

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.  
Є.В. Скочко, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТОЧНОЇ ОБРОБКИ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

*На основі аналізу похибок базування та закріплення заготовок на пристроях розроблені ефективні багатоконтактні усереднюючі та розподільчі схеми їх установки і варіанти засобів для реалізації цих схем. Розроблені та обґрунтовані основні принципи точної обробки різальних інструментів та елементів контрольно-виміральної техніки.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Високоточна обробка різальних інструментів (РІ) та елементів контрольно-виміральної техніки з отриманням 4-6 квалітетів точності та високої якості їх робочих і базових поверхонь, з необхідним фізико-механічним станом поверхневих шарів, за існуючої умови низької оброблюваності інструментальних матеріалів, вимагає комплексного вивчення і системного аналізу проблем базування та закріплення заготовок. Це дозволить підвищити ефективність вказаної обробки деталей та, в подальшому, виконати за певними критеріями параметричну оптимізацію різних видів їх обробки та конструкцій РІ.

**Аналіз літературних джерел.** Відомо [1–3, 5–8], що головними причинами невисокої точності обробки РІ та елементів виміральної техніки є:

- обмежена точність верстатів, пристроїв та інструментів другого порядку, а також похибок їх налагодження;
- похибки форми, розмірів, змінності твердості та напруженого стану припуску заготовок;
- похибки базування неточних заготовок, які викликають нерівномірний розподіл припуску;
- великі і майже завжди ненормовані сили закріплення заготовок;
- обмежені величини модулів пружності першого і другого роду матеріалів оброблюваних деталей;
- невелика жорсткість заготовок, коли величина деформування силами закріплення та різання часто перевищує величини заданих допусків на деталь;
- значні сили різання (особливо відносні величини нормальної складової сили різання при фінішній абразивній обробці);
- підвищені і непостійні величини припусків на заготовках при обробці деталей;
- биття зубців багатозубих РІ і, як наслідок, нерівномірний процес різання;
- підвищений гідростатичний тиск в зоні різання більшості вершинних РІ;
- проблеми нестабільного тонкого різання РІ;
- значні спрацьовування і нагрівання РІ та інших елементів технологічної оброблюваної системи (ТОС);
- суттєва взаємодія багатьох негативних чинників (наприклад, збільшення фаски спрацьовування РІ викликає зростання як нормальної складової сили різання, так і наклеп поверхні різання, що, в свою чергу, призводить до подальшого зростання як першої, так і другої);
- виникнення коливань при обробці РІ різанням тощо.

Вчені Б.С. Балакшин [1], А.О. Маталін [2] та ін. детально розробили теоретичні основи базування та закріплення різних типів заготовок. Але ці основи можуть бути безпосередньо використаними лише для ідеально точних і безмежно жорстких заготовок, як першого, так і другого роду, виготовлених з матеріалів, що мають модуль пружності безкінечної величини. Реальні заготовки звичайно характеризуються невисокими точністю форми та розмірів, а часто і обмеженою жорсткістю, що суттєво знижує ефективність застосування теоретичних основ установки заготовок на ТОС.

Згідно з теоретичними основами базування заготовок характеризується шістьма базовими точками, котрі чітко визначають їх положення на пристроях і в ТОС при обробці. Але похибки виготовлення форми та розмірів реальних заготовок при їх установці на пристроях з певними відносними положеннями всіх шести базуючих елементів викликають невисоку точність та низьку відтворюваність положень заготовок. Дія сил закріплення на заготовки, як правило, погіршує загальну точність установки заготовок.

Через випадковість відносних положень і обмеженої кількості контактів (установочна база – три контакти, напрямна – два контакти, упорна база – один контакт) базових елементів пристроїв з поверхнями неточних за формою та розмірами заготовок створюється хибне їх базування з нерівномірним розподілом величин припусків та низькою відтворюваністю процесу базування. Така ситуація викликає необхідність призначення необґрунтовано збільшених припусків на заготовках.

Через обмежену кількість точок контактів заготовки з пристроєм при ненормованих величинах сил закріплення і різання створюється великий тиск в цих точках і, як результат, значне деформування заготовок. Використання в якості додаткових підвідних опор, через невизначеність створюваних в них сил, є неефективним. Наслідком вказаних ситуацій стають збільшені, після зняття з пристрою, деформації обробленої деталі, які часто перевищують величини допусків на її виготовлення.

**Мета роботи.** Метою роботи є вивчення дії причин виникнення найбільш значущих похибок виготовлення ПІ та розробка основних принципів їх точної обробки, а також розробка деяких способів і створення засобів боротьби з причинами виникнення таких похибок.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз умов реалізації теоретичних положень базування та закріплення заготовок багатьох реальних деталей на пристроях показує можливість наступних випадків виникнення різних видів похибок: неоднозначності і невизначеності базування, а також створення окремих протиріч в базуванні і закріпленні заготовок.

Неоднозначність базування правильною за формою заготовки, тобто такої, форма якої може бути детерміновано описана простими функціями (наприклад, циліндрична, конічна, плоска, гвинтова, призматична тощо), виникає при достатності кількості базових плям в одному її перерізі і недостатності – в іншому. Прикладом може бути закріплення відносно точного циліндричного прутка в спрацьованих трикулачковому самоцентрувальному патроні чи цанзі або при неправильно розточених їх кулачків чи пелюстків (рис. 1, а), коли пруток займає довільне положення в межах створеної кулачками чи губками відповідно конусності. Іншим прикладом є закріплення в точних патроні чи цанзі прутка, виконаній з невеликою конусністю. Також прикладом неоднозначності базування може бути закріплення насадного втулочного інструмента на жорсткій оправці, виконаній з невеликою конусністю, наприклад, рівною одному градусу (рис. 1, б). В цих випадках має місце довільне кутове зміщення прутка чи насадного інструмента на величину кутового зазору в з'єднанні. При установці декількох дискових заготовок з зазором на загальній оправці теж має місце неоднозначність базування, яке виражається в зміщенні в довільному напрямку окремих заготовок на величину зазору (рис. 1, в). Іншим прикладом неоднозначності базування є закріплення в лещатах призматичного тіла з непаралельністю сторін, коли заготовка сама «обирає» як базуючу рухому чи нерухому губку, або взагалі займає проміжне між ними положення (рис. 1, г).

Невизначеність базування заготовки неправильно форми виникає за умови грубих відхилень її форми від правильної та при недостатці або при відсутності контакту частини базових плям на пристрої. Відомо, що для створення в з'єднанні заготовка–пристрій надійного опору відривній, згинальній чи зсувній дії сил різання потрібно збільшити затискні сили та/або довжину відповідних баз. Шлях збільшення затискних сил не може бути рекомендованим через створення значних деформацій заготовок. У випадку обрання шляху збільшення довжини баз зростає чутливість до підвищення точності виконання заготовок, що не завжди можливо. Для неточних заготовок має місце невизначеність їх базування. Так, наприклад, при закріпленні неточного прутка, отриманого рубкою на пресі, в трикулачковому самоцентрувальному патроні, в крайньому поперечному січенні прутка базування створюється по трьох точках, а в іншому – по одній або двох точках (рис. 2, а). При значній довжині баз можливий, але є недопустимим контакт заготовки, який може виникати посередині довжини кулачків патрона чи цанги (рис. 2, б). Для попередження вказаного небажаного стану – контакту посередині потенційної робочої довжини кулачків, виконується розточка кулачків патрона чи пелюсток цанги з залишенням по краях контактних поясків. Досягнення в цьому випадку двоточкового контакту вздовж кулачків патрона чи пелюсток цанги з заготовкою стає можливим лише при однаковому розмірі заготовки в обох зонах залишених контактних поясків, інакше має місце невизначеності базування (рис. 2, в). Прикладом невизначеності базування може також бути установка циліндричної заготовки, з певним відхиленням, як величини діаметра, так і форми прутка в базуючій призмі (рис. 2, г). При збільшенні величини кута базуючої призми зменшується похибка вертикального базування, але зростає похибка горизонтального базування (з урахуванням похибок форми заготовки), а при зменшенні кута – навпаки.

Протиріччя базування заготовки виникають при дії протилежних вимог різних сумірних за розмірами баз, які переважно виникають внаслідок похибок її виготовлення. Так, у випадку установки втулочного насадного інструмента з зазором на оправці, вісь отвору якого не точно виготовлена перпендикулярною торцям, має місце явище протиріччя базування (рис. 3, а). Іншим прикладом протиріччя базування можуть бути установка в трикулачковому патроні циліндричного стрижня, який виконано з неперпендикулярним торцем до осі циліндричної поверхні (рис. 3, б). Ще одним прикладом протиріччя базування може бути установка довгого східчастого прутка на трьох призмах (рис. 3, в), коли буде мати місце, у зв'язку з похибками форми та розмірів прутка, базування лише по якимсь двом з них. Прикладом протиріччя базування може бути також установка пірамідальної заготовки, яка базується на три точки основної бази і на дві точки напрямної (рис. 3, г), коли одна з потенційно базуючих точок не дістає до поверхні заготовки. Це може мати місце при непаралельності лінії, яка проходить через дві точки напрямної бази, площині, в якій розташовані точки основної бази. У всіх вказаних випадках перевага

відається тій з баз, по якій виконується закріплення. Наслідком вказаного протиріччя в різних прикладах при установці заготовки по одній з баз виникають похибки базування на величину  $\Delta$  по другій базі.

Наслідком неоднозначності, невизначеності та протиріччя базування заготовок на пристроях стають виникнення непрогнозованих похибок зміщень та/або перекосів відносно баз оброблених деталей.

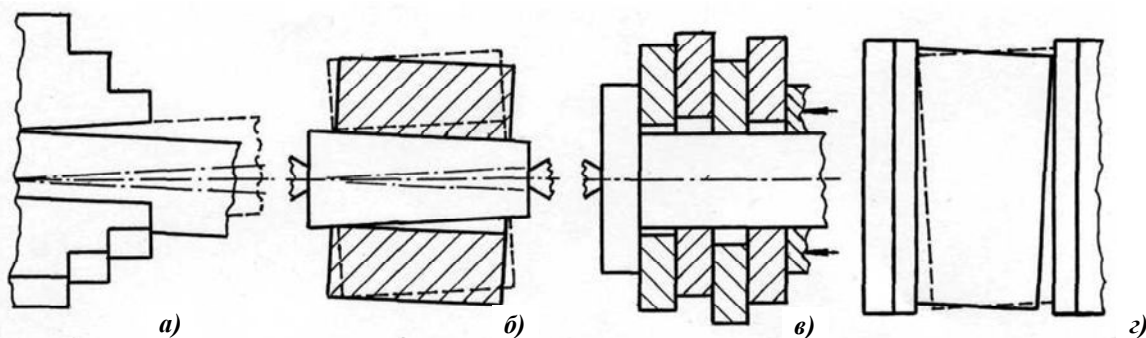


Рис. 1. Приклади неоднозначності базування заготовок

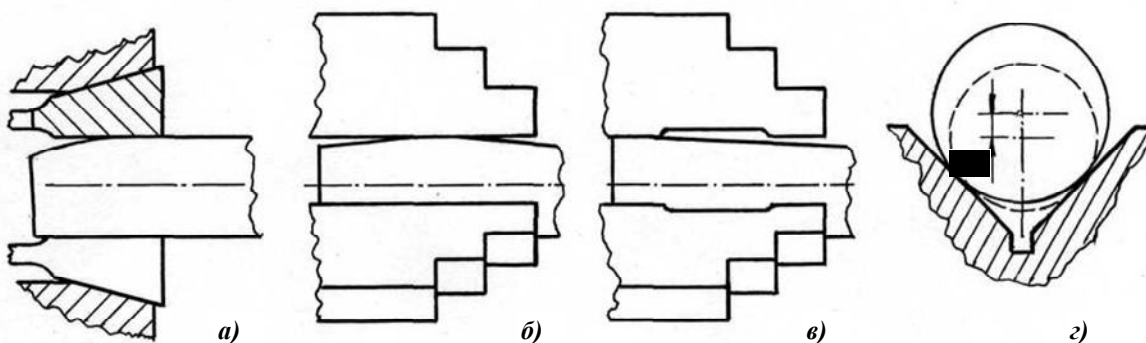


Рис. 2. Приклади невизначеності базування заготовок

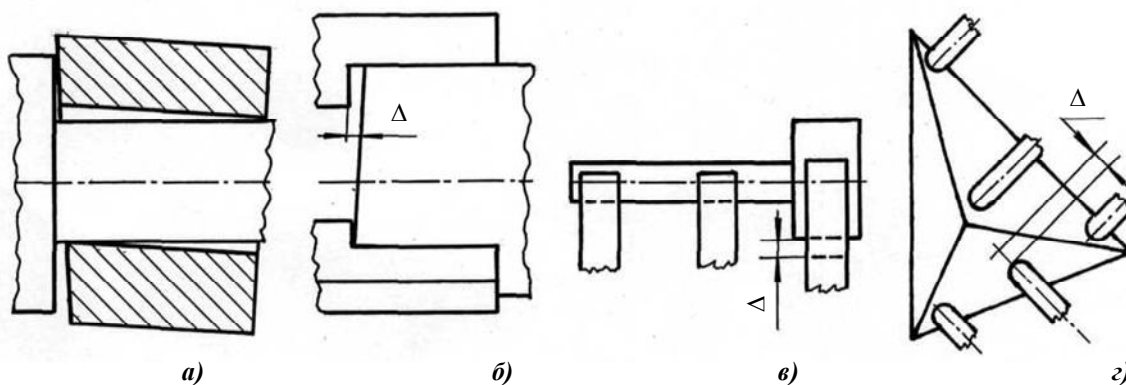


Рис. 3. Приклади протиріч базування заготовок

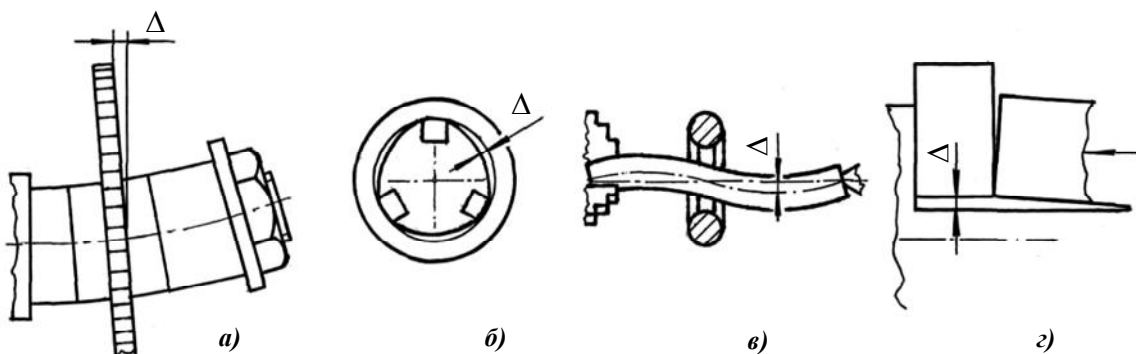


Рис. 4. Приклади протиріччя закріплення заготовок

Протиріччя закріплення заготовки виникають внаслідок непрогнозованих сил закріплення та нерівномірності розподілу навантаження між обмеженою кількістю точок закріплення, розташування яких не відповідає положенню точок базування. Так, при затяжці дискової фрези між кільцями на оправці гайкою, внаслідок непаралельності торців втулок та неперпендикулярності осі різьби гайки її торцю, виникає просторовий згин оправки (рис. 4, а). Наслідком протиріччя закріплення стає просторовий характер переважно пружного деформування чи зміщення заготовки при закріпленні. Так, при закріпленні кільця на трикулачковому патроні має місце його деформування, коли внутрішня поверхня кільця деформується у напрямку трикутника (рис. 4, б). Після зовнішнього проточування та зняття кільця з патрона його зовнішня сторона, за рахунок відновлення пружних деформацій, буде здеформованою у напрямку трикутної форми. Прикладом протиріччя закріплення може бути установка довгого прутка з зігнутим кінцем та зміщеним центровим отвором в трикулачковому патроні, люнеті та на центрі (рис. 4, в). Ще одним прикладом протиріччя закріплення може бути приклад затяжки на верстатних лещатах призматичної заготовки (рис. 4, г). Внаслідок нерозташування діючої і реактивної сил в одній горизонтальній площині створюється згинальний момент, який підіймає рухому губку лещат і витісняє заготовку, підіймаючи її над опірною базою.

Неоднозначність і невизначеність базування може бути подоланою установкою на губках цанг та кулачках патронів самовстановлюваних накладок. Для подолання протиріччя закріплення накладка на рухомій губці лещат повинна бути нахилена в бік деталі. Остаточна затяжка цанг і кулачків патронів повинна виконуватись після установки заготовки по осі обертання верстата. Подолання неоднозначності базування при установці насадного інструмента може бути виконано на складеній оправці з двох напівоправок з зустрічною конусністю, що мають поздовжнє рухоме з'єднання.

Подолання наслідків протиріччя базування може бути досягнутим завдяки створенню усереднювачів похибок базування (див. далі) незалежно за різними базами.

Подолання протиріччя закріплення може бути досягнутим як завдяки підвищенню точності виготовлення деталей з певними силовими ланцюгами, так і шляхом збільшення точок дотику в пристосуваннях при базуванні і закріпленні заготовок, а також шляхом виготовлення пари спряжених самовстановлюваних шайб зі сферичним контактом. При обробці тонких кілець та втулок замість трикулачкових патронів доцільно використати шестикулачкові.

Таким чином, подолання всіх вказаних видів похибок базування реальних заготовок, пов'язаних з відхиленнями їх форми і розмірів, та похибок закріплення, пов'язаних зі значним деформуванням заготовок, може бути вирішеним завдяки суттєвому збільшенню точок їх контакту в пристроях. Вирішення першої задачі може бути досягнутим завдяки усередненню нормальної координати багатоточкового контакту з елементами кожної з баз пристрою. Друга задача може бути вирішеною завдяки рівномірному поділу великої загальної сили закріплення заготовки в багатьох контактах пристроїв у вигляді однакових відносно малих сил.

Для пошуку шляхів підвищення точності обробки РІ та елементів вимірювальних приладів мають бути розробленими основні принципи точної обробки.

Основними принципами точної обробки РІ та елементів вимірювальної техніки слід обрати:

1. Максимально можливу точність базування навіть неточної заготовки.
2. Мінімально можливе деформування заготовки від сил різання та закріплення.
3. Максимально можливу жорсткість зв'язку заготовки з верстатом за умови мінімального її деформування.
4. Попередження виникнення і розвитку коливань при обробці РІ різанням.
5. Зниження інтенсивності спрацьовування РІ другого порядку, особливо на приробному етапі.

Перший принцип точної обробки РІ може бути реалізованим за рахунок не тільки максимального віддалення точок базування заготовки одна від одної, а й шляхом виконання кожної базової точки у вигляді координатного усереднюючого вузла (КУВ) з декількома базовими плямами. Можуть бути використаними як важільний принцип самовстановлення заготовки за двома і чотирма точками відповідно (рис. 5, а, б), так і самовстановлення з циліндричним (рис. 5, в, г) або сферичним (рис. 5, д, е) рухомими з'єднаннями, а також за клиновим (рис. 5, є) чи гідравлічним (рис. 5, ж) принципами дії.

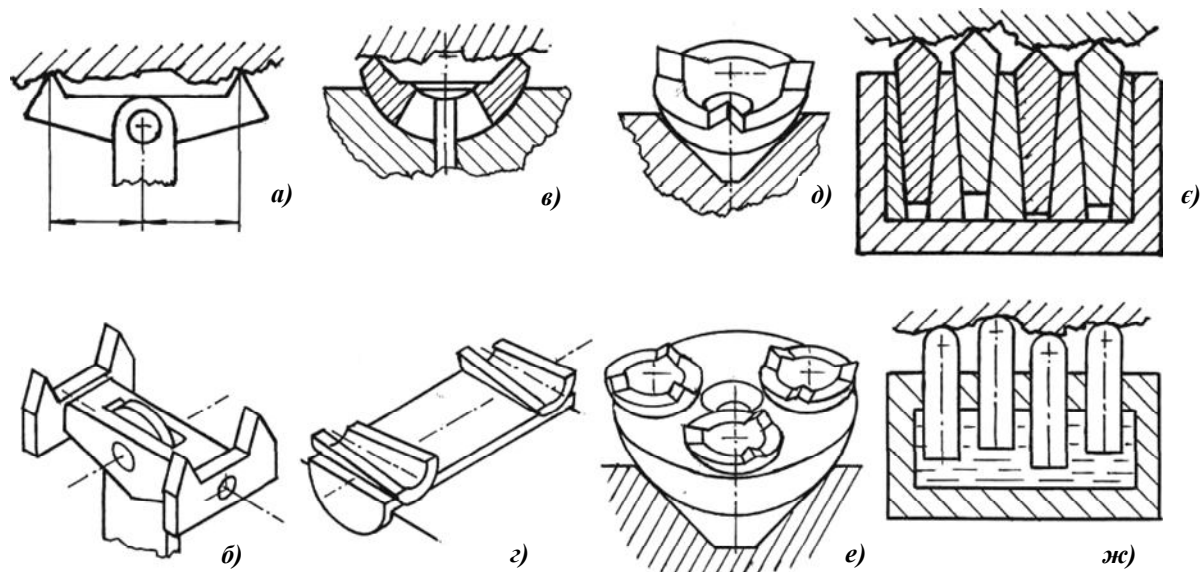


Рис. 5. Варіанти реалізації багатоконтактної упорної бази пристроїв

Другий принцип точної обробки РІ може бути впровадженим при зменшенні величин концентрованих сил різання та закріплення заготовки, а також штучним підвищенням жорсткості заготовки. Зменшення сил різання можна досягти шляхом зменшення або поділу глибини різання. Шляхом збільшення величин передніх кутів та кутів в плані РІ другого порядку, а також використанням матеріалів різальних пластинок з низьким коефіцієнтом тертя з оброблюваним матеріалом можна досягти суттєвого зниження величин сил різання. Стабілізацію і зменшення величини сил різання можна також досягти шляхом використання при конструюванні багатозубих РІ другого порядку зі східчастими або груповими схемами різання. Зниженням величин сил закріплення заготовки та їх концентрації можна отримати при раціональному розподілі загального зусилля закріплення заготовок рівномірно на декілька контактних плям за допомогою усереднюючо-розподільчих вузлів (УРВ) (рис. 5, а–ж). Штучне збільшення жорсткості заготовки можна досягти також за рахунок пристосувань, з якими заготовка має велику кількість контактів через самовстановлювальні вузли (СВ).

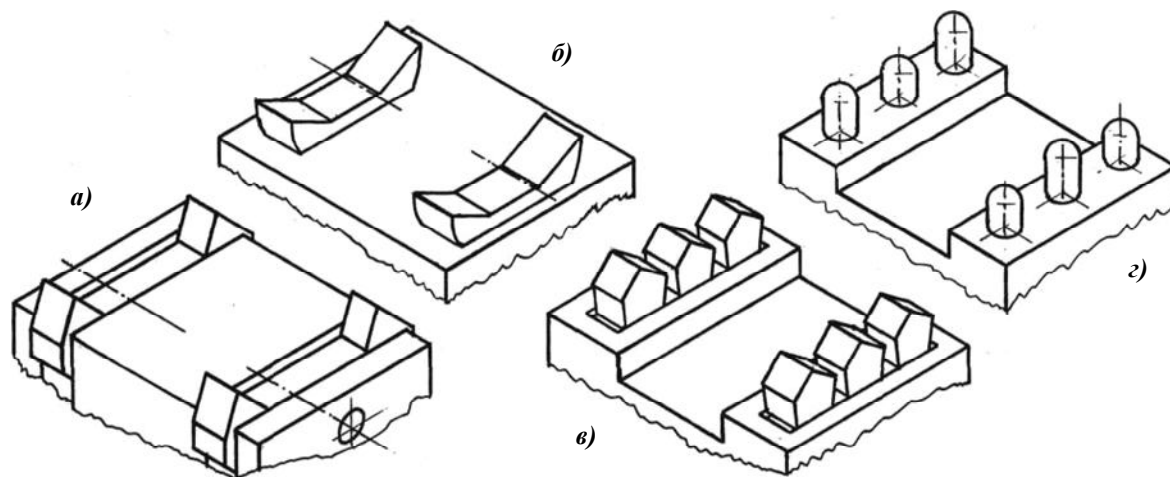


Рис. 6. Варіанти реалізації багатоконтактної напрямної бази пристроїв

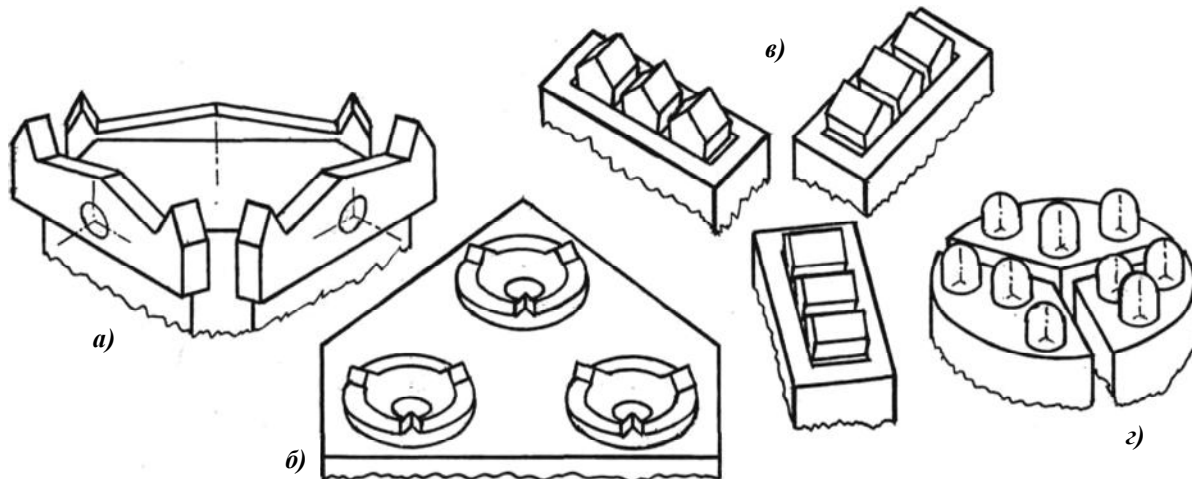


Рис. 7. Варіанти реалізації багатоконтактної установочної бази пристроїв

Реалізація напрямної бази може бути виконаною у вигляді двоточкових УРВ та СВ важільного типу (рис. 6, а), циліндричного типу (рис. 6, б), клинового типу (рис. 6, в), гідравлічного типу (рис. 6, з) та за іншими варіантами, побудованими на основі схем, показаних на рис 5, а–ж.

Реалізація установочної бази може бути виконаною у вигляді триточкових УРВ та СВ важільного типу (рис. 7, а), сферичного типу (рис. 7, б), клинового типу (рис. 7, в), гідравлічного типу (рис. 7, з), а також на основі схем, показаних на рис. 5, а–ж.

Конструкції кріпильних вузлів (не показані) пристроїв проектуються аналогічно вказаним установочним вузлам.

Третій принцип точної обробки РІ може бути втіленим при значному збільшенні кількості УРВ та СВ в пристроях, зменшенні окремих контактних зусиль обов'язково за умови стискного (а не згинального чи крутильного) деформування заготовок.

Четвертий принцип точної обробки РІ може бути впровадженим при усуненні позитивних зворотних зв'язків для елементів ГОС, наближених до зони різання, шляхом заміни їх на навантаження з відсутніми або слабкими координатними зв'язками, доцільного відносного розташування осей жорсткості РІ та заготовки, а також зниження величин їх кінетичної і потенційної енергій у вигляді величин маси та пружності відповідно. Додатково на зону різання може бути накладений динамічний блокувальний контур, виконаний, наприклад, у вигляді різця з великими передніми кутами на головній різальній кромці і малими – на допоміжній.

П'ятий принцип точної обробки РІ може бути втіленим при усуненні позитивних зворотних зв'язків з конструкції РІ другого порядку, виконанні цих РІ безвершинної конструкції косокутного різання, зменшення маси різальної частини та зниження величини жорсткості в нормальному до обробленої поверхні деталі напрямку.

**Висновки.** Таким чином, в результаті виконаного дослідження проаналізовані причини обмеженої точності обробки різальних інструментів та елементів контрольно-вимірювальної техніки. Сформульована ідея багатоконтактної установки заготовок, побудована на усереднювально-самовстановлювальній схемі базування та розподільчо-самовстановлювальній схемі закріплення. Створені декілька можливих конструкцій самовстановлювальних та розподільчих вузлів пристроїв. Розроблені принципи точної обробки різальних інструментів і елементів контрольно-вимірювальної техніки та запропоновані підходи для їх реалізації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Балакишин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – 559 с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Мельничук П.П. та ін. Технологія машинобудування: Підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 882 с.
4. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – Изд. стандартов, 1987. – 35 с.
5. Колкер Я.Д., Руднев О.Н. Базирование и базы в машиностроении. – К.: Вища школа, 1991. – 100 с.
6. Ковшов А.Н. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

7. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. – Л.: Машиностроение, 1970. – 320 с.
8. Скочко Є.В. Технологія інструментального виробництва: Навчальний посібник для вузів. – Житомир: ЖІТІ, 1999. – 154 с.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- дослідження у галузі механіки руйнування;
- технологія машинобудування.

СКОЧКО Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ТМ і КТС Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- металорізальні інструменти;
- теорія та практика різання.

Подано 07.05.2008

**Мельничук П.П., Скочко Е.В.** Основные принципы точной обработки режущих инструментов  
**Мельничук П.П., Скочко Е.В.** Основні принципи точної обробки різальних інструментів  
**Melnychuk P.P., Skochko Ye.V.** Basic principles of precise machining of cutting tools

УДК 621.01

**Основные принципы точной обработки режущих инструментов. / П.П. Мельничук, Е.В. Скочко**

На основе анализа погрешностей базирования и закрепления заготовок на приспособлениях, разработанные эффективные многоконтактные усредняющие и распределительные схемы их установки и варианты средств для реализации этих схем. Разработаны и обоснованы основные принципы точной обработки режущих инструментов и элементов контрольно-измерительной техники.

УДК 621.01

**Basic principles of precise machining of cutting tools. / P.P. Melnychuk, Ye.V. Skochko**

On the basis of analysis of error in basing and fastening of workpieces on the adaptations, the developed effective multiple-contact averaging and distributing schemes of their installation and the versions of means for the realization of these diagrams. The basic principles of the precise machining of cutting tools and elements of monitoring and measuring technology are developed and substantiated.