p^1) \delta, \quad (4.4)$$

де, b – ширина паяного шва;

δ – найменша товщина з'єднуваних деталей;

σ_p – межа міцності на розрив матеріалу з'єднуваних деталей;

$\sigma_p^1, \tau_{зр}^1$ – відповідно, межі міцності на розрив і зріз паяних швів.

4.1.3 З'єднання заклепуванням

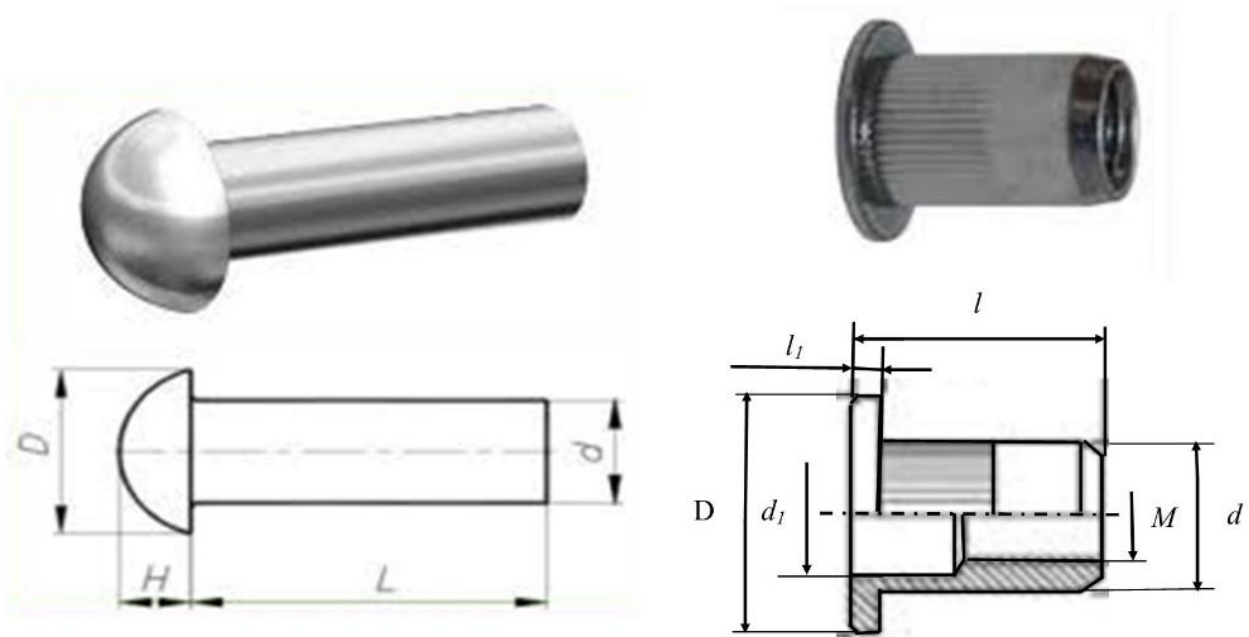
З'єднання *заклепуванням* утворюють за допомогою заклепок (рис. 11) або безпосереднім розклепуванням кінця однієї деталі в другій.



a)



б)



в)

Рисунок 11 – Заклепки: а – циліндричні суцільні; б – трубчаста з насічкою та різьбою; в – геометричні параметри заклепок

Якщо з'єднання призначене для передачі обертальних моментів, то посадочну площину заклепки роблять квадратною або шестикутною. Матеріал заклепки повинен мати хороші пластичні властивості. При виборі матеріалу заклепок необхідно враховувати наступне: бажано, щоб матеріали з'єднуваних деталей і заклепки були однаковими; неприпустимо вибирати таке поєднання матеріалів, яке приводило би до утворення гальванічних пар, наприклад, алюмінієві вироби – мідні заклепки.

Для забезпечення міцного з'єднання, застосовують заклепки звичайні циліндричні суцільні (рис. 11, а; та 12, а), для полегшеного з'єднання – циліндричні трубчасті (рис. 11, б; та 12, б).

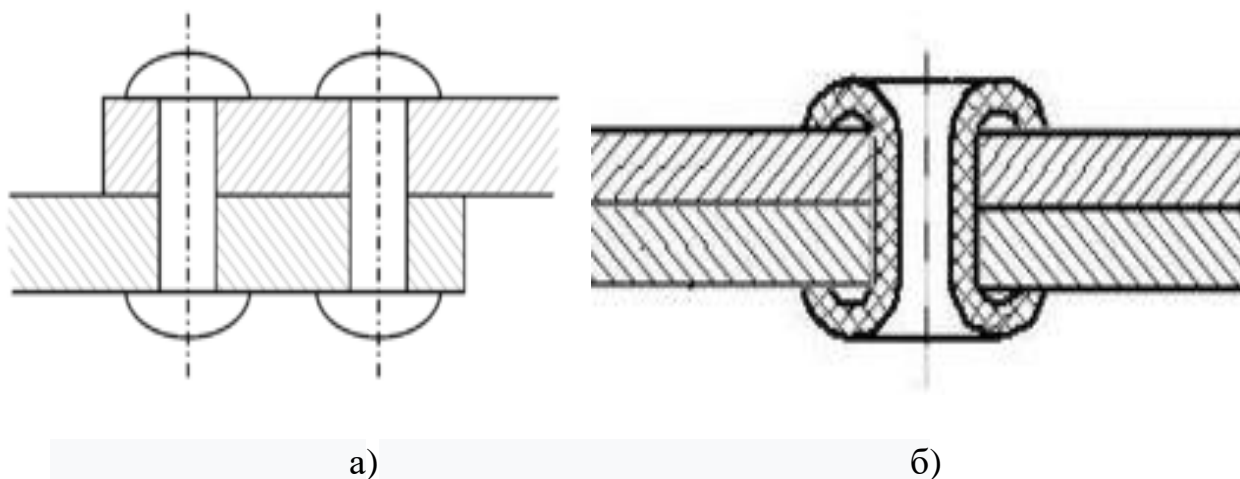


Рисунок 12 – З'єднання заклепками: а – суцільними; б – трубчастою

Заклепкові з'єднання мають свої переваги в наступних умовах:

- при наявності суттєвих вібраційних навантажень у відповідальних конструкцій;
- у з'єднаннях, нагрівання яких при зварюванні недопустиме через небезпеку відпуску термооброблених деталей чи температурних їх деформацій;
- для з'єднання деталей, що не підлягають зварюванню.

Проте, заклепкові з'єднання мають і ряд недоліків:

- трудомісткість процесу. Процес створення з'єднання вимагає свердління отворів, встановлення заклепок, клепки, котра мало піддаються автоматизації;
- підвищена матеріалоемкість з'єднання. З'єднання ослабляє основну деталь, тому її слід робити товстішою. Навантаження припадає на заклепки, тому їх сумарний переріз повинен відповідати навантаженню;
- недостатня герметичність з'єднання, що вимагає додаткових затрат на герметизацію конструкцій;
- монтаж супроводжується шумом і вібрацією.

За взаємним розташуванням з'єднаних деталей розрізняють шви *внапуск* і *встик* (рис. 13). Останні виконують за допомогою однієї чи двох накладок.

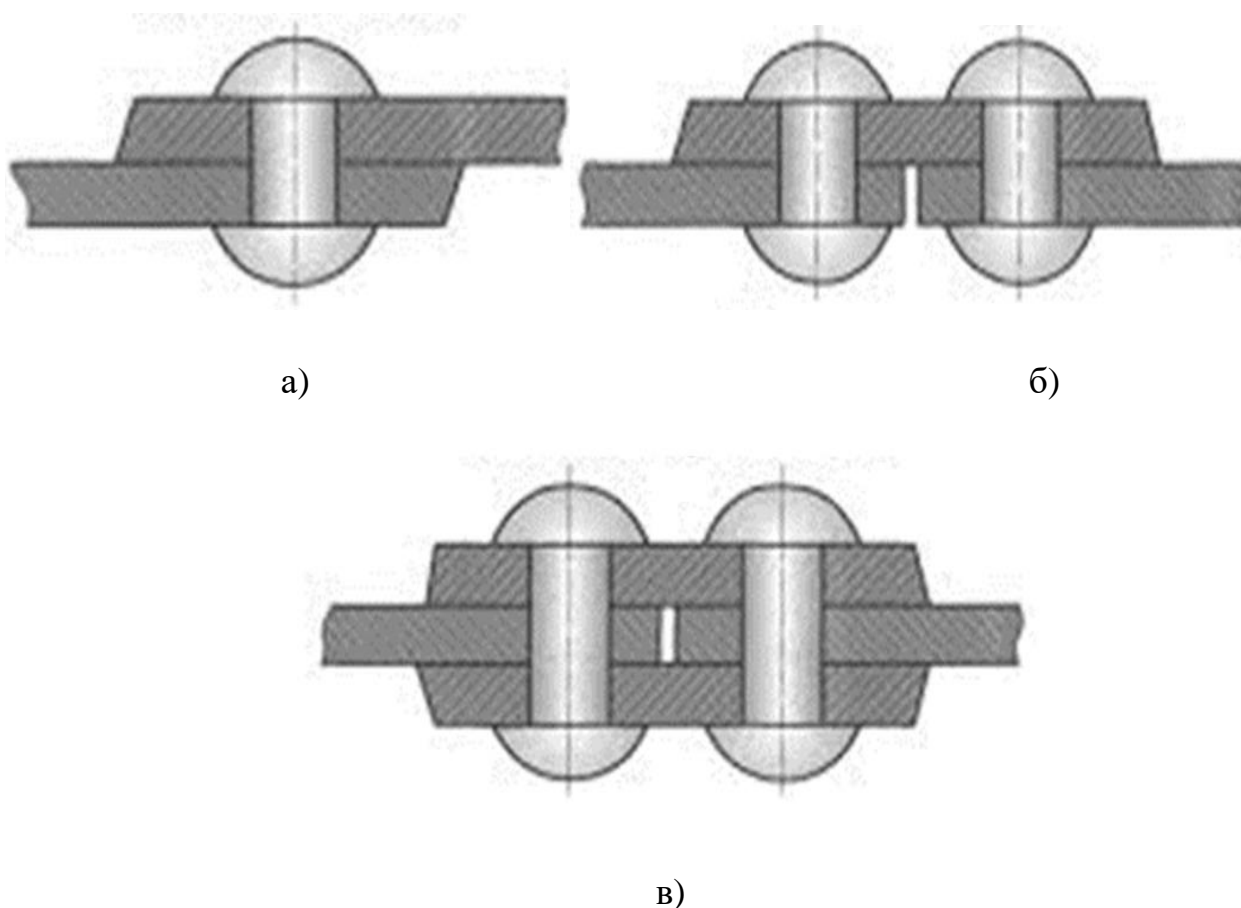
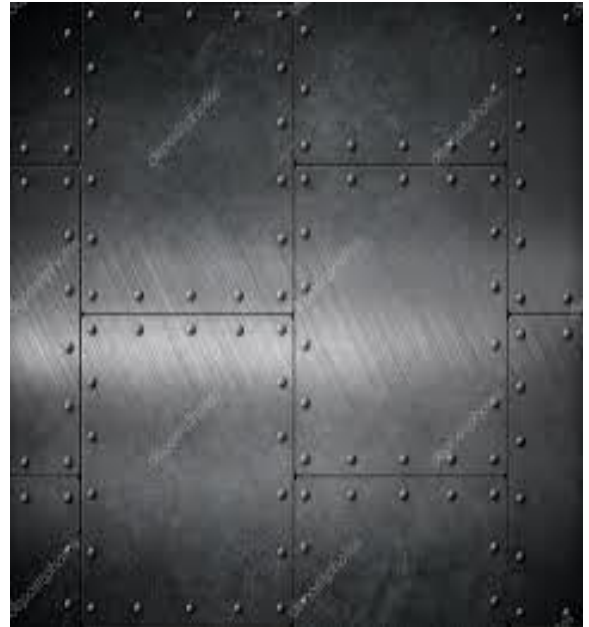


Рисунок 13 – З'єднання заклепкою: а – внапуск однією заклепкою; б – встик з однією накладкою; в – встик з двома накладками

За конструкцією заклепкові з'єднання поділяються на *однорядні* та *багаторядні* з розміщенням заклепок рядами чи у шаховому порядку (рис. 14). У залежності від числа зрізів шви називають *однозрізними*, *двозрізними* чи *багатозрізними*.



а)



б)

Рисунок 14 – Заклепкові шви: а – однорядні; б – багаторядні

Для полегшення встановлення заклепки діаметр отворів у з'єднаних деталях виконують більшим на 0,5...1 мм за діаметр стержня заклепки перед монтажем. Отвори під заклепки виконують в металевих деталях товщиною до 25 мм методом обробки тиском, у решті випадків – свердлять. Клепання сталевими заклепками діаметром до 10 мм, а також заклепками з латуні, міді і легких сплавів усіх діаметрів виконуються холодним способом, а іншими заклепками – гарячим способом. Для фіксації з'єднаних деталей використовують центрувальні штифти або спеціальні установчі пристрої.

При розрахунках швів на міцність можливі два випадки: 1) перевірочні розрахунки заклепок і деталей; 2) розрахунки із умови рівномірності з'єднання. В переносному випадку за конструктивними міркуваннями вибирають тип шва, форму заклепки, матеріал, діаметр і кількість заклепок, і визначають відповідні напруження, порівнюючи їх з допустимими.

Таблиця 1 – Перевірочні розрахунки заклепок і деталей

Вид деформації	З'єднання однією заклепкою	Багаторядний шов
Зріз стержня заклепки	$\tau_{зр.з} \leq \frac{4F}{\pi d} \leq \tau _{зр.з}$	$\tau_{зр.з} \leq \frac{4F}{z\pi d^2} \leq \tau _{зр.з}$
Зминання (при однаковому матеріалі, на зминання перевіряють деталь)	$\sigma_{зр.з} \leq \frac{4F}{d\delta} \leq \sigma _{зр.з},$ або $\sigma_{зр.д} \leq \frac{4F}{d\delta} \leq \sigma _{зр.д}$	$\sigma_{зр.з} \leq \frac{F}{zd\delta} \leq \sigma _{зр.з},$ $\sigma_{зр.д} \leq \frac{F}{zd\delta} \leq \sigma _{зр.д}$
Розрив (по січенню а-а)	$\sigma_{р.д} \leq \frac{F}{(b-d)\delta} \leq \sigma _{р.д}$	$\sigma_{р.д} \leq \frac{F}{(b-d)\delta z} \leq \sigma _{р.д}$
Зріз деталі (по площині а ₁ -а ₁)	$\tau_{зр.д} \leq \frac{F}{2(l-\frac{d}{2})\delta} \leq \tau _{зр.д}$	$\tau_{зр.д} \leq \frac{F}{(l-\frac{d}{2})2\delta z} \leq \tau _{зр.д}$
<p>Z – кількість заклепок; τ і σ – допустимі напруження (матеріалу); b – ширина деталі; d – діаметр заклепки; δ – товщина деталі; F – зусилля, що діє на шов</p>		

4.1.4 Клеї і клеєві з'єднання

Склеювання – метод створення нероз'ємного з'єднання елементів конструкцій за допомогою клеїв. Процес склеювання ґрунтується на явищі адгезії – зчеплення в результаті фізичних і хімічних сил взаємодії клею з різними матеріалами за певних умов.

Метод придатніший, ніж зварювання, для з'єднання різнорідних матеріалів, тому що дозволяє зберегти структуру і властивості деталей, які склеюються і з'єднувати великі поверхні складної форми. Недоліки склеювання – значна тривалість робочого циклу і необхідність застосування складної багатоопераційної технології.

Одна з головних умов одержання міцного клейового з'єднання – висока адгезія клею до поверхонь, що склеюються. Для цього в першу чергу необхідне добре змочування клеєм поверхонь деталей. При поганому змочуванні до складу клею вводять спеціальні добавки, які, крім того, сприяють зниженню залишкових напружень в клейовому з'єднанні. Це забезпечує зростання міцності й довговічності з'єднання. Підвищенню міцності сприяє і підготовка поверхонь, які склеюються – наприклад, збільшення шорсткості за рахунок механічної або хімічної обробки, нанесення спеціальних підшарків, щільне притискання склеюваних поверхонь деталей на момент формування клейового з'єднання. Важливою умовою одержання високоміцного з'єднання є присутність в клеї і на поверхнях, які склеюються, полярних або здатних поляризуватися груп.

З'єднання деталей склеюванням застосовується як самостійне так в комбінації з іншими видами з'єднань і має наступні переваги: можливість з'єднання однорідних і різнорідних матеріалів (фарфору, скла, пластмас, металів і ін.) в різних сполученнях; з'єднання деталей малої товщини; рівномірне розподілення напружень; суттєве підвищення вібростійкості; низька вартість. Основними недоліками з'єднання склеюванням є їх низька теплостійкість і

міцність на односторонній відрив, явна залежність міцності клеєвого з'єднання від якості підготовки склеюваних поверхонь і режиму склеювання.

З'єднання склеюванням, як правило, добре працюють на відрив і гірше на розрив і зсув. В останньому випадку рекомендується застосовувати комбіновані з'єднання. Для забезпечення точності взаємного розміщення деталей при склеюванні в конструкціях передбачаються спеціальні фіксуючі елементи (виступи, впадини і т.п.). З'єднувані при склеюванні поверхні повинні бути взаємно рівними, добре підготовленими, наприклад, деталі із текстоліту, пластмас, шкіри тощо, повинні бути зачищені наждачним папером, із сталі – відшліфовані і т.д.

При виборі клею необхідно враховувати робочий інтервал напружень і температур експлуатації з'єднання. В залежності від спроможності працювати в тих чи інших температурних умовах клеї умовно розділяють на дві групи:

1) клеї загального призначення, що можуть задовільно працювати при нагріві до 60 – 80°C;

2) теплостійкі клеї, що можуть працювати при нагріві до 150 – 350°C.

В залежності від температури склеювання, використовують клеї холодного затвердіння, які не вимагають технологічного підігріву, і клеї гарячого затвердіння, які вимагають технологічного підігріву до 150 – 250°C.

4.1.5 Герметики

Герметики призначені для ущільнення, герметизації з'єднань, деталей виробів при роботі механізмів під дією температурних перепадів, тиску, опадів, води, пару, пилу і агресивних середовищ. Введені в зазори між деталями, вони захищають їх від газо-, волого- і паропроникності. Їх класифікують за природою базового полімеру, який відповідає за властивості герметизуючого матеріалу (пружність, довговічність, адгезія) і, відповідно, галузь використання герметиків дуже широка.

Застосовувані в техніці герметики поділяють на наступні основні групи:

- 1) вулканізуючі при кімнатній і більш низьких температурах;
- 2) невисихаючі;
- 3) висихаючі без вулканізації.

До першої групи герметиків належать тиоколові, силоксанові і фтормісткі.

Тиоколові герметики можуть експлуатуватись при температурах від -60°C до 130°C (довго), до 150°C (короткочасно). Вони мають високу стійкість до дії прісної і морської води, бензинів, мастил, розбавлених мінеральних кислот і лугів, але їх не рекомендується застосовувати в безпосередньому контакті із срібними, латунними і мідними деталями, так як в даному випадку відбувається потемніння поверхонь. Тиоколові герметики можна шприцювати, формувати і пресувати. Вони мають різний колір (як правило чорний або сірий). Добре чинять опір радіаційному опроміненню.

До недоліків тиоколових герметиків слід віднести малий опір розриву, недостатню стійкість до спрацювання, високу залишкову деформацію при стисканні, відсутність стійкості до взаємодії концентрованих кислот і лугів.

Силоксанові герметики зберігають фізико-механічні властивості при експлуатації в умовах тропічного клімату, різких перепадів температур (від -60 до 250°C) при тривалій експлуатації, вібрації і ультрафіолетовому опроміненні, характеризуються технологічністю. Силоксанові герметики менш радіоційностійкі ніж тиоколові.

Недоліками силоксанових герметиків є: низькі рушійні напруження при розтягуванні, низький опір розриву, відшарування і стирання.

Фтормісткі герметики, на відміну від силоксанових, застосовують при роботі виробів в контакті з вуглеводневим паливом і мастилами. За рештою властивостей різниці між фтормісткими і силоксановими герметиками немає.

Невисихаючі герметики застосовуються для ущільнення роз'ємних з'єднань, що працюють під тиском або у вакуумі. Рекомендований діапазон експлуатаційних температур у межах від -60 до 100°C .

Висихаючі герметики використовуються для герметизації як роз'ємних, так і нероз'ємних з'єднань. Герметики цього типу мають велику усадку внаслідок вивітрювання розчинника. В залежності від призначення ці герметики поділяють на дві групи: 1) теплопаливостійкі; 2) теплостійкі. Герметики першої групи призначені для герметизації болтових, заклепкових і інших з'єднань, що стикаються з повітрям, паливом і водою. Інтервал температур експлуатації від -50 до 100°C. Друга група герметиків призначена для роботи в діапазоні температур від -70 до 70°C. Ці герметики недостатньо стійкі до атмосферних явищ і їх не рекомендується використовувати на світлі.

Анаеробні герметики займають особливе місце. В залежності від складу і властивостей вони можуть виконувати функції і клеїв і герметиків. Анаеробні герметики мають високу міцність при зсуві, стисканні, добре ущільнюють деталі при високому вакуумі, прості в застосуванні, не дають усадки, мають малу в'язкість і властивість самовсмоктуватись в дрібні щілини без тиску. Вони можуть бути використані для герметизації дрібних дефектів в литті, прокаті, зварних швах, мають високі антикорозійні властивості по відношенню до металів. Анаеробні герметики можуть експлуатуватись в широкому діапазоні температур (від -250 до +300°C). Вони хімічно стійкі до дії різних середовищ (мастильних матеріалів, води, кислоти, лугів, газів і т.д.), стійкі до дії ударів і вібрації, стійкі до тиску і спрацювання.

Вони розділяються на дві групи: одно – і двокомпонентні та застосовуються для контровки і ущільнення різьбових з'єднань, фіксування положення штифтів без нерухомих посадок, закріплення втулок, зубчастих коліс, ущільнення підшипників ковзання, кріплення роторів на валах малого діаметру і т. д. Застосування анаеробних герметиків дозволяє виключити шайби, шплінти, контргайки, зменшити масу виробу, одночасно збільшивши його надійність, знизити точність обробки металів і вартість виробу. Склад анаеробних герметиків багаточисельний і різний. Вони випускаються у вигляді рідини різного кольору і в'язкості.

4.1.6 Клеєзварні і клеєклепані з'єднання

Для підвищення корозійної стійкості зварних і клепанних з'єднань, покращення їх демпфуючих властивостей при роботі під дією вібрації, ударів і тряски, для більш різноманітного розподілення напружень по швах, зниження вартості виробництва в них вводять клей і отримують клеєзварні і клеєклепані з'єднання. Так, клеї або герметики вводять в з'єднання до чи після точкової зварки, при цьому міцність з'єднання залежить не від способу їх введення, а від товщини зварюваних листів. Практика експлуатації таких з'єднань показує, що вони можуть застосовуватись тільки при зварюванні листів із алюмінієвих, титанових, магнієвих сплавів і сталей товщиною менше 4 мм, причому чим тонші зварювані листи, тим вища міцність з'єднання. Застосовують різні клеї холодного та гарячого затвердіння.

При точковому зварюванні по попередньо нанесених клеях холодного і гарячого затвердіння міцність з'єднання значно підвищується. Так, межа міцності клеєзварних з'єднань із магнієвих сплавів виростає в порівнянні із звичайними зварними швами в декілька разів.

При шовному зварюванні для утворення клеєзварних з'єднань, слід застосовувати спеціальні пасти, наприклад, АЛКМ-1 і КСП-1, так як при зварюванні виникає нагрів деталей до високих температур і, як наслідок, вигорання клею. При введенні клею в зазор між деталями після точкового зварювання можна використовувати, наприклад, клеї ВК-1М6, ВК-39, при цьому можливе неповне проклеювання деталей (до 30%). При нанесенні на поверхню зварних швів, отриманих зварюванням плавлення клеїв, значно підвищується герметичність і циклічна міцність з'єднання.

Для герметизації з'єднань, які працюють при температурах від 50 до 150°C, застосовують анаеробні композиції холодного (ВАК-5А) або гарячого (ВАК-5Б) затвердіння та ін.

4.1.7 Замазки

Замазки застосовують як для отримання самостійних, так і для ущільнення існуючих з'єднань, а також щілин, дрібних отворів, нещільностей і т.п. Замазки поділяють на швидкосхоплювані і плавкі (твердіючі та нетвердіючі). В техніці до замазок висуваються такі основні вимоги: вони повинні мати малу усадку (незначну зміну свого об'єму при затвердінні), задовільну адгезію. Тепловий коефіцієнт розширення замазки не повинен значно відрізнятись від теплового коефіцієнту розширення матеріалів деталей, що з'єднуються; матеріал замазки повинен бути хімічно нейтральним по відношенню до матеріалів деталей що з'єднуються, негігроскопічним, швидкотвердіючим (для швидкосхоплюваних замазок) і значний час зберігати свої пластичні властивості (для плавких замазок).

Швидкосхоплювані замазки застосовують для з'єднання фарфору із фарфором, фарфору, скла, мармуру з металами тощо. Швидкосхоплювані замазки широко використовують для з'єднання металічної арматури з неметалічними деталями.

Плавкі замазки застосовують для ущільнення фланцевих і різьбових з'єднань, скла, для стопоріння дрібних деталей кріплення. До цих замазок належать сургуч, каніфоль, віск і менделеевська замазка.

З'єднання замазками не витримують значних механічних навантажень, тому їх слід застосовувати там, де інше з'єднання неможливе. Із всіх видів навантажень замазки краще всього витримують стискання.

4.1.8 З'єднання заформовкою

Заформовка – нероз'ємне з'єднання деталей, яке відбувається шляхом їх заливки або запресовки в пластмасу, метал або гуму (рис. 15). Заформовку

деталей в пластмаси використовують для ізоляції струмонесучих деталей, для запобігання їх від корозії, зменшення маси і т.п.

Міцність з'єднання залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу деталі і формуючого матеріалу, від розмірів і форми деталі.

Для забезпечення міцності з'єднання, в деталях використовують отвори, пази, канавки та інші конструктивні елементи, котрі заповнюють формуючим матеріалом. Для запобігання провертання деталей, часто застосовують прямі і сітчасті рифлення. З'єднання металічних деталей з металом відбувається литтям під тиском. Температура плавлення литтєвих сплавів повинна бути нижча від температури плавлення матеріалів заформованих деталей.

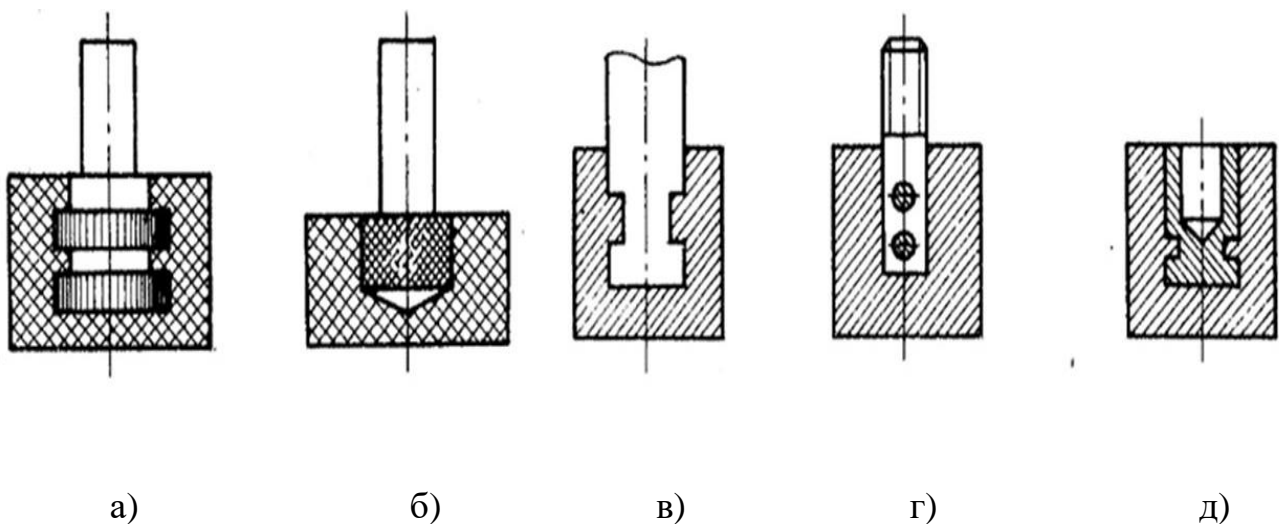


Рисунок 15 – Приклади заформування: а, б – запобігання деталей від провертання за допомогою рифлень; в, г, д – заформування металевих деталей в метал

4.1.9 З'єднання деталей з натягом

З'єднання деталей з гарантованим *натягом* відбувається за рахунок сил пружності при деформації деталей. За допомогою натягу (різниці посадочних

розмірів з'єднаних деталей) можна з'єднати деталі з циліндричними і конічними поверхнями контакту. Перед запресовкою діаметр охопленої деталі (вала) більше діаметру охопної (деталі з отвором). Різниця дійсних розмірів визначає натяг.

В техніці застосовуються два види з'єднань з натягом: гладкої деталі в гладкий отвір; накатаної деталі в гладкий отвір.

При запресовці накатаних валів в гладкий отвір, матеріал валів вибирають міцніший.

4.1.10 З'єднання розвальцюванням, завальцюванням, поясками, лапками, фальцями

З'єднання *розвальцюванням* і *завальцюванням* відбувається за рахунок деформації однієї із деталей.

В техніці *розвальцювання* застосовують, як спосіб, для жорсткого кріплення (нероз'ємне з'єднання) (рис. 16), наприклад, ніжок до плат, стійок до корпусів і т.д. методами силового деформування частин деталей (рис. 17).

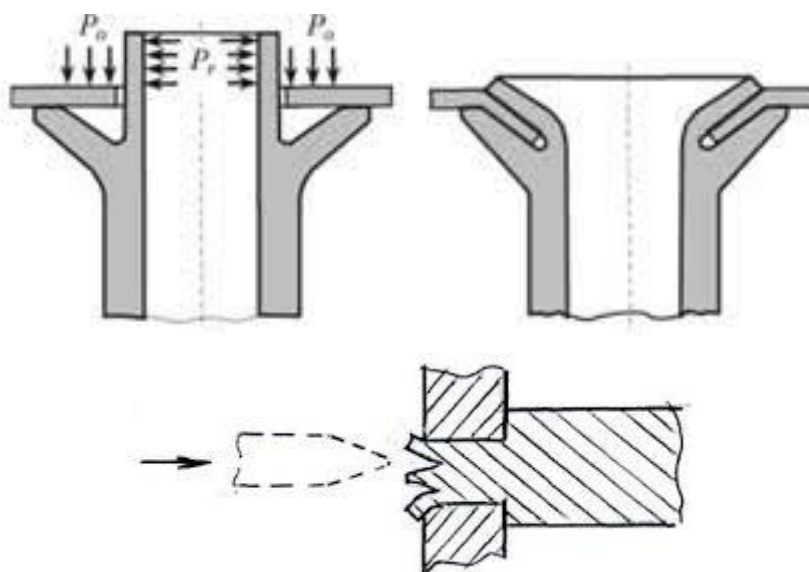


Рисунок 16 – З'єднання розвальцюванням жорстке



Рисунок 17 – Отримання нероз'ємного з'єднання розвальцюванням

Також, *розвальцювання* застосовують для підготовки, як роз'ємного з'єднання, наприклад, мідних трубок у рідинних та повітряних трубопроводах (рис. 18), спеціальними пристосуваннями (рис. 19), так і для нероз'ємного з'єднання (рис. 20), отриманого, наприклад, методами паяння (рис. 20).



Рисунок 18 – Розвальцьовані деталі для роз'ємного з'єднання



Рисунок 19 – Пристосування спеціальні для розвальцювання



а)



б)



в)

Рисунок 20 – Нероз’ємне з’єднання: а, б – розвальцьовані деталі; в – паяне з’єднання

Завальцювання застосовують для кріплення, наприклад, скла в корпусах, дрібномодульних зубчастих коліс на трибках, підшипників і т.д. як нероз’ємне з’єднання (рис. 21).

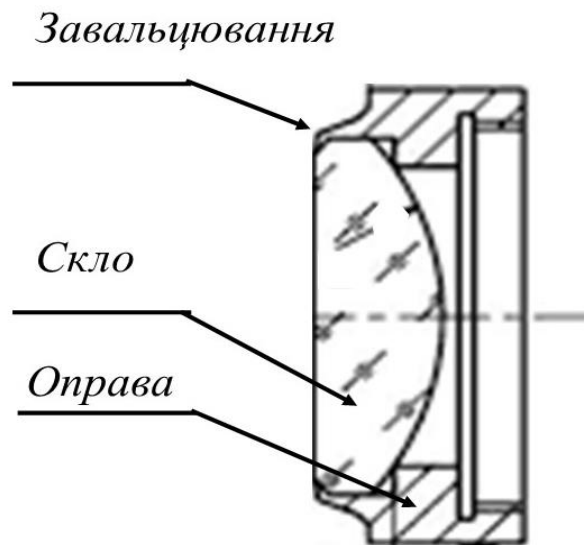


Рисунок 21 – З’єднання завальцюванням

З’єднання *поясками* застосовують для з’єднання двох круглих деталей стержневого типу (рис. 22). При цьому в деталях утворюються відповідні

заглибини у вигляді кільцевого пояска. Матеріал деталей, на яких формуються пояски, повинен бути достатньо пластичним (сталь 15, 20, мідь, алюмінієві сплави і т.д.).

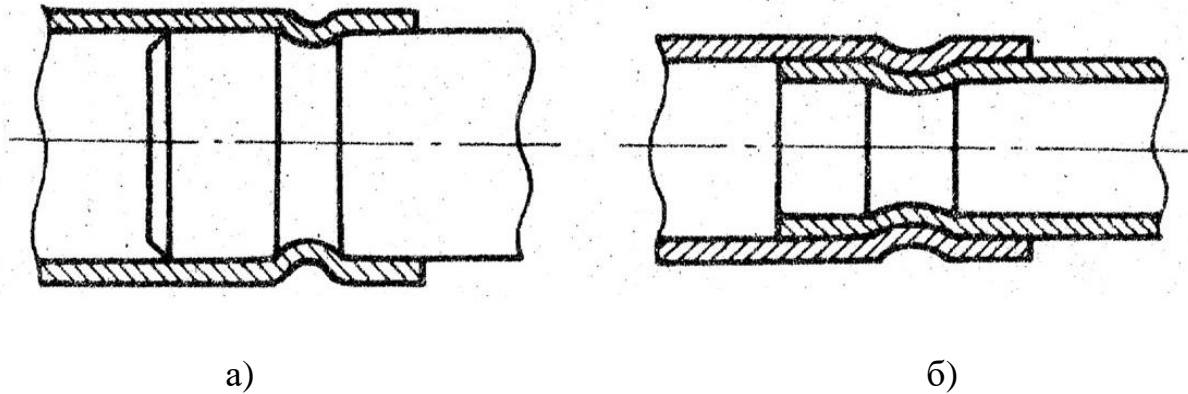


Рисунок 22 – З'єднання поясками на циліндрі: а – суцільному; б – пустотілому

З'єднання деталей *лапками* використовують для деталей, виготовлених із листового матеріалу, за допомогою спеціальних виступів – лапок, які загинаються або деформуються будь-яким способом (рис. 23). Таким чином можна з'єднати взаємно перпендикулярні або паралельні деталі.

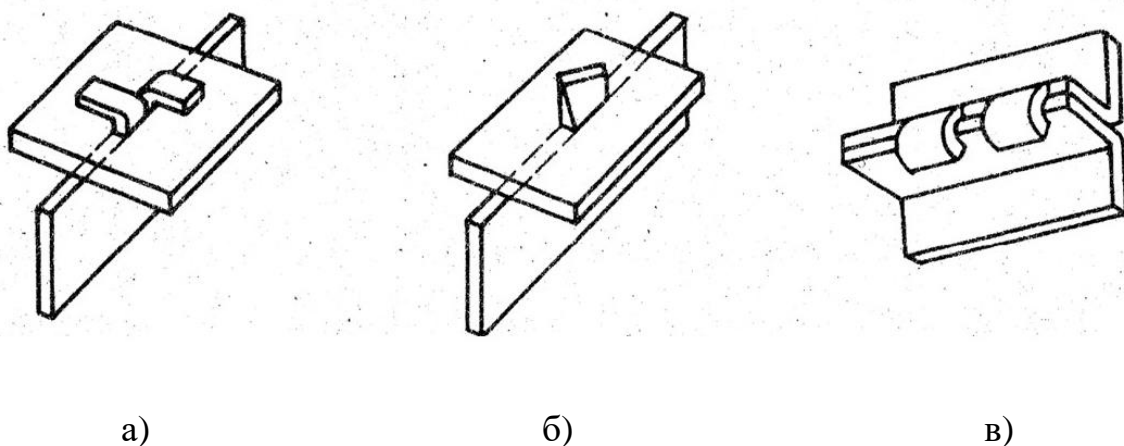


Рисунок 23 – З'єднання лапками: а – згинанням; б – провертанням;

в – загортанням

З'єднання *фальцями* застосовується для з'єднання деталей із м'якого листового матеріалу (рис. 24) товщиною до 0,8 мм. Для підвищення герметичності між деталями слід прокладати різні ущільнювачі.

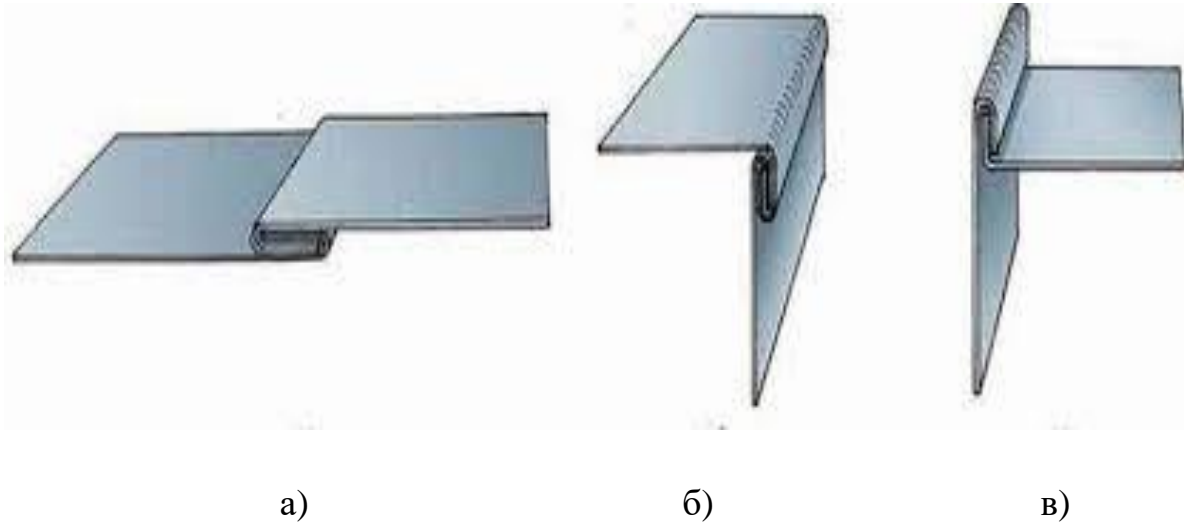


Рисунок 24 – З'єднання фальцями: а- горизонтальними: б, в – вертикальними

Фальц – шов, або частина шва, або перфорований шов на місці з'єднання. Фальцем з'єднуються, зазвичай, корпусні листові деталі, кришки, боковини, захисні кожухи, піддони і ін.

4.2 Роз'ємні з'єднання

Роз'ємним називають такі з'єднання при розбиранні яких деталі не пошкоджуються. До роз'ємних належать з'єднання різьбою, штифтами, шплінтами, шпонками, шліцами, а також безшпонкові і байонетні з'єднання.

4.2.1 З'єднання різьбою

Із усіх з'єднань, що застосовуються в техніці, різьбові займають основні позиції. Але, окрім з'єднувальних, вони можуть виконувати і ряд інших функцій.

Для повного розуміння цих з'єднань, необхідно використовувати відповідні джерела технічної інформації. У даному виданні проведено лише поверхневе знайомство зі з'єднувальними та іншими різьбовими елементами.

В техніці застосовують три типи різьб: метричну, дюймову і трубну.

Метрична різьба має трикутний профіль з плоско зрізаними вершинами (рис. 25), кут профілю рівний 60 градусам, діаметр і крок обчислюється в міліметрах.

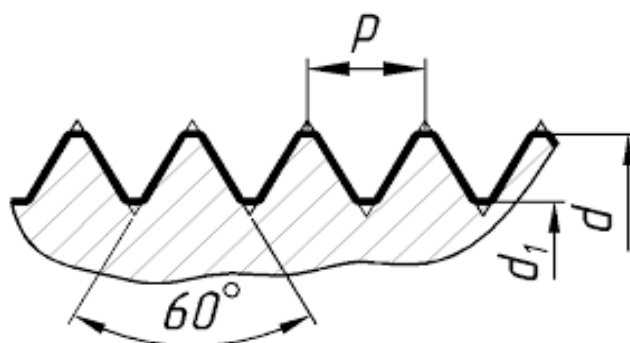


Рисунок 25 – Різьба метрична

Застосовують метричні різьби, зазвичай, для кріплення (рис. 26): з великим кроком – при значних навантаженнях (болти, гайки, гвинти), з малим кроком – при малих навантаженнях і тонких регулюваннях.

Дюймова різьба має трикутний плоскозрізаний профіль з кутом 55 градусів (різьба Вітворта) або 60 градусів (різьба Селлерса). Всі розміри цієї різьби вимірюються в долях дюйма (1 дюйм = 25,4 мм), а замість кроку вказується число ниток на довжині в 1 дюйм.

Вона позначається так: однодюймова різьба (G), півтора дюймова різьба (1,5"), різьба у пів дюйма (1/2"), у чверть дюйма (1/4"), у три чверті дюйма (3/4") і т.п.

Дюймову різьбу використовують при виготовленні запасних частин з відповідними різьбовими з'єднаннями. Дюймові та метричні різьби не взаємозамінні.



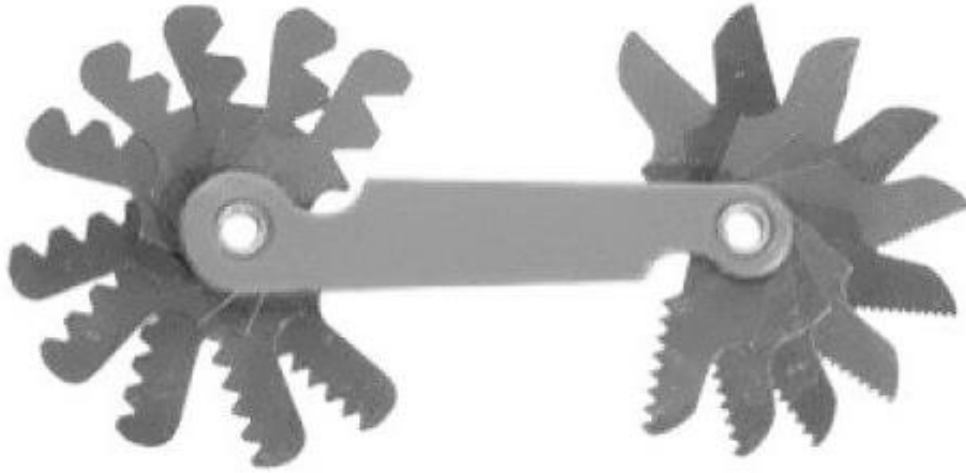
Рисунок 26 – Різьбові деталі кріплення

Трубна різьба, як і дюймова, має профіль з кутом 55 градусів. Вона застосовується переважно у газових і водопровідних трубах, а також у муфтах, які служать для щільного з'єднання цих труб. З тою ж метою застосовують і конічні різьби (рис. 27). Розмір кроку різьби можна визначити за допомогою масштабної лінійки, вимірявши довжину певної ділянки і поділивши отримане значення на кількість витків на цій ділянці.



Рисунок 27 – Різьба конічна

Для контролю кроку і кута профілю різьби використовують набір шаблонів-різьбомірів (рис. 28). На кожному є гребінка певного кроку і кута профілю та відповідне позначення.



а)



б)

Рисунок 28 – Контроль різьби: а – шаблон-різьбомір; б – процес заміру

Прикладанням гребінки до різьби, що перевіряється, визначають основні її геометричні параметри, якими є профіль та крок.

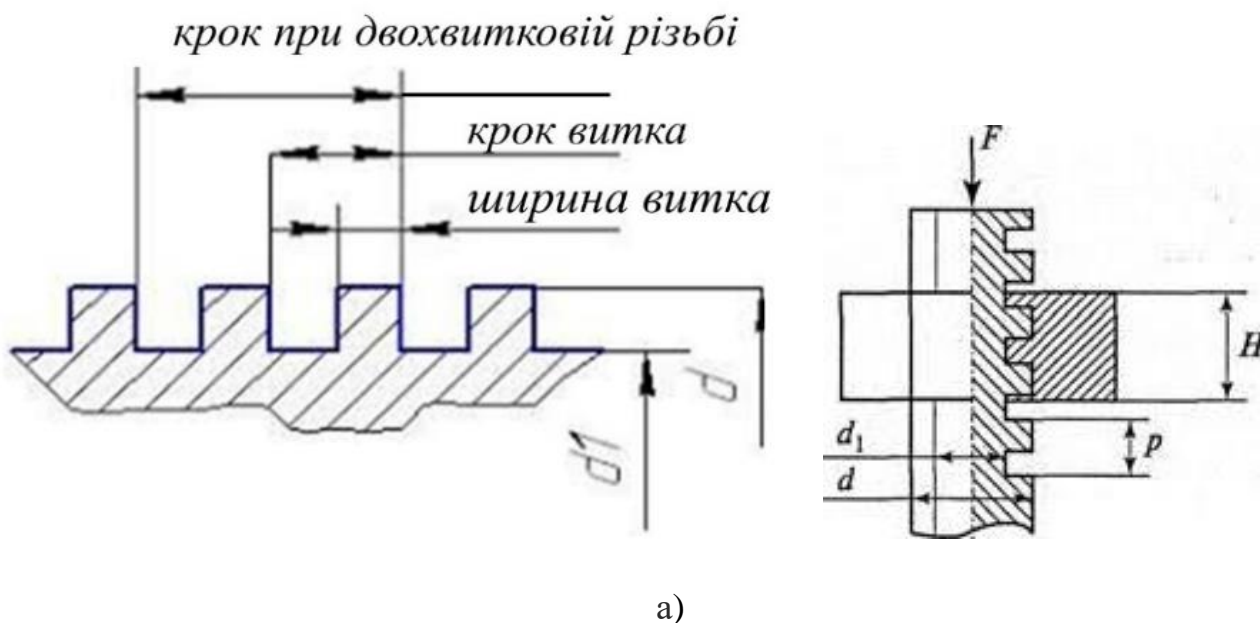
Різьби класифікуються за: напрямом гвинтової лінії; формою профілю; розміщенням на деталі; характером поверхні; а також за призначенням і числом заходів.

Прийоми нарізування різьби, і особливо різальний інструмент, що при цьому застосовується, багато в чому залежать від виду і профілю різьби.

Профілем різьби називається переріз її витка площиною, що проходить через вісь циліндра або конуса, на якому нарізано різьбу.

За профілем різьби поділяють на циліндричні трикутну, прямокутну, трапецеїдальну, упорну та круглу. Найбільшого застосування набула трикутна різьба – метрична (див. рис. 25), її ще називають кріпильною. Таку різьбу нарізають на кріпильних деталях, наприклад, на гвинтах, шпильках, болтах і гайках. До трикутних також належать циліндричні трубна, дюймова та конічне їх виконання.

Прямокутна різьба (рис. 29) має прямокутний профіль і застосовується для перетворення обертального руху гвинта у поступальний рух гайки.

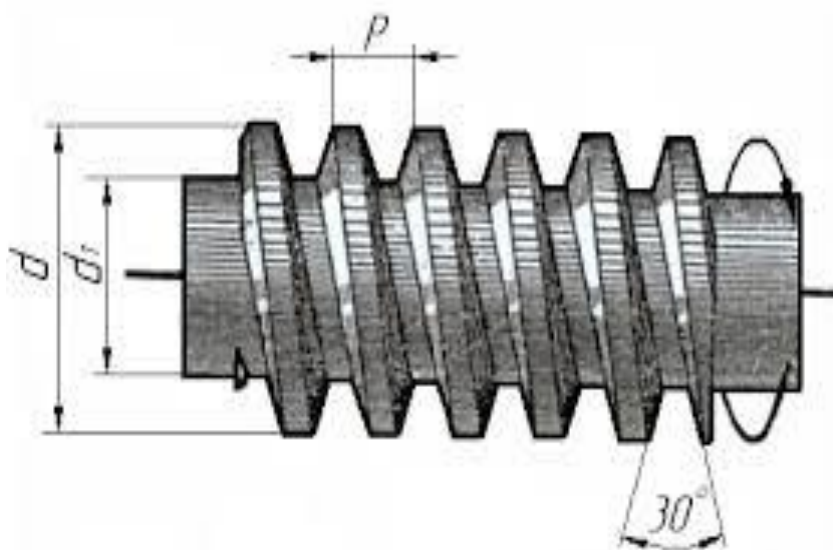




б)

Рисунок 29 – Різьба прямокутна: а – параметри різьби; б – ходовий гвинт із гайками

Трапецеїдальна різьба (рис. 30) має профіль у формі трапеції з кутом 30 градусів. Коефіцієнт тертя у ній малий. Така різьба застосовується для передачі руху і великих зусиль: у металорізальних верстатах, домкратах, пресах тощо.



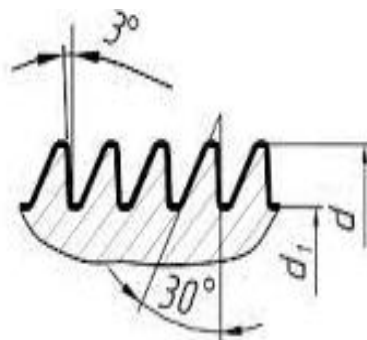
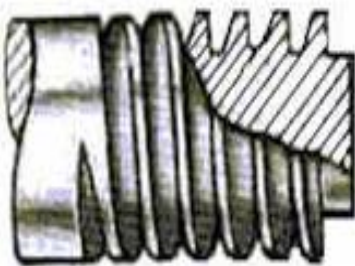
а)



б)

Рисунок 30 – Різьба трапецеїдальна: а – параметри різьби; б – шаблон заміру різьби

Упорна різьба (рис. 31) має профіль у вигляді нерівнобічної трапеції з робочим кутом при вершині 30 градусів. Застосовується тоді, коли гвинт має передати великі односторонні зусилля (в гвинтових пресах, домкратах тощо).



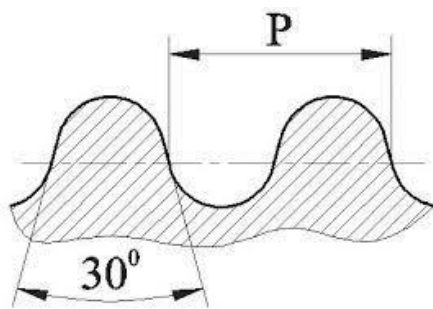
а)



б)

Рисунок 31 – Різьба упорна: а – параметри різьби; б – ходовий гвинт

Кругла різьба (рис. 32) застосовується у з'єднаннях з великими динамічними навантаженнями, а також при необхідності часто загвинчувати і відгвинчувати різьбу, яка може забруднитись (арматура пожежних трубопроводів, стяжки, крюки підйомних машин, цоколі і патрони електричних лампочок).



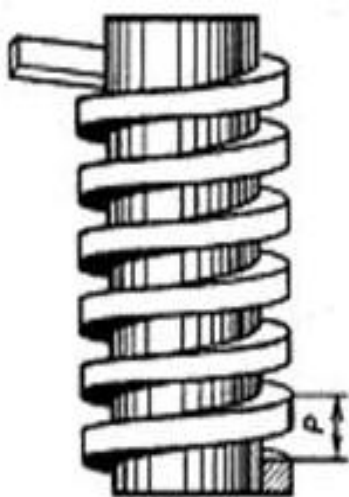
а)



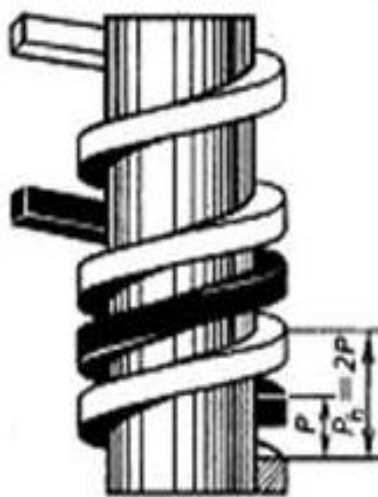
б)

Рисунок 32 – Різьба кругла: а – параметри різьби; б – лампочка із цоколем

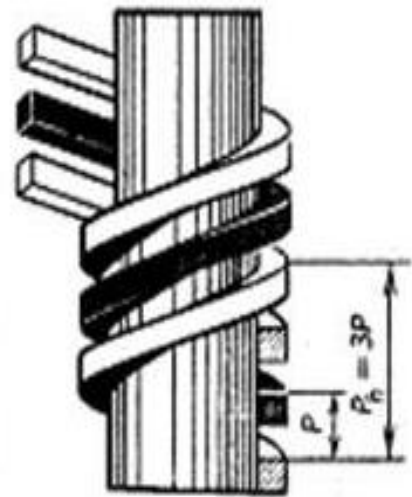
Різьби бувають одновиткові, утворені однією гвинтовою лінією (ниткою, витком), або багатовиткові (рис. 33), утворені двома і більше витками.



а)



б)



в)

Рисунок 33 – Різьби: а – одновиткова; б – двохвиткова; в – трьохвиткова

За напрямом гвинтової лінії різьби поділяють на праві і ліві (рис. 34).

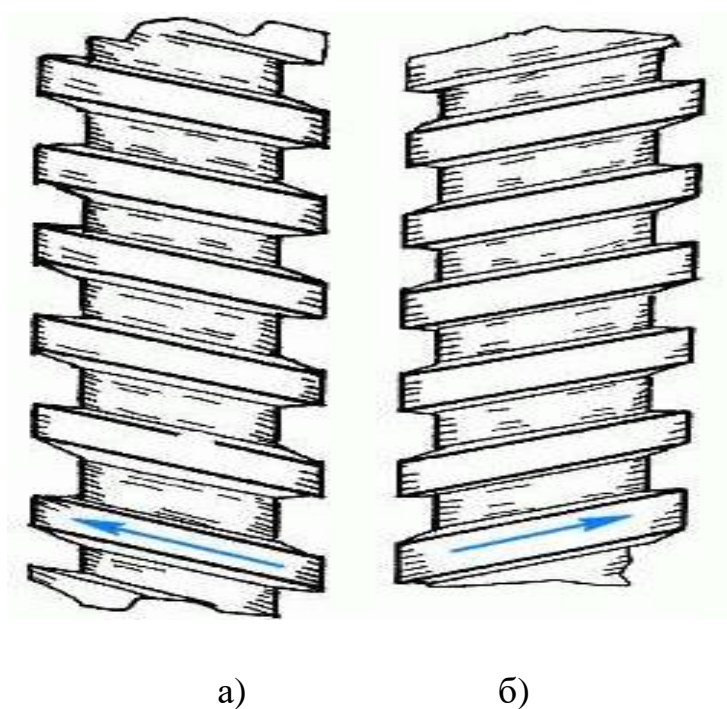


Рисунок 34 – Різьби: а – ліва; б – права

Для нарізування різьби важливо знати основні її елементи (рис. 35): крок S , зовнішній d , середній d_c (зрідка) і внутрішній d_1 діаметри і форму профілю різьби.

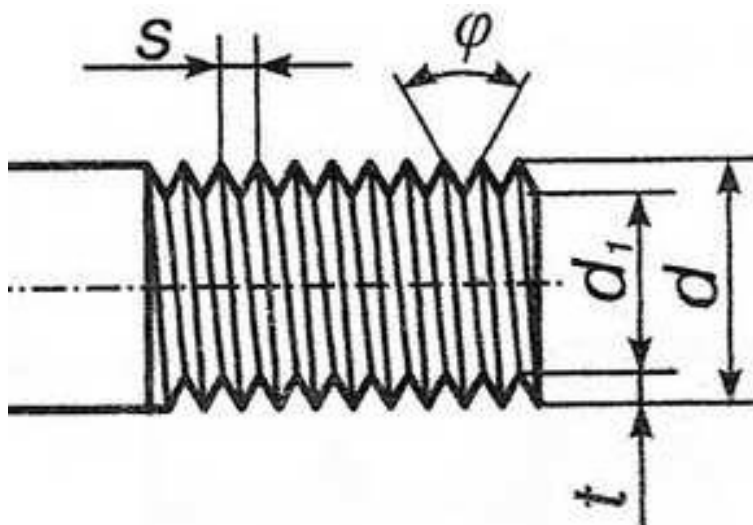


Рисунок 35 – Елементи різьби

Кроком різьби (позначається S або P) називають відстань між двома однойменними точками сусідніх профілів різьби, виміряну паралельно осі різьби.

Зовнішній діаметр d – найбільша відстань між крайніми зовнішніми точками, виміряна в напрямі, перпендикулярному до осі різьби.

Внутрішній діаметр d_1 – найменша відстань між внутрішніми крайніми точками різьби, виміряна в напрямі, перпендикулярному до осі.

Профіль різьби, зазвичай, визначають за кутом різьби φ .

Зовнішню та внутрішню різьбу на кресленнях показують спрощено – суцільною тонкою лінією.

Метричні різьби позначають великою літерою M з найбільшим діаметром різьби (зовнішній діаметр у зовнішній різьбі, та діаметр канавок у внутрішній різьбі). Якщо після позначення різьби є знак « x » і потім число, то це означає, що крок різьби відрізняється від найбільшого (його не позначають). Наприклад, $M20 \times 1$ (рис. 36).

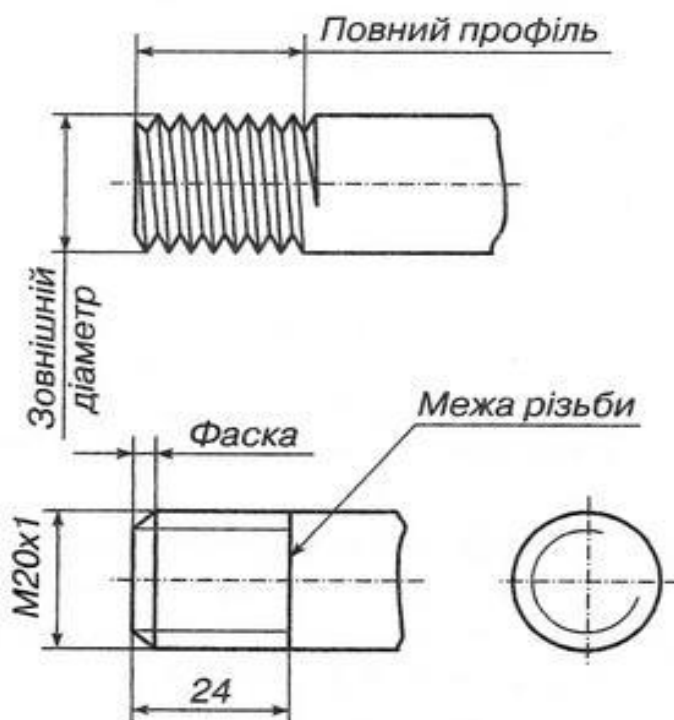


Рисунок 36 – Позначення параметрів зовнішньої різьби

Внутрішню різьбу на розрізах позначають суцільною тонкою лінією, яка окреслює найбільший діаметр різьби (рис. 37). Внутрішня різьба має таке ж позначення, як і зовнішня. Наприклад, $M20 \times 1$.

Різьбу, в окремих випадках, можна показувати без розрізу штриховими лініями.

Кріпильних деталей, елементів кріплення, методів і способів їх застосування існує велика кількість, межа якої постійно змінна і недосяжна. Основні із них, необхідні для розуміння, наведені нижче на найпростіших і зрозумілих прикладах.

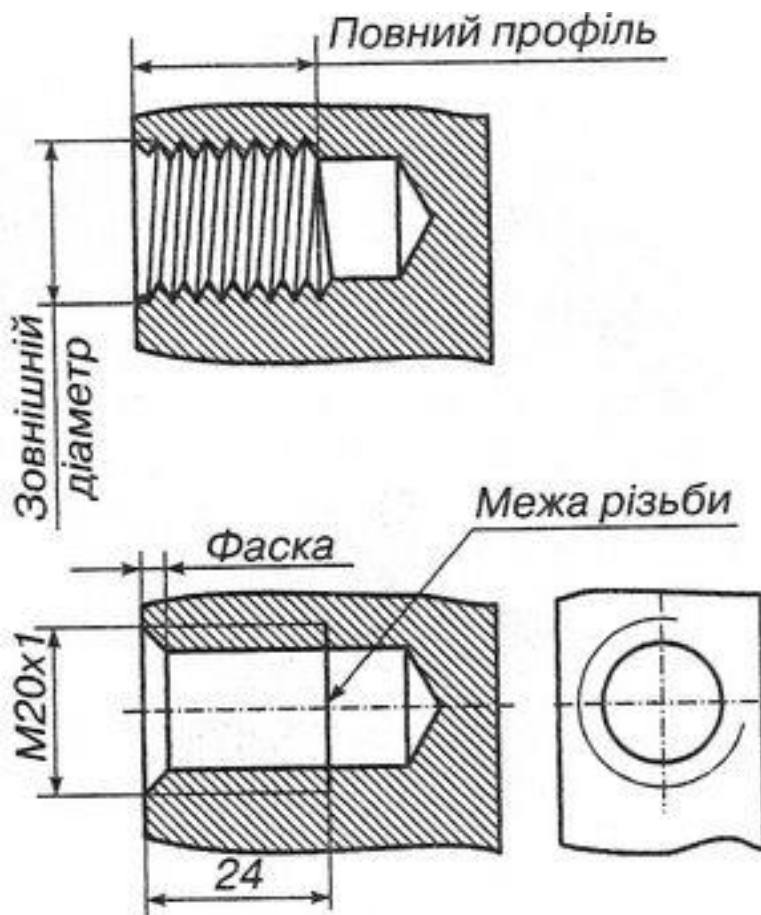


Рисунок 37 – Позначення параметрів внутрішньої різьби

Гвинти і болти (рис. 38, а, б) використовують частіше всього для з'єднання двох або декількох деталей. З'єднання гвинтами застосовують у випадках, коли

в одній із з'єднаних деталей можна нарізати різьбу, а матеріал деталі має достатню міцність, щоб витримати декілька разове складання і розбирання. В техніці переважають з'єднання гвинтами, так як вони в конструктивному відношенні компактніші в порівнянні з болтовими. Якщо матеріал деталі, в якій нарізана різьба, за міцністю не забезпечує багатократність складань і розбирань, то замість гвинтів застосовують шпильки (рис. 38, в). Вони мають більшу міцність у порівнянні з болтовими з'єднаннями, в яких у місцях стику головки болта і стрижня можливе виникнення концентрації напружень.

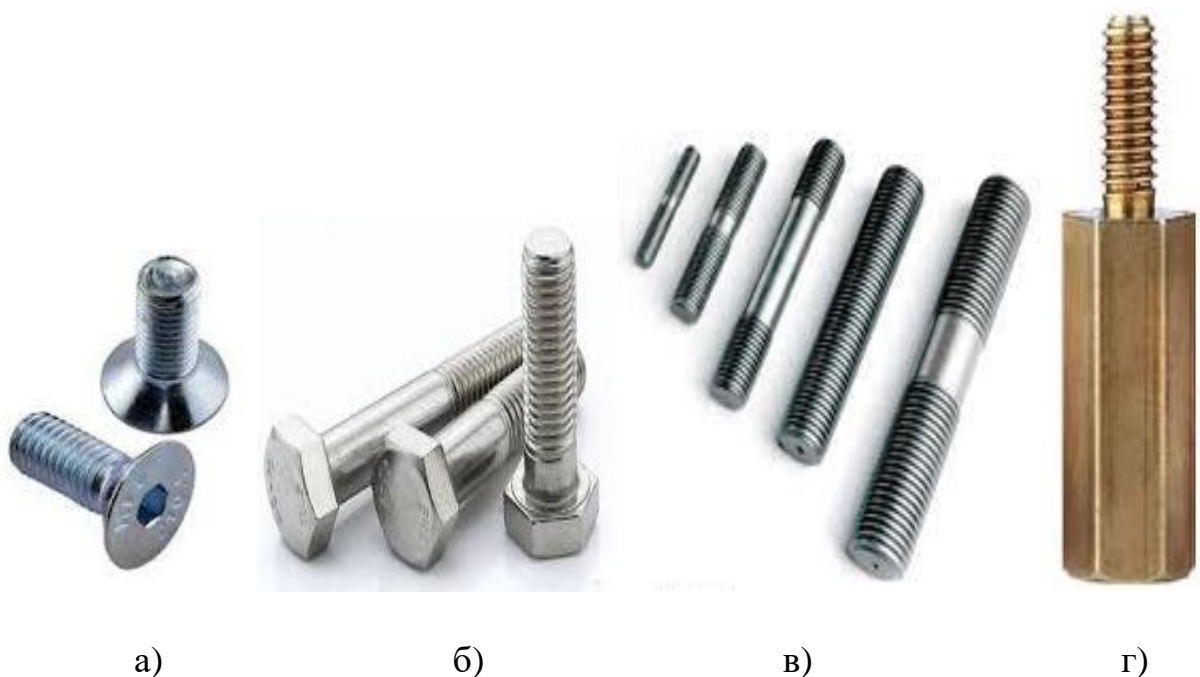


Рисунок 38 – Деталі різьбові кріпильні осьові: а – гвинти; б – болти;
в – шпильки; г – стійка

Для з'єднання деталей, розміщених одна від іншої на відповідному проміжку, застосовують розпірні болти, установочні стійки (рис. 38, г) та інші засоби з'єднання. Наприклад, при необхідності точної установки деталей застосовують болти з точно обробленими поверхнями.

Шайби (рис. 39) служать для запобігання утворення задирок на поверхнях деталей від гайок (рис. 40) або головок гвинтів, збільшення опорної поверхні,

вирівнювання похилих, зігнутих і інших опорних поверхонь складної форми, для запобігання самовідгвинчування гвинтів, болтів і гайок.

При нарізанні різьби в тонких деталях, їх товщину слід збільшувати за рахунок, наприклад, загинанням основного або припаюванням додаткового шару матеріалу.



Рисунок 39 – Деталі кріпильні та допоміжні типу «шайба»

Для з'єднання деталей з різними електричними потенціалами застосовують втулки із ізоляційного матеріалу або гвинти із пластмас, якщо дозволяють умови міцності. При з'єднанні металічних і пластмасових деталей за допомогою гвинтів, різьбу нарізують в металічних деталях.

Кріпильні різьби, зазвичай, забезпечують умову самогальмування, але при роботі пристроїв при змінних навантаженнях, в умовах вібрації, ударів і тряски виникає послаблення затяжки різьби і, як правило, відбувається самовідгвинчування. Вибір способу захисту, а таких існує багато, залежить від конструкції механізму і пристрою, умов їх експлуатації та визначається в кожному випадку конструктором.



Рисунок 40 – Деталі кріпильні різьбові типу «гайка»

Найпростішими засобами запобігання гайок від самовідгвинчування при експлуатації, є використання спеціальних кріпильних гайок. Хоча, такі спеціальні гайки, у виготовленні складніші та дорожчі, в експлуатації вони себе виправдовують (рис. 41).



Рисунок 41 – Гайки спеціальні

До найпростіших та найдоступніших методів запобігання самовідгвинчування, можемо також віднести використання контргайок, пружинних шайб, шплінтування і дротування, лакування та фарбування різьб, їх пошкодження, використання спеціальних шайб, які після встановлення, піддають деформуванню (рис. 42).



Рисунок 42 – Запобігання самовідгвинчуванню: а – шайби; б – шплінти; в – приклади запобігання самовідгвинчуванню

4.2.2 З'єднання штифтами

Штифти (пеники) – це деталі циліндричної або конічної форми для нерухомого з'єднання деталей (рис. 43), як правило, у строго зафіксованому положенні, а також для передачі відносно невеликих навантажень (рис. 44). Перед тим, як встановити штифт, деталі, які ним будуть з'єднуватися, закріплюють у необхідному положенні, у них просвердлюється та розгортається отвір для штифта, а потім у цей отвір вмонтовується сам штифт, який скріплює деталі.

За формою штифти бувають циліндричні гладкі (рис. 43, а) і конічні гладкі (рис. 43, б) та можуть застосовуватись: для з'єднання деталей; забезпечення їх необхідного взаємного положення; як самостійні так і як запобіжні деталі. За конструкцією і перші, і другі можуть виконуватись, також, з насічкою або витисненими рівцями (рис. 43, в). Штифти можуть мати форму трубки, розрізаної вздовж (рис. 43, г). Таку форму вони набувають після виготовлення із листового матеріалу методом згинання. Це, зазвичай, пружинні штифти.

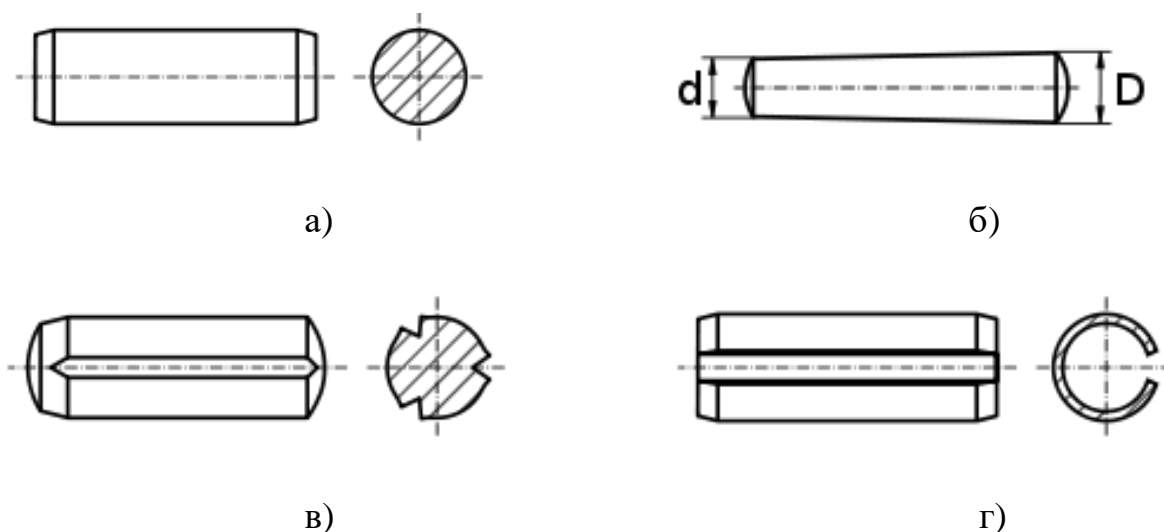


Рисунок 43 – Штифти: а – циліндричний гладкий; б – конічний гладкий;
в – з насічкою у вигляді трьох рівців; г – пружинний

Циліндричні штифти поміщають в отвори (рис. 45, а) по посадці з натягом. У рухомих з'єднаннях (рис. 45, б) циліндричні штифти встановлюють з розклепуванням кінців. Недоліком циліндричних штифтів є ослаблення посадки при повторних складаннях і розбираннях.

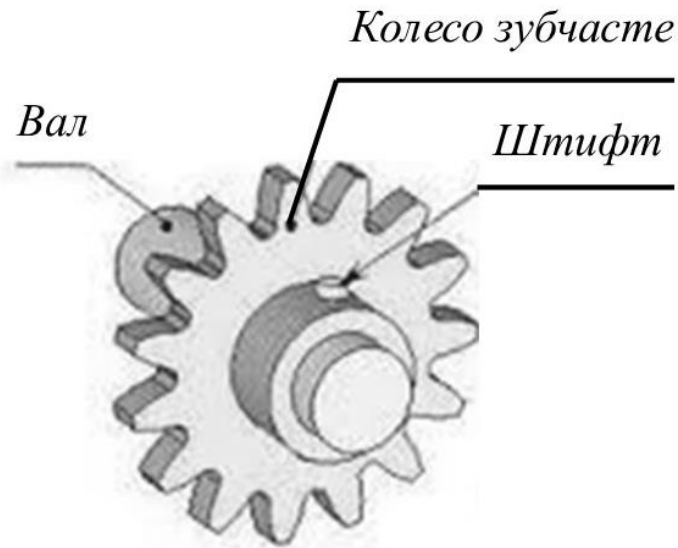


Рисунок 44 – Штифтове з'єднання зубчастого колеса з валом

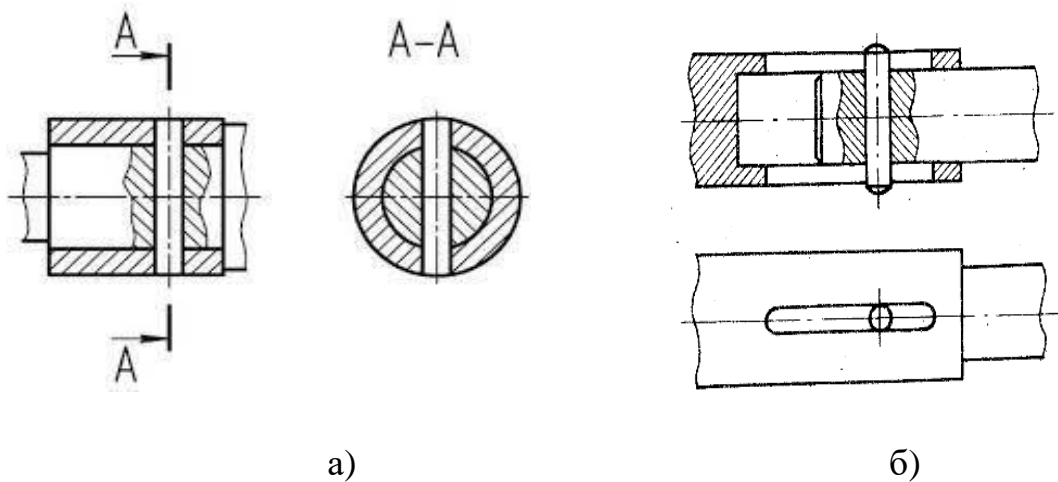


Рисунок 45 – Штифтові зєднання: а – нерухомі; б – рухомі

Зазвичай, циліндричні штифти застосовують як установчі елементи для покращеної фіксації деталей, що взаємно сполучаються, та у тих випадках, коли

виникає необхідність захистити з'єднані деталі від бокових зміщувальних зусиль (рис. 46).

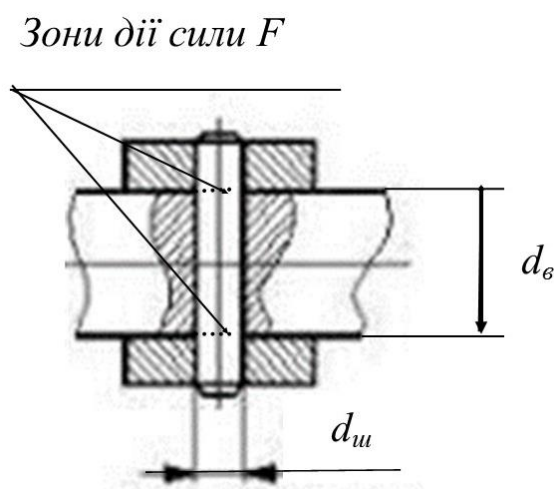


Рисунок 46 – З'єднання втулки із валом за допомогою штифта

Штифти конічної форми встановлюють в наскрізні отвори. У глухі отвори ставлять конічні штифти з різьбою. У з'єднаннях, що зазнають вібрацій та ударів, ставлять штифти з розвідним або різьбовим (для фіксації) кінцем (рис. 47). Такі ж конічні штифти застосовують і в з'єднаннях обертових деталей. Конічні штифти мають конусність 1:50. Конічний штифт є універсальнішим у порівнянні з циліндричним, та завдяки особливості своєї форми може використовуватись багаторазово без зменшення точності розміщення деталей.

Циліндричні і конічні штифти виготовляють із конструкційних сталей.

Стосовно штифтів із рівцями, то, такі конструкції штифтів відрізняються від гладких тим, що мають на поверхні рівці та насічки різної форми. При забиванні таких штифтів, матеріал, що витискається, заповнює рівці і додатково чинить опір самовільному рухові штифта. Це і забезпечує підвищену міцність зчеплення. Слід відзначити, що штифти з насічкою чи рівцями допускають багатократний монтаж і демонтаж без ослаблення сили зчеплення. Виготовляють ці штифти з пружинної сталі.

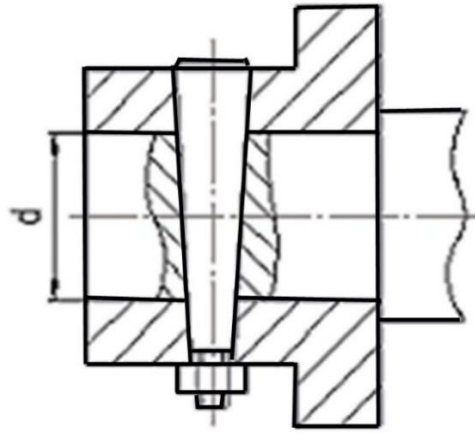


Рисунок 47 – Штифтове з'єднання конічне

Пружинні штифти мають форму циліндричної трубки, розрізаної вздовж твірної. Їх виготовляють із пружинної сталі з наступною термообробкою. Пружинні штифти вставляють в отвори, які за своїм діаметром є меншими від діаметра штифта. Надійне з'єднання забезпечується за рахунок сил пружності матеріалу штифта. Багаторазові збирання та розбирання переважно не призводять до помітного ослаблення сили зчеплення.

Штифти можуть використовуватись також, для орієнтування та правильної установки при складанні деталей, складальних одиниць, вузлів та ін. (рис. 48).

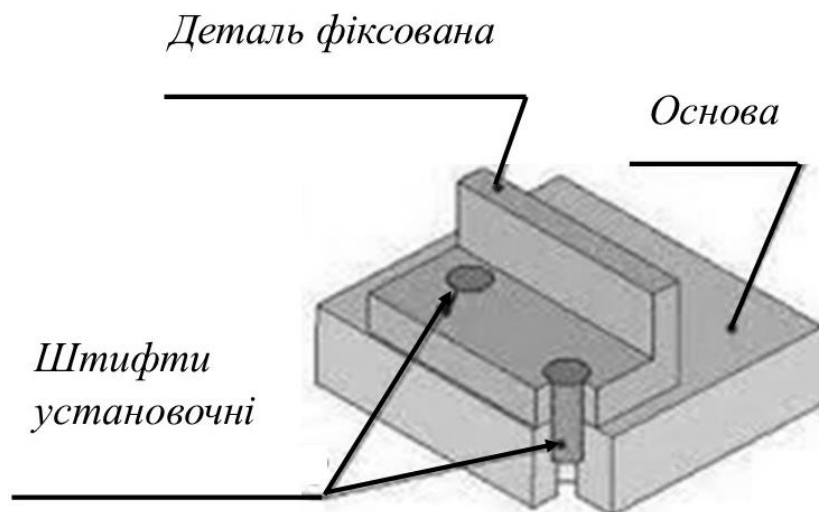


Рисунок 48 – Орієнтування деталей за допомогою штифтів при складанні

Діаметр кріпильного штифта визначають із розрахунку штифта на зріз. При дії на штифт сили F (рис. 46), перпендикулярної до його осі, умова міцності на зріз при z площинах зрізу:

$$\tau_{зр} = \frac{F}{z \frac{\pi d^2}{4}} \leq |\tau_{зр}|, \quad (4.5)$$

звідки, діаметр штифта

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{F}{z |\tau_{зр}|}}, \quad (4.6)$$

де, $|\tau_{зр}|$ – допустиме напруження на зріз матеріалу штифта.

4.2.3 З'єднання шпонками

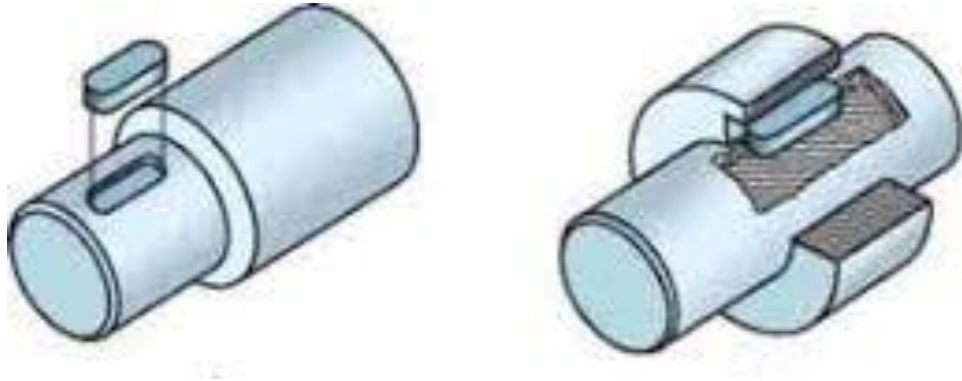
З'єднання шпонками застосовують, в основному, для запобігання деталей (рукояток, маховиків, фланців муфт, зубчастих коліс і ін.) від провертання при передачі обертального моменту (рис. 49). З'єднання шпонками, також, можуть служити для одночасного забезпечення обертального та поступального руху деталей.

З'єднання шпонками вкрай рідко застосовують у приладах точної механіки, вимірювальних приладах, у швидкохідних та несилкових пристроях. Це пов'язано із можливим зміщенням центру маси, виникненням вібрацій, послабленням тіл обертання.

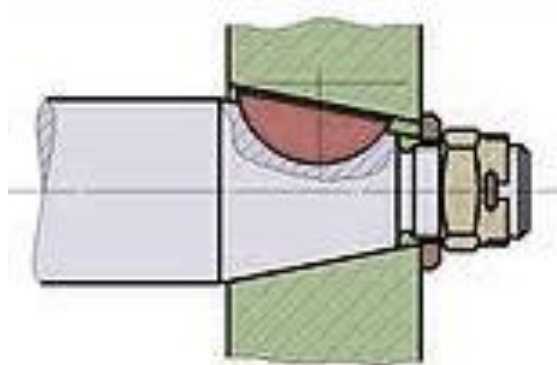
Ненапружені шпонкові з'єднання реалізують за допомогою призматичних і сегментних шпонок (рис. 50).

Шпонкові з'єднання з використанням *призматичних шпонок* за призначенням бувають звичайними та напрямними (ковзними). Звичайні призматичні шпонкові з'єднання призначені для нерухомого з'єднання маточини (втулки) з валом. Шпонки таких з'єднань бувають із скругленими або плоскими

торцями. Напрямні (ковзні) шпонкові з'єднання застосовують у тих випадках, коли деталі, розміщені на валах, можуть рухатись уздовж валів. Тоді, напрямну шпонку закріплюють на валу, зазвичай, гвинтами.



а)



б)

Рисунок 49 – З'єднання шпонками: а – на циліндрі; б – на конусі

При використанні *сегментної шпонки*, її глибока посадка на валу забезпечує їй стійкіше положення, ніж призматичної шпонки. Це запобігає перекошуванню шпонок під навантаженням. Однак, глибокий паз значно послаблює вал, тому сегментні шпонки використовують переважно для з'єднання деталей на малонавантажених ділянках валів, наприклад, на кінцях валів. З'єднання сегментними шпонками є технологічнішим, оскільки, виготовлення як шпонок, так і пазів на валах, є досить простим. Сегментні

шпонки стандартизовані. Розміри сегментних шпонок та пазів вибирають відповідно до стандарту залежно від діаметра валу.

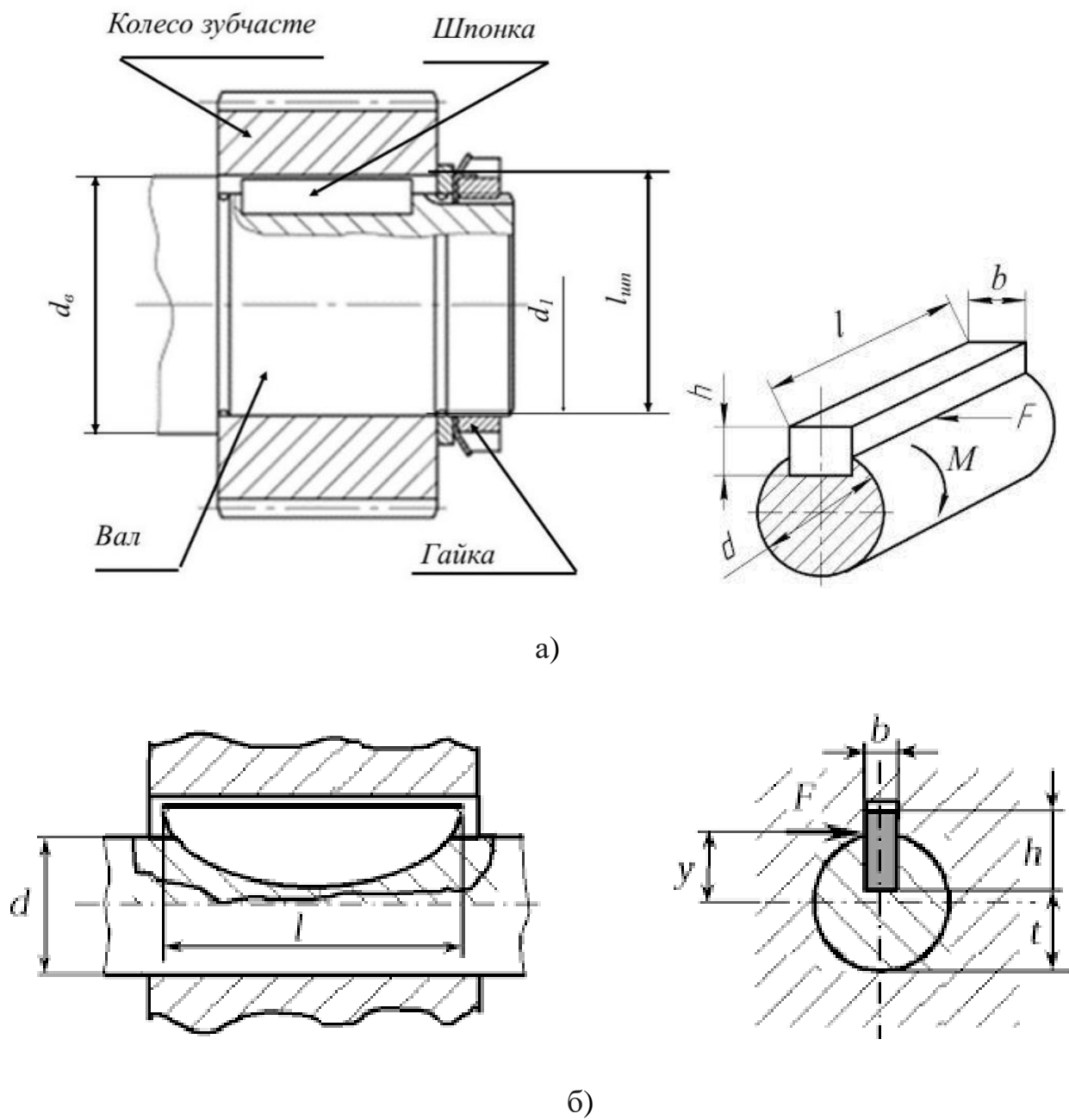
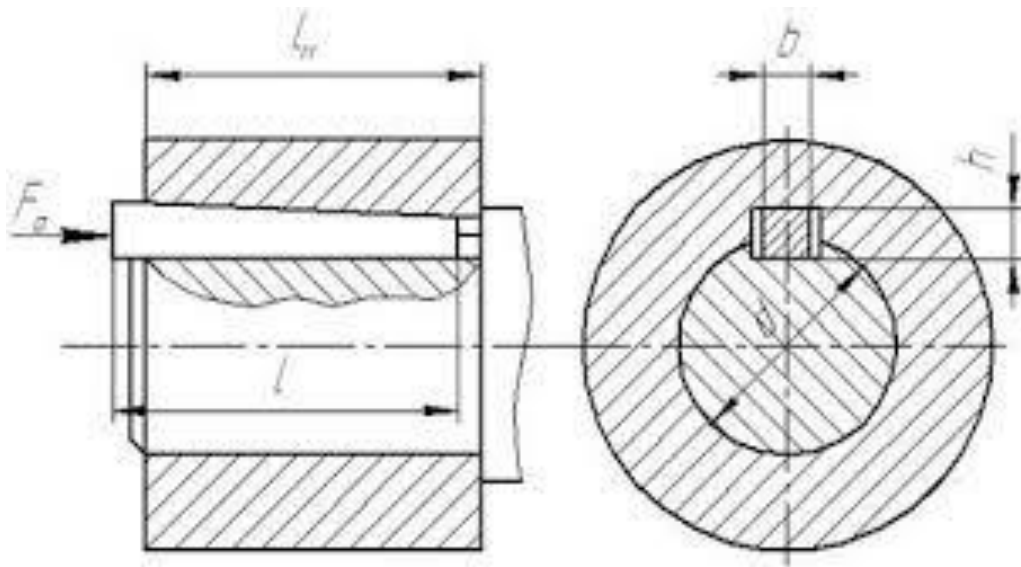


Рисунок 50 – Геометричні параметри з'єднань шпонками: а – призматичними;
б – сегментними

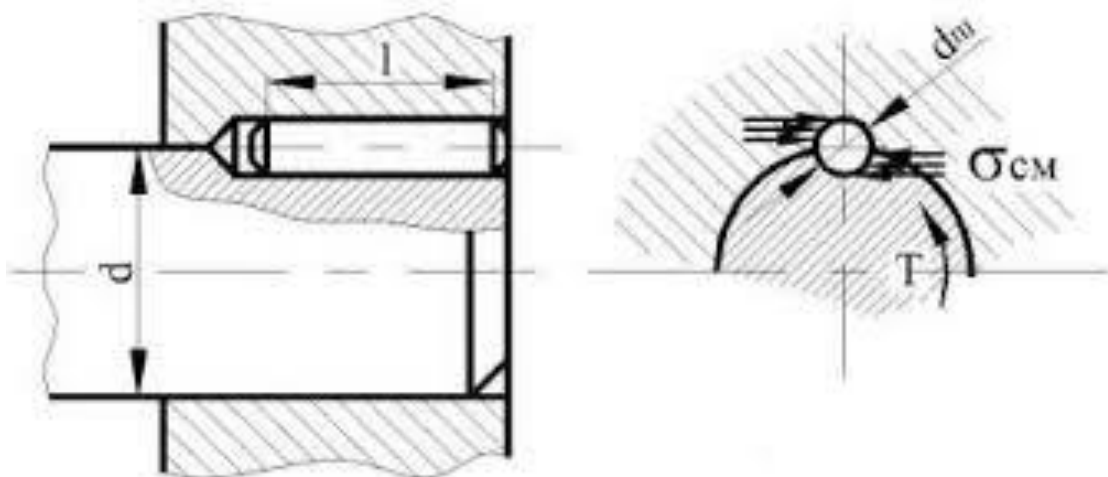
Напружені шпонкові з'єднання використовуються у поєднанні з перехідними посадками деталей на вал або з посадками із гарантованим натягом.

У таких випадках забезпечується достатнє центрування деталей та висока надійність з'єднання.

Напружені шпонкові з'єднання здійснюються, зазвичай, за допомогою клинових (рис. 51, а) та циліндричних шпонок (штифтів) (рис. 51, б).



а)



б)

Рисунок 51 – Геометричні параметри з'єднань шпонками: а – клиновими;
б – штифтовими

Клинові шпонки за способом розміщення на валах бувають врізні, на лисці, фрикційні і тангенціальні. Клинові врізні шпонки за формою поділяють на шпонки клинові без головки та шпонки клинові з головкою. Клинові врізні шпонки без головки бувають із плоскими та скругленими торцями. Усі клинові шпонки виготовляють з ухилом 1:100. Цей же ухил передбачається і для пазу маточини (втулки).

Подібно до призматичних, клинові врізні шпонки частково розміщуються в пазі валу і частково в пазі маточини.

Клинові шпонки на лисці та фрикційні розміщуються по всій своїй висоті в пазах маточини. Такі з'єднання клиновими шпонками передають обертовий момент за рахунок сил тертя на широких робочих гранях. Ці сили тертя створюються відповідним натягом у радіальному напрямі при забиванні шпонок. Тому зі сторони бічних граней клинових шпонок передбачаються зазори.

Тангенціальні шпонки вирізняються серед інших клинових шпонок тим, що натяг між валом та маточиною створюється шпонками не у радіальному, а у дотичному напрямі. Одна із широких граней тангенціальної шпонки спрямовується по дотичній до перерізу вала, а одна із вузьких граней – уздовж радіусу вала. Таке розміщення тангенціальної шпонки вимагає встановлення у з'єднанні двох шпонок, розміщених під кутом 120 – 135°. За технологічними міркуваннями кожна тангенціальна шпонка виконується з двох однобічно скошених клинів. Тангенціальна шпонка використовується переважно у важкому машинобудуванні при великих діаметрах з'єднання.

Циліндричні шпонки – це циліндричні штифти, що вставляються в отвори, паралельні до осі з'єднання, по посадках з натягом (посадка H7/r6). Такі шпонки можуть використовуватись для закріплення деталей на кінці валу. Отвір під шпонку свердлять та обробляють розверткою після посадки деталі на вал. Якщо міцність з'єднання з однією шпонкою не забезпечується, то ставлять дві або три циліндричні шпонки, зміщені відповідно на кут 180° або 120°.

Шпонкові пази у валах отримують фрезеруванням дисковими або пальцевими фрезами, а в ступицях – довбанням чи протягуванням.

Для виготовлення шпонок всіх видів використовують спеціальний точний прокат для шпонок із вуглецевих конструкційних сталей (45, 50, Ст.5, Ст.6 та ін.) з границею міцності не меншою ніж 500 МПа. Значення допустимих напружень зминання залежить від режиму роботи, міцності матеріалів валу і ступиці, типу посадки ступиці на вал – в межах 60...150 МПа (менші значення для чавунних ступиць та при нерівномірному і ударному навантаженні, більші – для сталевих ступиць).

До переваг шпонкових з'єднань слід віднести:

- простоту будови і виготовлення;
- надійність конструкції;
- низьку вартість;
- відносна простота монтажу і демонтажу.

Недоліками шпонкових з'єднань є:

- послаблення міцності валу і маточини шпонковими пазами;
- обмеження моменту, що передається міцністю шпонки;
- ускладнення конструкції у разі потреби забезпечення переміщення деталі (блоку шестерні) вздовж валу.

При розрахунку ненапружених шпонок в залежності від діаметру валу D вибирають ширину b і висоту h шпонки. Розрахунок довжини $l_{ш}$ шпонки виконують із умови її міцності на зминання і зріз при заданому значенні обертального моменту M за такими формулами:

$$l_{ш} \geq 2M / (kD|\sigma|_{зм}) \quad (4.7)$$

$$l_{ш} \geq 2M / (Db|\tau|_{зр}) \quad (4.8)$$

Із двох розрахункових значень $l_{ш}$ вибирають більше. Тут k – розмір виступаючої частини шпонки. Якщо ці умови не виконуються, то застосовують дві шпонки.

4.2.4 З'єднання шліцями

З'єднання шліцями утворюються виступами і впадинами у відповідних деталях. Вони мають ряд переваг в порівнянні із з'єднаннями шпонками: краще центрують деталі, підвищують точність направлення руху деталей, не послаблюють вал, передають більші обертальні моменти. Розрізняють з'єднання шліцями з прямобічним, евольвентним, трикутним (рис. 52) і трапецевидним профілями. Трапецевидні профілі широкого застосунку не знайшли. В точній механіці, мехатроніці, у вимірювальних та медичних приладах найбільше розповсюдження отримали шліцьові з'єднання з прямобічним і евольвентним профілем. Суттєвим винятком можуть стати значні габарити цих з'єднань.

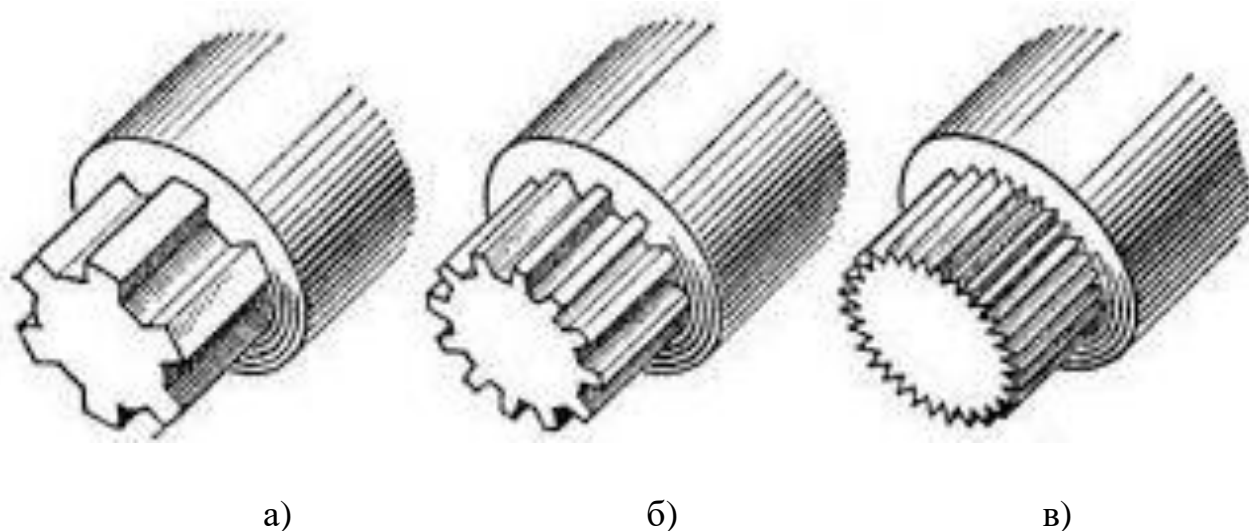


Рисунок 52 – З'єднання шліцьове: а – прямобічне; б – евольвентне;
в – трикутне

Шліцьові з'єднання з трикутним профілем (рис. 52, в), застосовують, головним чином, для отримання нерухомих з'єднань (шліцьові з'єднання можуть бути рухомими і нерухомими). Такий тип з'єднання отримав широке застосування в мікро- та наносистемній техніці. В прямобічних шліцьових з'єднаннях центрування деталей виконують по зовнішньому діаметру D , внутрішньому діаметру d або по бокових шліцах. Вибір способу центрування

залежить від призначення механізмів. Центрування найточніше в прямобічному шліцьовому з'єднанні за діаметрами d або D .

В шліцьових з'єднаннях з прямокутним профілем (рис. 53) передбачені три серії з'єднань (легка, середня, важка). В з'єднаннях з евольвентним профілем втулку відносно вала центрують по його зовнішньому діаметру або по бокових поверхнях зубів.



Рисунок 53 – Прямобічне шліцьове з'єднання рухоме

Основні *переваги* шліцьових з'єднань (рис. 54):

- характеризуються більшою навантажувальною здатністю у порівнянні зі шпонковим з'єднанням при тих же параметрах спряження;
- забезпечують співвісність вала і отвору, з яким вал спрягається;
- дають можливість осьового зміщення та краще напрямлення деталей при переміщенні їх уздовж вала.

Недоліками таких з'єднань вважають (рис. 54):

- складність виготовлення шліцьових валів;
- збільшення концентраторів напружень.

При розрахунку з'єднань шліцями розміри шліців і їх кількість визначають в залежності від діаметру валу, причому вибір розміру шліців починають з легкої серії, а пізніше перевіряють на міцність в залежності від виду з'єднання.

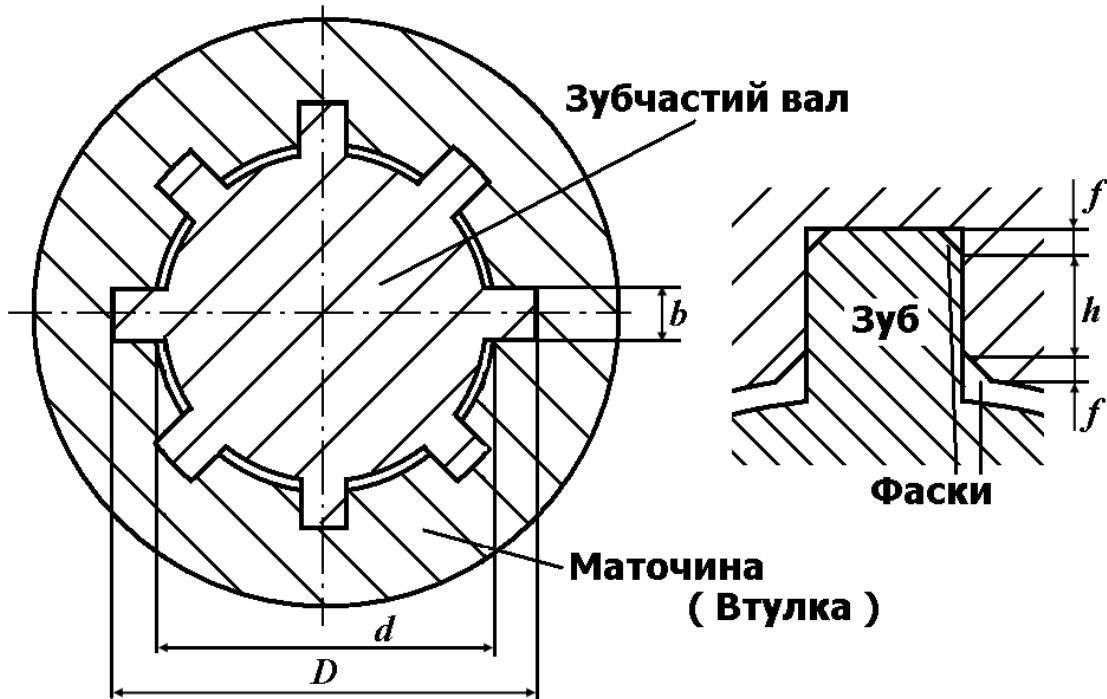


Рисунок 54 – Геометричні параметри прямокутного з'єднання шліцями

У нерухомого з'єднання шліці перевіряють із умови міцності на зминання і згин відповідно за формулами:

$$\sigma_{зм} \leq M / (R_{cp} S Z \Psi) \leq |\sigma|_{зм}; \quad (4.9)$$

$$\sigma_{зм} \leq M / W \leq M(D - d)6 / (d_{cp} l b^2 Z \Psi) \leq |\sigma|_{зм} \quad (4.10)$$

Шліці рухомих з'єднань перевіряють виходячи із умови обмеження питомого тиску P за формулою:

$$P = M / (R_{cp} S Z \Psi) \leq |P| \quad (4.11)$$

де, R_{cp} – середній діаметр шліцьового з'єднання; l – робоча довжина шліца; M – крутний момент; Ψ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілення навантаження на робочі поверхні шліців, $\Psi = 0,75 \div 0,80$; b – ширина шліца біля основи; Z – кількість шліців; $S = \frac{(D-d)}{2}l$ – для прямокутних, трикутних і трапецевидних шліцьових з'єднань, $S = 0,8xd_1/8xl$ – для евольвентних; d_1 – діаметр ділильного кола шліців. Якщо умова міцності на змяття, згин і умова обмеження питомого тиску не виконується, то вибирають розміри шліців із наступної серії, в залежності від діаметру валу, і, знову виконують перевірку розмірів шліців.

Умовні позначення шліцьових з'єднань валів і втулок містять: букву, яка визначає поверхню центрування; кількість зубів і номінальні розміри d , D з'єднання валу і втулки; позначення полів допусків або посадок по діаметрах або по ширині b , розміщені після відповідних розмірів. Дозволяється не вказувати в позначенні допуски нецентруючих діаметрів.

4.2.5 Безшпонкові з'єднання

Безшпонкові (профільні) з'єднання (рис. 55) мають експлуатаційні переваги, які визначаються високою крутильною жорсткістю, стійкістю до спрацювання, опором втоми, центруванням під навантаженням, зниженим рівнем шуму і вібрації, можливістю зменшення маси на 20 – 40%, а також габаритів деталей з'єднання машин.

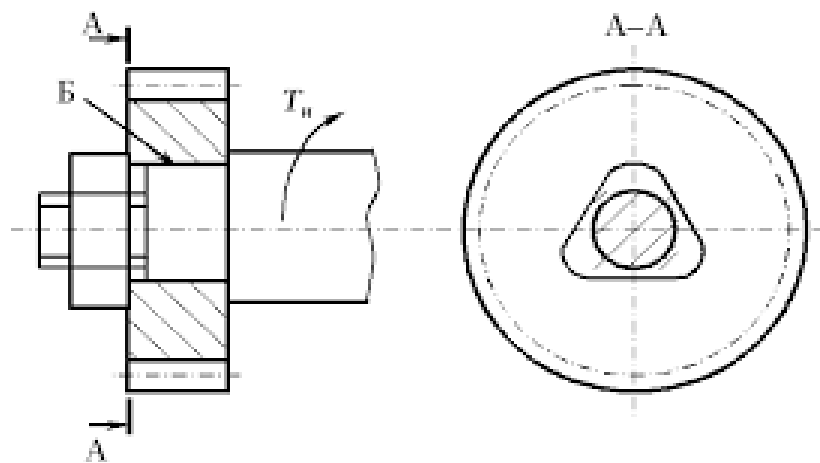
У профільних з'єднаннях деталі скріплюються між собою за допомогою взаємного контакту по некруглих поверхнях, що дає можливість передавати обертальний рух/момент без використання додаткових деталей.

До безшпонкових з'єднань відносяться: з'єднання деталей з посадочними місцями трикутної, овальної, квадратної та інших форм.

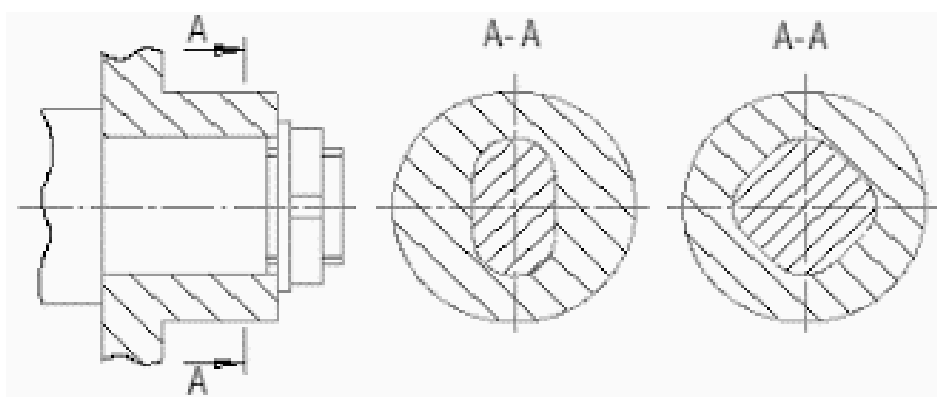
Більш досконалі профільні з'єднання з овальним контуром, які можуть бути циліндричними або конічними. Їх застосовують при передачі не тільки

крутного моменту, але і осьового навантаження. Такі профілі мають властивість рівновісності – незмінності відстані між двома паралельними дотичними до контуру. В цьому разі спрощується технологія обробки поверхонь деталей з'єднання. У порівнянні зі шпонковими та шліцьовими з'єднаннями профільні мають менші концентрації напружень та забезпечують краще центрування, зниження шуму під час роботи, але більш складніші в виготовленні.

Безшпонкові з'єднання застосовують для збільшення міцності валів і підвищення точності центрування деталі по відношенню до валу. Розрізняють рухомі і нерухомі безшпонкові з'єднання.



а)



б)

в)

Рисунок 55 – Приклади безшпонкових з'єднань: а – трикутне;

б – овальне; в – квадратне

4.2.6 Швидкороз'ємні з'єднання

Швидкороз'ємні електропровідні з'єднання займають провідні місця як в стаціонарних, так і переносних засобах отримання, обробки, передачі, контролю, реєстрації, фіксації, безпосереднього спостереження за зміною інформації і ін. Це можуть бути, наприклад, різні клеми, штекери, гнізда, провідники, мініатюрні накопичувачі інформації (рис. 56).

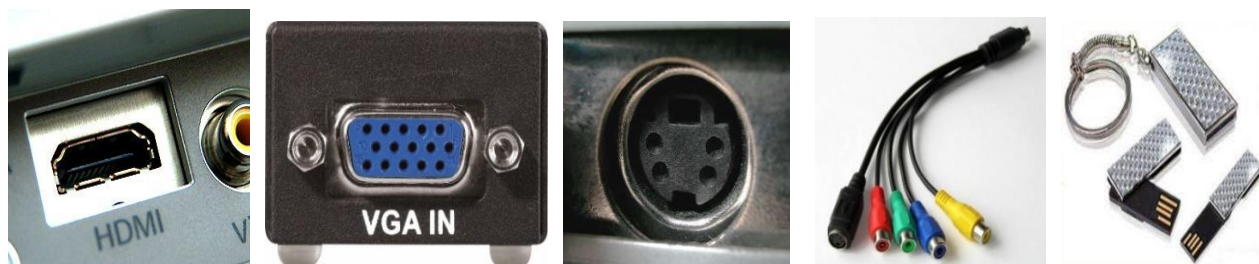


Рисунок 56 – Швидкороз'ємні електропровідні з'єднання радіо- та телеапаратури, компютерної техніки, засобів інформації

В силових електричних мережах, для швидкого під'єднання джерела автономного споживання електроенергії, застосовують потужніші та надійніші швидкороз'ємні з'єднання (рис. 57).



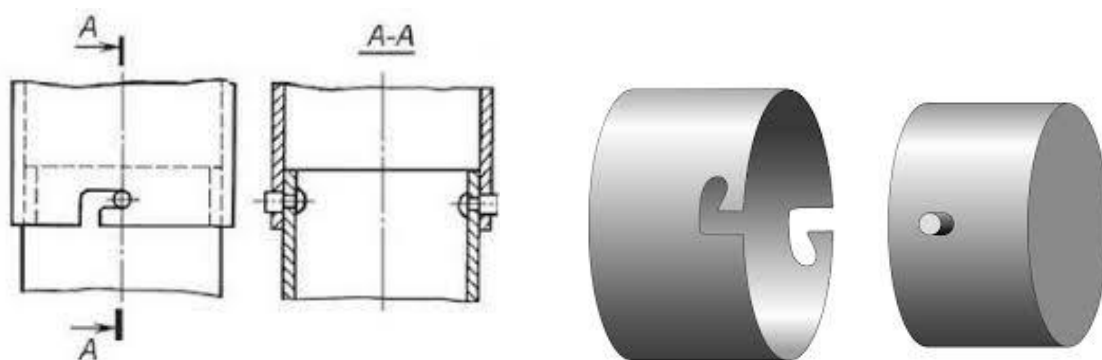
Рисунок 57 – Швидкороз'ємні з'єднання для підключення автономних споживачів електроенергії

Байонетні з'єднання – це швидкокороз'ємні механічні з'єднання (рис. 58).

Вони призначені для багаторазового застосування швидкого механічного з'єднання та роз'єднання.



а)



б)

Рисунок 58 – Байонетні з'єднання: а – п'єзопальник газований із газовим балоном;
б – захисний корпус

Також, одним з видів і байонетного з'єднання є кріплення об'єктива, за допомогою якого об'єктив встановлюється на фотокамеру (рис. 59), та знімається з неї. Одна частина байонета (зазвичай та, що розташована на камері), містить декілька виступів, інша (на об'єктиві) – відповідні пази. Об'єктив фіксується штифтом підпружиненим чи кільцем. Розблоковується об'єктив, зазвичай, за допомогою кнопки чи важеля.



Рисунок 59 – Байонетне кріплення об'єктива фотоапарату

В деяких випадках виникає необхідність швидкого з'єднання пневмо- (рис. 60) та гідропроводів (рис. 61). Для цього застосовують відповідні байонетні з'єднання. Слід зазначити, що у їх застосуванні є певні обмеження. Так, залежно від стану і складу речовин, які використовуються в пневмо- та гідропроводах, будуть залежати матеріали для виготовлення байонетних з'єднань, а також технологія їх виготовлення.

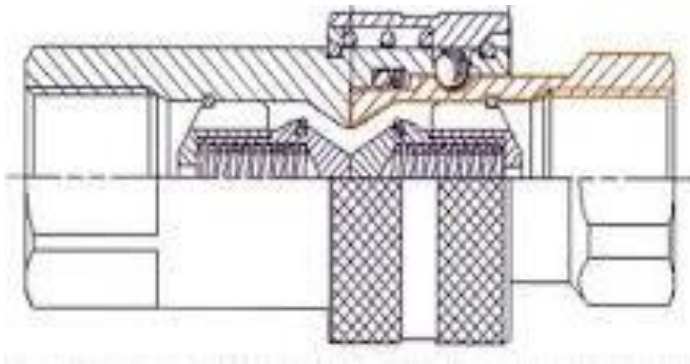


Рисунок 60 – Байонетне з'єднання пневмопроводу



Рисунок 61 – Байонетне з'єднання гідропроводу

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3966:2009. Термінологічна робота. Засади і правила розроблення стандартів на терміни та визначення понять.
2. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.
3. ДСТУ 2497-94. Основні норми взаємозамінності. Різьба і різьбові з'єднання. Терміни та визначення.
4. ДСТУ 2390-94 Складання. Терміни та визначення.
5. Справочник конструктора точного приборостроения / Г.А. Веркович, Е.Н. Головенкин, В.А. Голубков и др.; Под общ. ред. К.Н. Явленского, Б.П. Тимофеева, Е.Е. Чаадаевой. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 792 с.: ил.
6. Элементы приборных устройств (Основной курс): Учебн., пособие для студентов ВУЗов. В 2-х ч. Детали, соединения и передачи / Тищенко О.Ф., Киселев Л.Т., Коваленко А.П. и др.; Под ред. О.Ф. Тищенко. – М.: Высшая школа, 1982. – 304 с.: ил.
7. Павлице В. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. Львів: Афіша, 2003. – 560 с.
8. Коновалюк Д. М., Ковальчук Р. М. Деталі машин : підручник. — Вид. 2-ге. — К. : Кондор, 2004. — 584 с.
9. Корець М. С. Основи машинознавства: навч. посібник / М. С. Корець, А. М. Тарара, І. Г. Трегуб. – К., 2001. – 144 с.
10. Попов С. В., Бучинський М. Я., Гнітько С. М., Чернявський А. М. Теорія механізмів технологічних машин: підручник для студентів механічних спеціальностей закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2019. – 268 с.
11. Рудь Ю.С., Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

12. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А.В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 275 с.
13. Полешко О.П. ТММ і деталі машин. Розрахунок та проектування: Навчальний посібник / О.П. Полешко – К.: КДАВТ, 2009. – 224 с.
14. Іванчук, А. В. Деталі машин: навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.