ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ РОЗМІРНОЮ ОБРОБКОЮ

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ РОЗМІРНОЮ ОБРОБКОЮ

Навчальний посібник до лабораторного практикуму
та практичних занять

Харків «ХАІ» 2023

УДК 629.7.02-02.002:621.9(076.5)
Т38

Колектив авторів:
Ю. В. Д’яченко, В. Т. Сікульський, І. О. Воронько,
К. В. Майорова, С. Ю. Миронова

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. О. В. Мамлюк,
канд. техн. наук, доц. Є. Т. Василевський

Технологія виробництва деталей літальних апаратів розмірною обробкою [Електронний ресурс] : навч. посіб. до лаб. практикуму та практ. занять / Ю. В. Д’яченко, В. Т. Сікульський, І. О. Воронько, К. В. Майорова, С. Ю. Миронова. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 88 с.

Т38

Викладено методику розрахунку режиму різання для токарної обробки заготовок з алюмінієвих, сталевих і титанових сплавів на верстаті з ЧПК. Подано основні етапи розроблення керувальної програми оброблення на токарному верстаті з ЧПК моделі ТПК-125ВН у режимі прямого керування від комп'ютера. Проаналізовано питання забезпечення заданої точності при токарній обробці партії деталей. Описано особливості електроерозійної й електрохімічної обробок високоміцних авіаційних матеріалів. Висвітлено питання базування деталей, методику проєктування спеціальних верстатних пристроїв, системи універсально-складальних пристроїв і області їх використання.

Для студентів, що навчаються за спеціальністю «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» й вивчають дисципліни, які пов'язані з технологіями виробництва літальних апаратів.

Іл. 54. Табл. 24. Бібліогр.: 12 назв

УДК 629.7.02-02.002:621.9(076.5)

© Колектив авторів, 2023
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2023

ВСТУП

Лабораторні заняття сприяють формуванню практичних навичок у розробленні й реалізації технологічних процесів (ТП) виробництва виробів авіаційної і ракетно-космічної техніки і відіграють важливу роль у технологічній підготовці інженерів-механіків.

Процес різання являє собою комплекс надзвичайно складних явищ, що залежать від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, якості різального інструменту, умов різання, стану верстата, жорсткості технологічної системи.

Фізичні явища, що складають процес різання, визначають необхідну основу для конструювання інструментів, верстатів і пристроїв, а також для створення більш досконаних методів оброблення. Виходячи з аналізу фізичного механізму різання, визначають оптимальний режим різання, при якому максимально використовуються властивості різального інструменту і технологічні можливості верстата й оснащення.

Одним зі шляхів підвищення ефективності автоматизованої обробки різанням на устаткуванні з ЧПК є інтенсифікація режиму різання, швидкісних і силових параметрів ТП розмірної обробки. Ці фактори поряд з підвищенням продуктивності оброблення спричиняють збільшення пружних деформацій системи «*верстат – пристрій – інструмент – деталь»*, а також динамічних і функціональних похибок оброблення. Застосування в конструкції літальних апаратів (ЛА) високоміцних матеріалів з низькою оброблюваністю клиновим різальним інструментом потребує використання електрофізичних методів розмірної обробки.

У навчальному посібнику до лабораторного практикуму та практичних занять викладено методику розрахунку режиму різання для токарних верстатів із ЧПК, розглянуто методику і технологічні особливості розроблення керувальних програм оброблення. Проаналізовано питання забезпечення заданої точності механічної обробки виробничої партії деталей на токарному верстаті з ЧПК моделі ТПК-125ВН.

Лабораторний практикум дає уявлення про технологічні можливості електроерозійної й електрохімічної обробок високоміцних авіаційних матеріалів, сприяє набуттю практичних навичок у вирішенні питань проєктування спеціальних верстатних пристроїв, застосуванні системи універсально-складальних верстатних пристроїв.

Лабораторний практикум та практичні заняття реалізуються на базі комп'ютерних інтегрованих систем CAD/CAM, що відповідає концепції сучасної інженерної підготовки авіаційних фахівців.

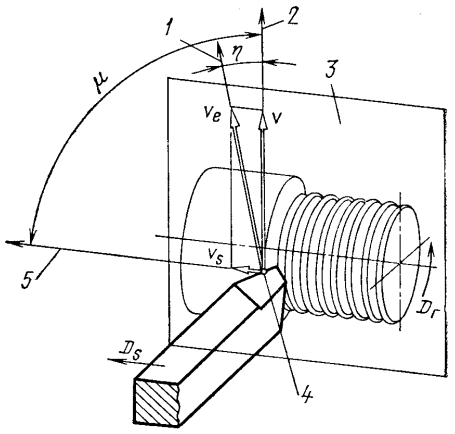
Лабораторна робота № 1

ВИВЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ

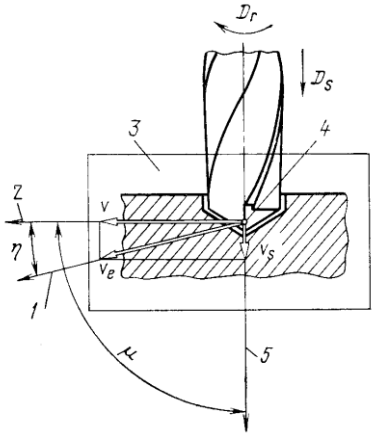
Мета роботи – ознайомлення з кінематичними елементами обробки різанням, вивчення геометричних параметрів токарного різця і їхнього впливу на процес різання при точінні.

1.1 Кінематичні елементи обробки різанням

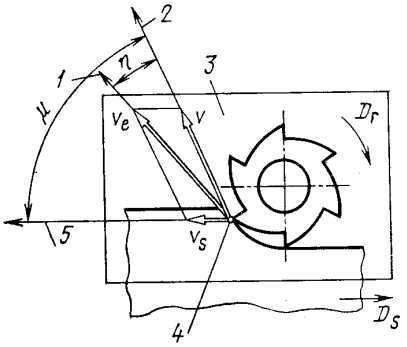
Обробка різанням – обробка, що полягає в утворенні нових поверхонь відділенням поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Утворення поверхонь супроводжується деформуванням і руйнуванням поверхневих шарів матеріалу. Всі методи обробки різанням мають загальні кінематичні елементи і характеристики (рисунок 1.1).

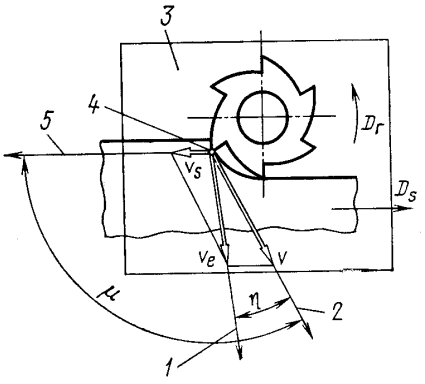


а



б





в

Рисунок 1.1 – Основні методи обробки різанням:
а – точіння; б – свердління; в – зустрічне і попутне фрезерування;
1 – напрямок швидкості результуючого руху різання; 2 – напрямок швидкості головного руху різання; 3 – робоча (головна січна) площина P_s;
4 – точка різальної кромки, що розглядається; 5 – напрямок швидкості руху подачі; η – кут швидкості різання; μ – кут подачі

Головний рух різання D_r – прямолінійний поступальний або обертальний рух заготовки або різального інструменту, що відбувається з найбільшою швидкістю в процесі різання. Забезпечує певну швидкість відділення стружки від заготовки.

Швидкість головного руху різання v – швидкість розглядуваної точки різальної кромки або заготовки в головному русі різання. Розглядається в головному русі і є відношенням шляху, пройденого точкою різальної кромки, до одиниці часу (м/хв, м/с).

Рух подачі D_S – прямолінійний поступальний або обертальний рух різального інструменту або заготовки, швидкість яких менше швидкості головного руху різання, призначений для того, щоб поширити відділення шару матеріалу на всю оброблювану поверхню. Рух подачі може бути безперервним або переривчастим, а залежно від напрямку – поздовжнім, поперечним і складним.

Швидкість руху подачі v_S – швидкість розглянутої точки різальної кромки у русі подачі.

Вектори швидкості головного руху різання і руху подачі розташовуються в робочій (головній січній) площини P_S.

1.2 Геометричні параметри токарного різця

Токарний різець як різальний інструмент має такі загальні конструктивні елементи (рисунок 1.2):

– лезо інструмента – це клиноподібний елемент різального інструмента для проникнення в матеріал заготовки і відділення шару матеріалу;

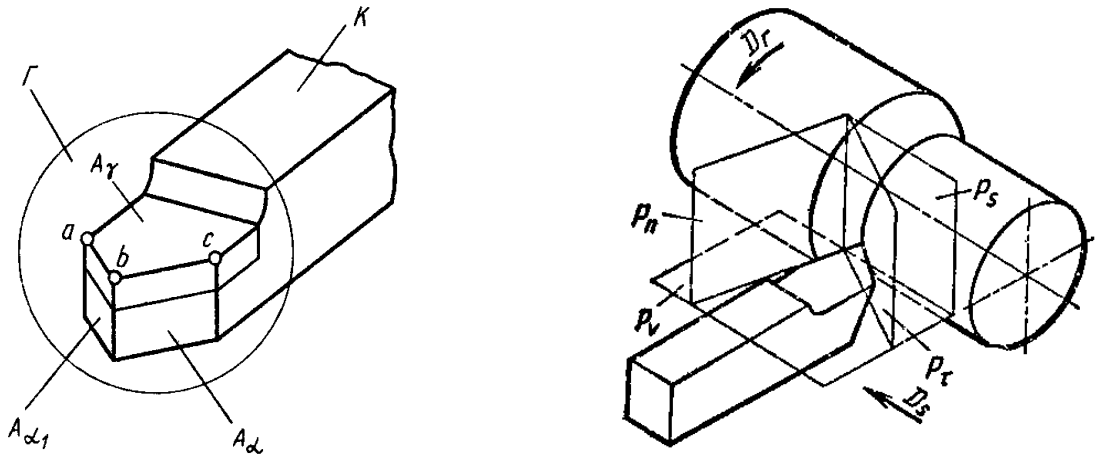
– передня поверхня різального леза A_γ (рисунок 1.2, а) – поверхня леза інструмента, що контактує в процесі різання із зрізуваним шаром у вигляді стружки;

– задня поверхня (A_α на рисунку 1.2, а) – поверхня леза інструмента, що контактує в процесі різання з поверхнями оброблюваної заготовки;

– різальна кромка – це кромка леза інструмента, що утворюється перетинанням передньої та задньої поверхонь леза.

Токарний різець (див. рисунок 1.2, а) складається з робочої частини Γ й корпусу K (стрижень, державка, хвостовик) для закріплення на верстаті та має такі типові геометричні параметри: ab – допоміжна різальна кромка; bc – головна різальна кромка; b – вершина різця; A_γ – передня поверхня; $A_{\alpha 1}$ – задня допоміжна поверхня; A_α – головна задня поверхня.

Головна різальна кромка, що виконує основну роботу різання, утворюється перетинанням передньої та головної задньої поверхонь різця. Перетинанням передньої та задньої допоміжної поверхонь утворюється допоміжна різальна кромка. Місце перетинання головної та допоміжної різальних кромок є вершиною токарного різця b (див. рисунок 1.2, а).



а б

Рисунок 1.2 – Елементи і координатні площини токарного різця

Для відліку кутів токарного різця використовують такі вихідні площини (рисунок 1.2, б): основна площина P_v, площина різання P_n, а також головна P_s і допоміжна P_τ січні площини.

Основна площина P_v паралельна векторам поздовжньої та поперечної подач. У токарних різців основна площина P_v збігається з опорною площиною корпусу різця.

Площина різання P_n є дотичною до поверхні різання і проходить через головну різальну кромку різця перпендикулярно до основної площини.

Головна січна площина P_s перпендикулярна до проєкції головної різальної кромки на основну площину, а допоміжна січна P_τ площина перпендикулярна до проєкції допоміжної різальної кромки на основну площину.

1.2.1 Геометрія токарного різця

Сукупність кутів, що визначають положення граней токарного різця відносно координатних площин, називається геометрією інструменту.

На рисунку 1.3 показано токарний різець і заготовку в проєкції на основну площину: P_n – слід площини різання; P_v – слід площини, паралельної основній площині; I – оброблювана поверхня; II – оброблена поверхня; R – поверхня різання.

Головні кути різця (γ, α, β) розглядають у головній січній площині (на рисунку 1.3 – площина $N-N$), а допоміжні кути (γ_1, α_1, β_1) – у допоміжній січній площині (на рисунку 1.3 – площина N_1-N_1).

Для визначення положення граней токарного різця відносно координатних площин використовують шість кутів:

– передній кут γ – кут між передньою гранню й основною площиною P_v;

– головний задній кут α – кут між головною задньою гранню і площиною різання (його вимірюють у головній січній площині, на рисунку 1.3 – це площина $N-N$);

– допоміжний задній кут α_1 – кут між допоміжною задньою гранню і площиною, що проходить через допоміжну різальну кромку перпендикулярно до основної P_v площини (його вимірюють у допоміжній січній площині, на рисунку 1.3 – це площина $N_1 - N_1$);

– кут нахилу λ головної різальної кромки – кут між головною різальною кромкою і основною площиною P_v (цей кут вимірюють у площині різання P_n);

– головний кут у плані φ – кут між проєкцією головної різальної кромки на основну площину і напрямком руху подачі;

– допоміжний кут у плані φ_1 – кут між проєкцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямком, протилежним руху подачі (ці кути вимірюють в основній площині P_v).

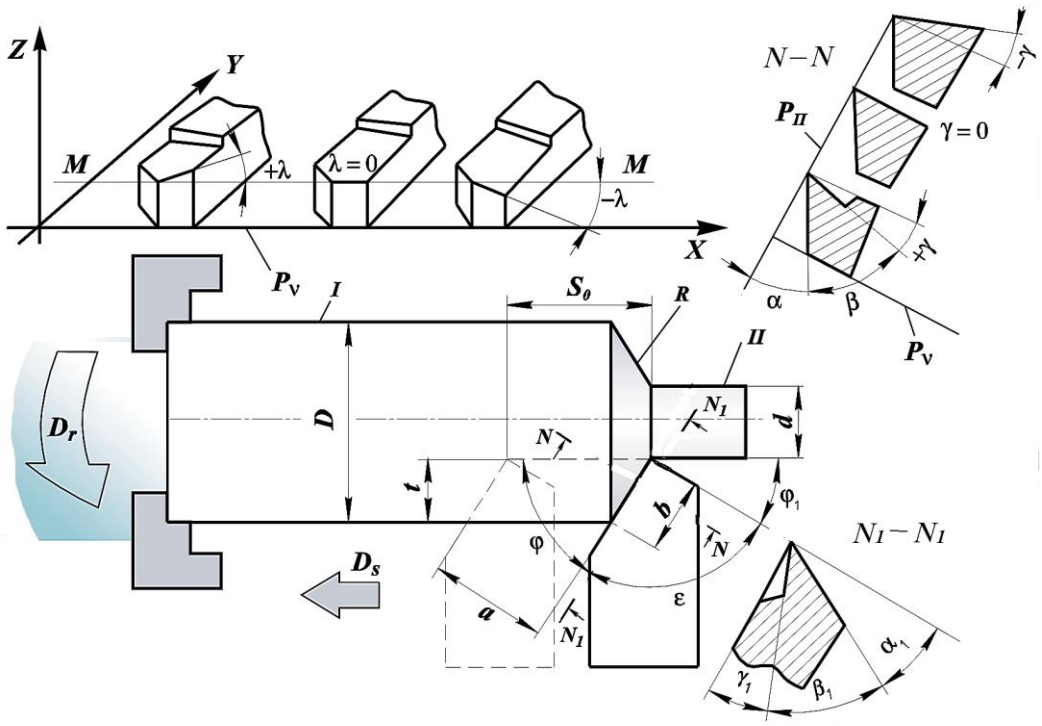


Рисунок 1.3 – Геометричні параметри токарного різця

Похідні кути токарного різця від перелічених вище: кут загострення $\beta = 90° - (\gamma + \alpha)$, кут при вершині різця $\varepsilon = 180° - (\varphi + \varphi_1)$.

Найбільш істотно на процес різання впливає передній кут γ. При додатному передньому куті різець має гострий кут різання. При цьому пластична деформація металу і сили різання зменшуються, але утруднюється тепловідведення і знижується міцність різальної частини тому, що вона працює на згин, і вірогідність її зламу зростає.

При від'ємних значеннях γ кут різання стає тупим, пластична деформація і сили різання збільшуються, але поліпшується тепловідведення і зростає міцність різальної частини тому, що вона працює на стискування, і це є більш сприятливим видом навантаження. При обробленні кольорових

металів і сплавів приймають γ від 10 до 30°; при точінні важкооброблюваних матеріалів і загартованих вуглецевих сталей, а також за наявності ливарної кірки на поверхні заготовки – γ від 0 до -10°.

Задній кут α призначено для зменшення тертя між задніми гранями різця й обробленою поверхнею, його вибирають у межах від 6 до 10°.

На процес точіння значно впливає кут нахилу λ головної різальної кромки (на рисунку 1.3 – кут між головною різальною кромкою і $M-M$ площиною, проведеною через вершину різальної частини різця паралельно основній площині P_V). Кут λ прийнято вважати додатним, якщо вершина різця – найнижча точка різальної кромки. Величина і знак кута λ впливають на напрямок сходу стружки.

Для обдирних робіт застосовуються додатні кути λ. При цьому стружка спрямовується до обробленої поверхні, де можуть відбуватися намотування її на деталь і дряпання поверхні деталі. Тому для чистової обробки застосовують різці з від'ємними кутами λ, коли стружка спрямована до оброблюваної поверхні.

Головний кут у плані φ істотно впливає на стійкість різця і шорсткість обробленої поверхні. Зі зменшенням головного кута в плані шорсткість обробленої поверхні зменшується. Однак при малих значеннях кута φ можуть виникнути вібрації, через що погіршується якість оброблюваної поверхні і збільшується спрацювання інструменту.

Товщина зрізуваного шару a вимірюється у напрямку, нормальному до різальної кромки між положеннями площини різання за одне обертання заготовки (див. рисунок 1.3): $a = S_0 \sin\varphi$.

Ширина зрізуваного шару b – це відстань між точками на поверхні заготовки, що вимірюється вздовж різальної кромки токарного різця (по ширині поверхні різання): $b = t/\sin\varphi$.

1.3 Типи токарних різців

Велика кількість різних технологічних операцій, що виконуються на токарних верстатах, зумовлює різноманіття конструкцій застосовуваних різців.

За конструктивно-технологічними ознаками токарні різці підрозділяють на такі типи (рисунок 1.4):

– за призначенням – прохідні 6, 8 і прохідні упорні 4, підрізні 1, відрізні та прорізні 5, розточувальні 10, 9, фасонні 2, нарізні 7, різці для чистової обробки 3;

– за напрямком руху – праві 6 і ліві, радіальні та тангенціальні;

– за формою різальної частини – прямі 6, 3, відігнуті 1, 4, 8, 9, 10, відтягнуті 5, 7;

– за конструкцією – суцільні, збірні з різними способами кріплення різальних пластин і різцеві блоки.

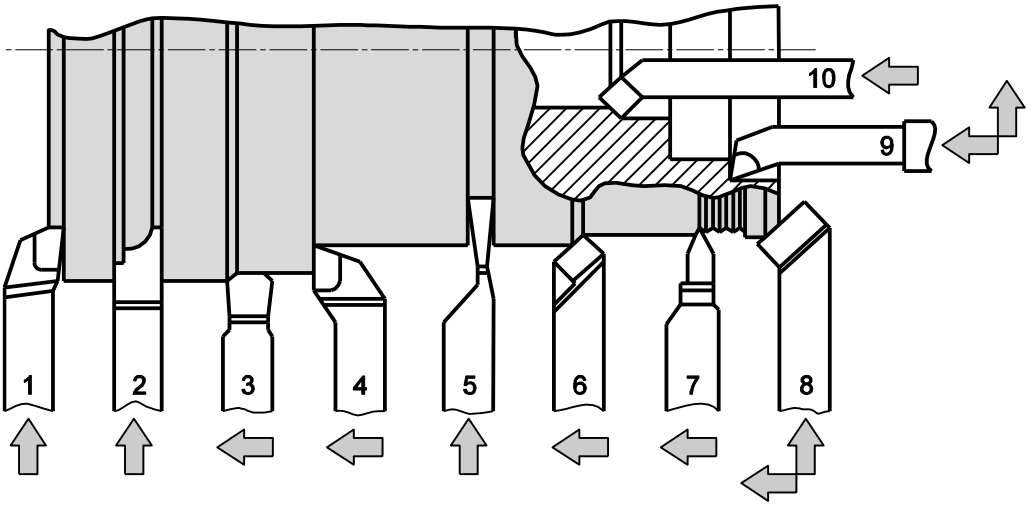


Рисунок 1.4 – Основні типи токарних різців

Типи конструкції різців вибирають з урахуванням комплексу технологічних показників (характеру операції, властивостей матеріалів, геометричних параметрів інструменту).

1.3.1 Елементи контуру токарної обробки

Поверхні деталей,що оброблюються на токарних верстатах, поділяють на торцеві площини, перпендикулярні до осі обертання, співвісні циліндри, конуси, сфери, тори і поверхні обертання з довільною криволінійною твірною, а також гвинтові поверхні, що формують різі. Твірними цих поверхонь є прямі, кола і лінії.

З технологічної точки зору ці геометричні елементи і відповідні їм поверхні прийнято поділяти на основні та додаткові (рисунок 1.5).

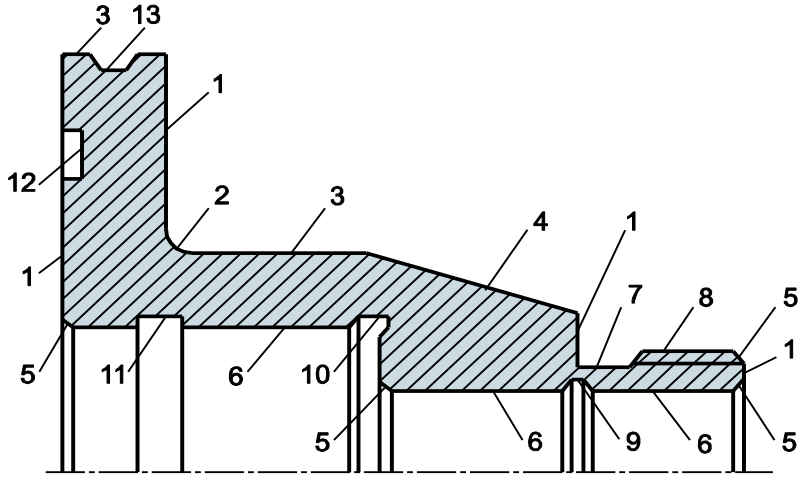


Рисунок 1.5 – Поверхні, що утворюють контур деталі:
основні: 1 – торцева; 2 – радіусна торцева; 3 – циліндрична зовнішня;
4 – конусна; 5 – фаска; 6 – циліндричний отвір; додаткові:
7 – занарізна канавка; 8 – нарізна поверхня; 9 – внутрішня трапецеїдальна
канавка; 10 – кутова канавка; 11 – внутрішня прямокутна
канавка; 12 – торцева канавка; 13 – жолоб

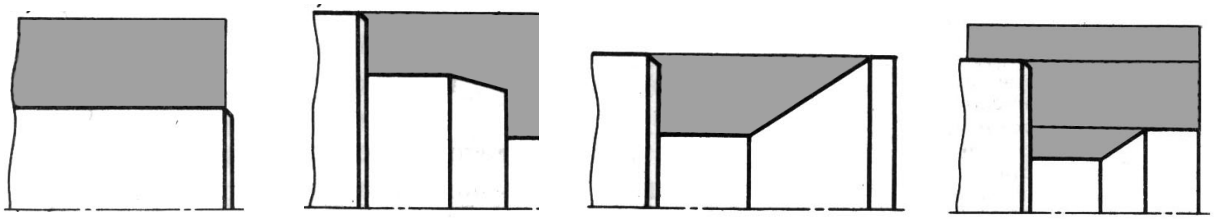
Основними елементами контуру деталі є твірні поверхонь, що можуть бути оброблені різцем для контурної обробки з головним кутом у плані $\varphi = 95°$ і допоміжним кутом у плані $\varphi_1 = 30°$. Для зовнішніх і торцевих поверхонь такий різець належить до типу прохідних, а для внутрішніх – розточувальних.

Додатковими елементами контуру деталі є твірні поверхонь, формоутворення яких не може бути виконано зазначеним різцем. До додаткових елементів контуру належать торцеві й кутові канавки для виходу шліфувального круга, канавки на зовнішній, внутрішній і торцевій поверхнях, нарізні поверхні, жолоби під паси тощо.

1.3.2 Зони токарної обробки

Кожна зона токарної обробки на верстатах із ЧПК відповідає одному технологічному переходу і формується залежно від конфігурації чорнового або чистового контуру деталі та технологічних можливостей різального інструменту, що виконує цей перехід. Для токарних різців ці технологічні можливості визначаються основним і допоміжним кутами в плані.

Зони токарної обробки поділяють на відкриті, напіввідкриті, закриті та комбіновані (рисунок 1.6).



а б в г

Рисунок 1.6 – Зони токарної обробки:
а – відкрита; б – напіввідкрита; в – закрита; г – комбінована

Відкрита зона (рисунок 1.6, а) формується при знятті припуску з циліндричної, а в деяких випадках конічної поверхні. При виборі різця для оброблення цієї зони обмеження на головний і допоміжний кути різця в плані не накладаються.

Найбільш типовою для токарної обробки є напіввідкрита зона (рисунок 1.6, б), конфігурація якої накладає обмеження на величину головного кута різця в плані.

Закрита зона (рисунок 1.6, в) зустрічається переважно при обробленні додаткових поверхонь і її конфігурація накладає обмеження на величину як головного, так і допоміжного кутів різця в плані.

Комбінована зона (рисунок 1.6, г) являє собою об'єднання двох або трьох зон, описаних вище.

1.4 Комплектування лабораторної роботи

1. Токарні різці різного типу.
2. Кутомір слюсарний.
3. Мікроскоп МБС-9 (збільшення від 4 до 100).

1.5 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися із суттю кінематичних елементів процесу обробки різанням.
2. Вивчити геометричні параметри різального інструменту, типи токарних різців, елементи контуру і зони обробки точінням.
3. Виміряти геометричні параметри токарних різців і проаналізувати їхні технологічні можливості.
4. Відповісти на контрольні запитання.
5. Оформити звіт з лабораторної роботи.

1.6 Зміст звіту

1. Короткий конспект, що відбиває елементи руху, елементи і координатні площини токарного різця.
2. Основні поняття, що визначають геометричні параметри токарного різця і їхній вплив на процес різання.
3. Ескіз токарного різця з геометричними параметрами і аналіз його конструктивно-технологічних ознак.
4. Висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. Які кінематичні елементи є загальними для процесів обробки різанням?
2. Які загальні конструктивні елементи має різальний інструмент?
3. Які координатні площини використовують для визначення кутів токарного різця?
4. Назвіть шість кутів, що визначають положення граней токарного різця.
5. Як впливають на процес різання передній і задній кути, кут нахилу головної різальної кромки?
6. На які типи поділяють токарні різці за конструктивно-технологічними ознаками?

Лабораторна робота № 2

БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК І КОНСТРУКЦІЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи – вивчення схем базування заготовок для механічної обробки з видаленням припуску; ознайомлення з призначенням і конструкцією основних елементів спеціальних верстатних пристроїв.

2.1 Базування заготовок при обробленні

Терміни і визначення основних понять базування і баз викладено в ДСТУ 2232-93.

Базування – надання заготовці або виробу необхідного положення відносно вибраної системи координат.

База – поверхня, вісь, точка, що належать заготовці або виробу і використовуються для базування.

За призначенням бази поділяють на три види: конструкторські, технологічні й вимірювальні.

Конструкторські бази використовують для визначення положення деталі у виробі. Конструкторські бази поділяють на основні і допоміжні. Основна конструкторська база призначена для визначення положення певної деталі, а допоміжна – для визначення положення деталі, що приєднується до неї.

Технологічною називається база, що використовується для задання положення заготовки або виробу при виготовленні або ремонті.

Вимірювальну базу використовують для знаходження відносного положення заготовки або виробу і засобів вимірювання.

Незалежно від призначення бази класифікують також за характером прояву (прихована і явна) і за ступенями вільності, що віднімаються під час базування від заготовки, деталі або складальної одиниці (встановлювальна, напрямна, опорна, подвійна напрямна і подвійна опорна).

Під *прихованою* розуміють базу у вигляді умовної площини, осі (наприклад, вісь симетрії деталі) або точки. База ж у вигляді реальної поверхні, розмірної риски або точки перетинання рисок називається *явною*. Технологічні бази завжди явні.

2.1.1 Комплект баз призматичної та циліндричної заготовок

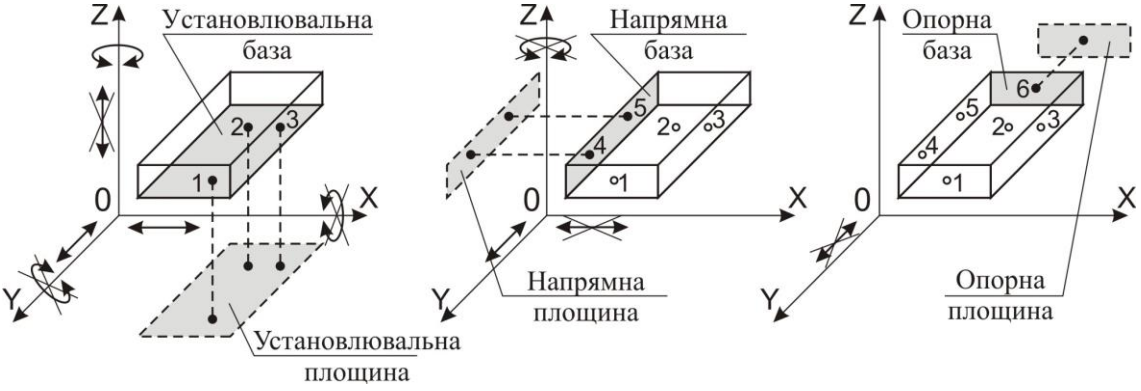
Спрощено вважають, що контакт стичних тіл відбувається в опорних точках, що символізують кожен зв'язок заготовки з вибраною системою координат.

Правило шести точок: для повного базування заготовки в просторі необхідним є комплект баз із трьох ортогональних площин, що мають шість опорних точок. *Комплектом баз* називається сукупність трьох баз, що утворюють систему координат заготовки.

Деталі літаків, вертольотів і ЛА, що одержують розмірною обробкою

різанням, мають зазвичай складну геометричну форму. На деталях, однак, можна виділити характерні геометричні поверхні – плоскі, циліндричні, конічні тощо. Для прикладу розглянемо комплект баз призматичних і циліндричних заготовок.

Комплект баз призматичної заготовки показано на рисунку 2.1.



а б в

Рисунок 2.1 – Комплект баз призматичної заготовки:
а – установлювальна база; б – напрямна база; в – опорна база

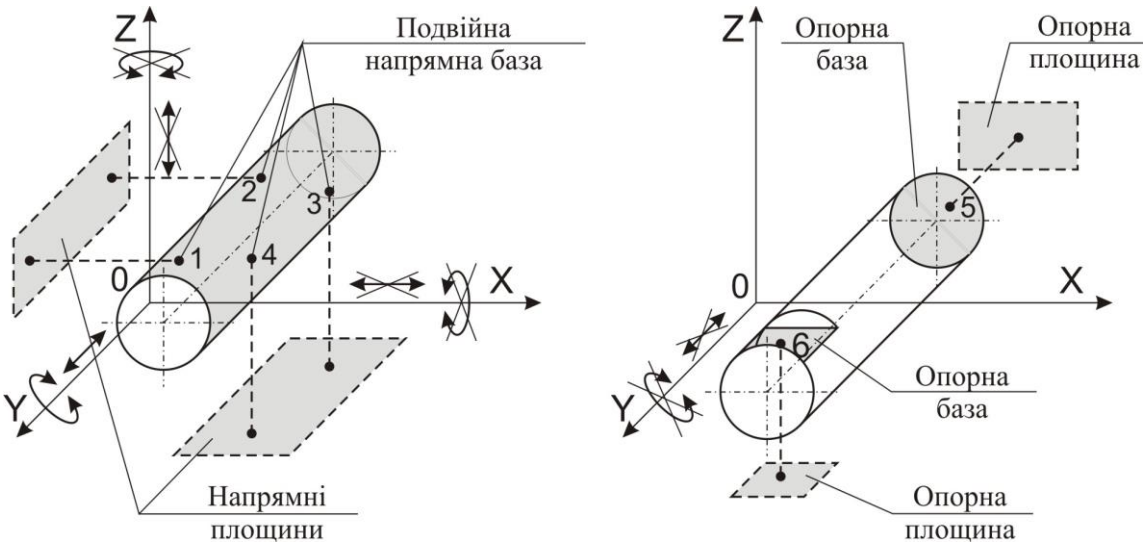
Щоб позбавити призматичну заготовку трьох ступенів вільності (можливості переміщення уздовж осі Z й обертання навколо осей X і Y), необхідно зв'язати її нижню поверхню з площиною XOY трьома жорсткими двосторонніми зв'язками 1 – 3 (рисунок 2.1, а). База, використовувана для накладення на заготовку зв'язків, що позбавляють її трьох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі та поворотів навколо двох інших осей), називається ***установлювальною***.

Для позбавлення заготовки ще двох ступенів вільності (можливості переміщення уздовж осі X й обертання навколо осі Z) необхідно зв'язати її бічну поверхню з площиною YOZ двома жорсткими двосторонніми зв'язками 4, 5 (рисунок 2.1, б). База, що використовується для накладення на заготовку зв'язків, що позбавляють її двох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі та повороту навколо іншої осі), називається ***напрямною***.

Для того щоб позбавити заготовку одного ступеня вільності (можливості переміщення вздовж осі Y), її торцеву поверхню з'єднують із площиною XOZ одним жорстким двостороннім зв'язком 6 (рисунок 2.1, в). База, що використовується для накладення на заготовку зв'язків, що позбавляють її одного ступеня вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі або повороту навколо цієї ж осі), називається ***опорною***.

Як установлювальну базу для призматичних заготовок рекомендується вибирати поверхню з максимальними габаритними розмірами, як напрямну базу – поверхню найбільшої довжини, а як опорну базу – найкоротшу поверхню заготовки.

Комплект баз циліндричної заготовки показано на рисунку 2.2.



а б

Рисунок 2.2 – Комплект баз циліндричної заготовки:
а – подвійна напрямна; б – опорні

Для базування циліндричної заготовки її бічну поверхню з'єднують зв'язками 1, 2 із площиною YOZ і зв'язками 3, 4 – із площиною XOY, позбавляючи заготовку чотирьох ступенів вільності – можливості переміщення вздовж осей X і Z, а також поворотів навколо цих осей (рисунок 2.2, а).

Поверхня циліндричної заготовки, що має чотири опорні точки, є ***подвійною напрямною базою***.

Щоб позбавити циліндричну заготовку можливості переміщення вздовж осі Y, необхідно з'єднати її торець зв'язком 5 із площиною XOZ (рисунок 2.2, б). Для забезпечення певного положення заготовки відносно власної осі має бути передбачено зв'язок 6 (див. рисунок 2.2, б) у вигляді опорної точки, що розташовується на поверхні, наприклад шпонкової лиски. Площини заготовки, що мають по одній опорній точці, відповідно до раніше наведеного визначення є опорними базами.

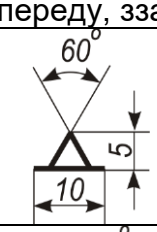
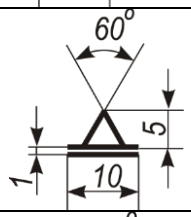
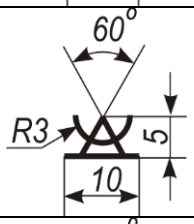
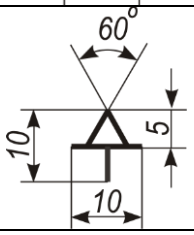
2.1.2 Схема базування заготовок

Схему розташування опорних точок на базах називають ***схемою базування***. Для орієнтованого положення заготовки у вибраній системі координат на неї необхідно накласти шість двосторонніх геометричних зв'язків (позбавити шести ступенів вільності).

Кожна опорна точка віднімає у заготовки один ступінь вільності. Зайві опорні точки (більше шести) роблять схему базування статично невизначуваною і знижують точність базування.

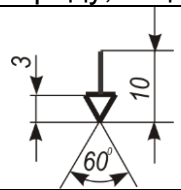
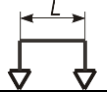
Графічне позначення опор наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Умовні позначення опор

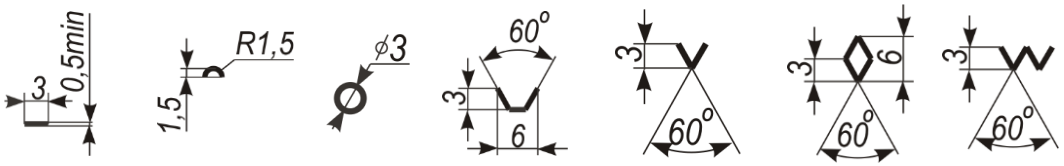
Найменування опори	Позначення опори на видах		
	спереду, ззаду	зверху	знизу
Нерухома			
Рухома			
Плаваюча			
Регульована			

Закріплення – це забезпечення нерухомості заготовки, досягнутої при базуванні. Для сталості положення заготовки і протидії силам різання до неї за допомогою затискачів прикладають зусилля закріплення, що здійснюють силове замикання у вибраній системі координат. Графічне позначення затискачів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Умовні позначення затискачів

Найменування затискача	Позначення затискача на видах		
	спереду, ззаду	зверху	знизу
Одиночний			
Подвійний			

Для зазначення форми робочої поверхні опор і затискачів застосовують позначення відповідно до рисунка 2.3. Позначення форм робочих поверхонь наносять ліворуч від позначення опори або затискача. Позначення рельєфу робочої поверхні наносять також ліворуч від відповідної опори затискача.

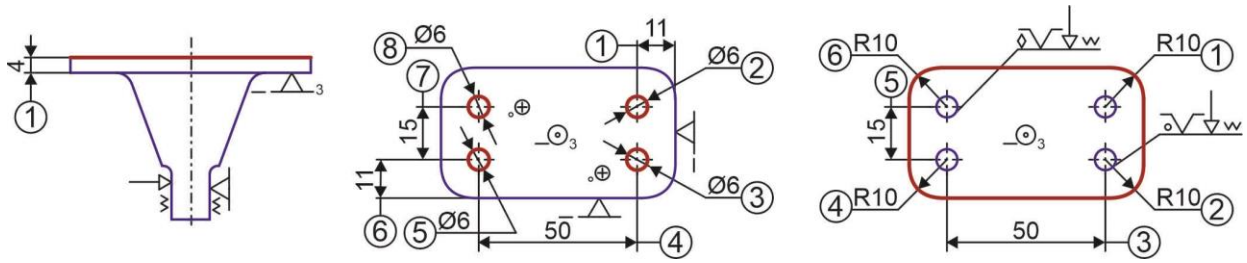


а б в г д е ж

Рисунок 2.3 – Позначення форми робочої поверхні: а – плоска; б – сферична; в – циліндрична; г – призматична; д – конічна; е – ромбічна; ж – рельєфна

На схемах базування та закріплення допускається кілька позначень однойменних опор на кожному виді замінювати одним позначенням із зазначенням їхньої кількості праворуч.

При розробленні схеми базування та закріплення виконують операційний ескіз, на якому зазначають розташування опор і затискачів, а також розміри оброблюваних поверхонь. Опори та затискачі позначають суцільною тонкою лінією, а оброблювані поверхні заготовки – суцільною основною лінією, що у два-три рази товща суцільної (рисунок 2.4).



а б в

Рисунок 2.4 – Приклади операційних ескізів для механічної обробки: а – фрезерування площини; б – свердління чотирьох отворів; в – фрезерування контуру

На операційному ескізі оброблювана заготовка зображується в тому стані, якого набуває в результаті виконання певної операції.

Методика вибору схеми базування:

– на основі аналізу конструкції, призначення деталі або складальної одиниці, простановки конструкторських розмірів і допусків визначають конструкторські бази;

– як кращий комплект технологічних баз вибирають відповідну сукупність конструкторських баз;

– послідовно розглядають можливість оброблення різних поверхонь деталі залежно від вибраного комплекту технологічних баз;

– вибраний варіант базування перевіряють на відповідність заданій (конструкторській, нормативній) точності.

Правила вибору технологічних баз:

– вибирають схему базування, що забезпечує мінімальну похибку встановлення заготовки;

– для підвищення точності виготовлення деталей застосовують

принцип *сполучення баз* – конструкторської, технологічної та вимірювальної;

– доцільно дотримуватися принципу *сталості баз*. При зміні технологічних баз протягом виконання ТП точність оброблення заготовки знижується через похибку взаємного розташування нових і технологічних баз, що застосовувалися раніше.

2.2 Класифікація верстатних пристроїв

Верстатними пристроями називають додаткові (допоміжні) пристрої до металорізальних верстатів.

Верстатні пристрої призначені:

– для встановлення оброблюваних заготовок при виконанні операцій відповідно до вимог ТП;

– підвищення точності і стабільності якості оброблення поверхонь, що забезпечується шляхом правильного базування, надійного закріплення заготовки і надання їй більшої жорсткості в процесі оброблення;

– підвищення продуктивності праці, що досягається завдяки усуненню розмітки заготовок перед обробленням, вивірки заготовок при встановленні та скороченні штучного часу на всіх технологічних операціях механічної обробки.

Усі пристрої класифікують за ступенем спеціалізації, кількістю установлюваних заготовок, рівнем механізації й автоматизації та типами верстатів.

За ступенем спеціалізації пристрої поділяють на універсальні, спеціалізовані і спеціальні.

Універсальними називають пристрої для встановлення заготовок різної конструкції у певному діапазоні розмірів. Зазвичай ці пристрої входять у комплект оснащення, що додається до верстата.

Спеціалізованими називають пристрої для встановлення однотипних заготовок, тобто заготовок, що належать до однієї класифікаційної групи, виділеної за ознаками близькості конструктивних і технологічних характеристик.

Спеціальними називають пристрої для встановлення конкретної заготовки при виконанні окремої операції.

За кількістю встановлюваних заготовок пристрої поділяють на одномісні – для встановлення однієї заготовки і багатомісні – для одночасного встановлення кількох заготовок.

За рівнем механізації й автоматизації пристрої поділяють на такі:

– ручні, в яких закріплення і розкріплення заготовки виконуються вручну;

– механізовані, в яких закріплення і розкріплення заготовок виконуються за допомогою гідравлічних, пневматичних або магнітних приводів;

– напівавтоматичні, що виконують заданий алгоритм функціонування частково за участю людини;

– автоматичні, які є автоматичними технічними пристроями (без участі людини).

За типами верстатів пристрої поділяють відповідно до методів оброблення на токарські, свердлильні, фрезерні, шліфувальні тощо.

Незважаючи на велику різноманітність конструкцій застосовуваних пристріїв, усі вони мають спільну структуру, що дозволяє поділити пристрої за функціональним призначенням на окремі частини. Такі частини пристроїв прийнято називати елементами.

Елемент – це деталь, складальна одиниця, механізм, призначені для виконання певної функції у верстатному пристрої.

Всі елементи можна об'єднати в такі основні групи: встановлювальні, затискні, напрямні, корпуси. У групі елементи розрізняються не тільки за розмірами, але й за конструктивним виконанням. Залежно від призначення конструкція пристрою може складатися з усього комплексу елементів або тільки з окремих груп елементів.

Проєктують елементи з урахуванням вимог, що ставлять до них виходячи з функції, що ними виконується. Це дозволяє використовувати спільні методи проєктування для кожної окремої групи елементів.

2.2.1 Встановлювальні елементи пристроїв

При встановленні заготовка має бути правильно зорієнтована відносно системи координат верстата. Орієнтування заготовки досягається її базуванням відповідно до правила шести точок.

Для базування заготовок використовуються встановлювальні елементи пристроїв, що жорстко з'єднані з корпусом пристрою. Встановлювальні елементи виконують у вигляді опорних штирів, пластин, кілець, втулок, пальців, призм.

Конструкція опорних штирів стандартизована – їх називають «***опори постійні»***. Опори з плоскою головкою (рисунок 2.5, а) застосовують для чистового базування попередньо оброблених плоских поверхонь, зі сферичною і насічною головками – для чорнового базування.

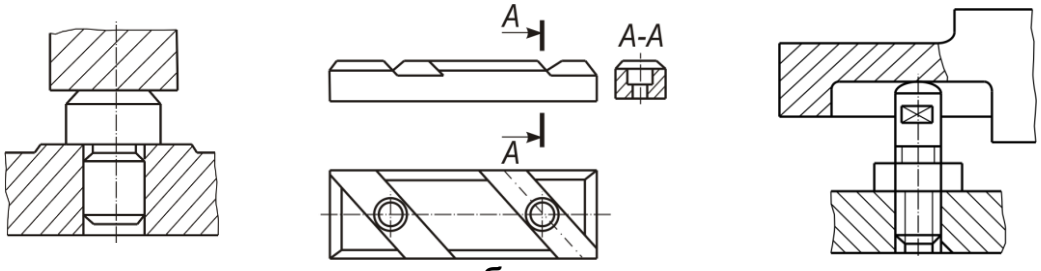


Рисунок 2.5 – Встановлювальні елементи для призматичних заготовок

Базування за допомогою ***опорних пластин*** – найбільш поширений спосіб орієнтування оброблених площин заготовки. Опорні пластини виготовляють двох типів: плоскі та з косими пазами (рисунок 2.5, б). В останніх опорні поверхні легше очищаються від стружки, тому їх слід застосовувати для встановлення в горизонтальній площині, а плоскі – на бічних поверхнях верстатного пристрою.

Базування заготовки в пристрої забезпечують основні встановлювальні елементи, що стосується застосування додаткових елементів, то вони не беруть участі у базуванні, але дозволяють надати заготовці більшої стійкості й жорсткості. Ці ***опори рухомі***, їх підводять до заготовки після базування її на основних опорах (рисунок 2.5, в).

Установлення ***на пальці*** по двох отворах і площині використовується при обробленні заготовок типу корпусів, плит. Перевагами такої схеми базування є простота конструкції пристрою, можливість дотримання принципу сталості баз на більшості технологічних операцій.

Конструктивно розрізняють установлення на два циліндричних пальці або на один циліндричний і один зрізаний пальці (рисунок 2.6). Границя застосовності цих сполучень визначається точністю діаметрів і взаємного розташування базових отворів та поворотів оброблюваних поверхонь заготовки.

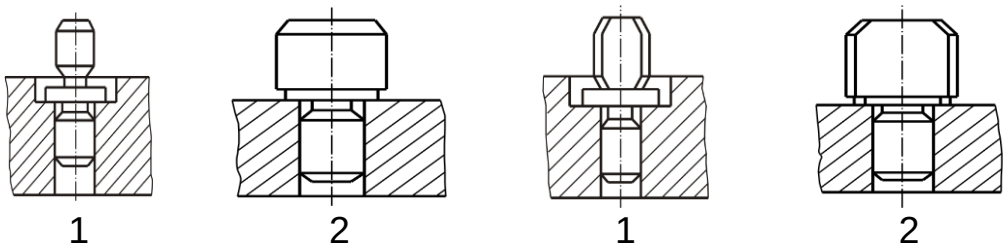


Рисунок 2.6 – Встановлювальні пальці: а – циліндричні; б – зрізані;
1 – $D < 10$ мм; 2 – $D = 10...16$ мм

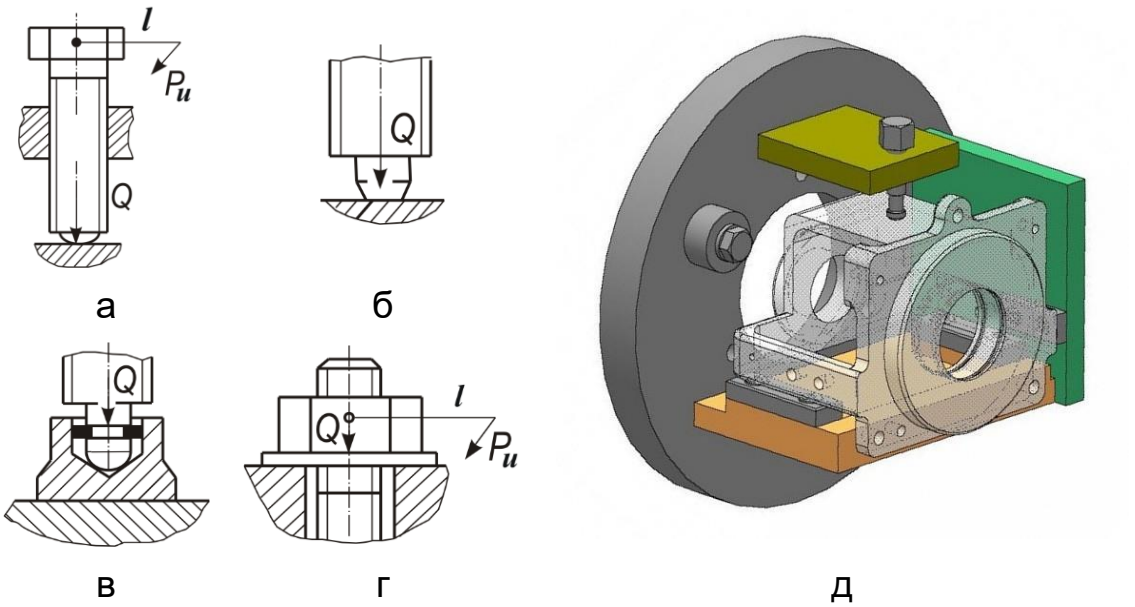
Для базування циліндричних заготовок переважно застосовують ***призми*** – встановлювальні елементи з робочою поверхнею у вигляді паза, утвореного двома площинами з кутом α між ними. Призма визначає положення осі заготовки, перпендикулярної до основи призми, внаслідок сполучення її з віссю кутового паза. Найбільшого поширення набули призми з кутом $\alpha = 90^{\circ}$. При встановленні заготовок з чисто обробленими базами застосовують призми із широкими опорними поверхнями, а для чорнових баз – з вузькими.

2.2.2 Затискні елементи пристроїв

Затискні елементи (затискачі) призначені для забезпечення контакту заготовки з установлювальними елементами і створення надійного закріплення її в процесі оброблення. При цьому заготовці надаються підвищені жорсткість і вібростійкість, що дозволяє виконувати оброблення з заданою точністю і продуктивністю. Затискні механізми пристроїв поділяють на прості (гвинтові) і комбіновані (прихоплювачі). Прості затискачі передають силу закріплення заготовки безпосередньо через одну ланку.

Гвинтові затискачі прості за конструкцією, закріплення заготовки здійснюється болтом (рисунок 2.7, а – в) або гайкою (рисунок 2.7, г).

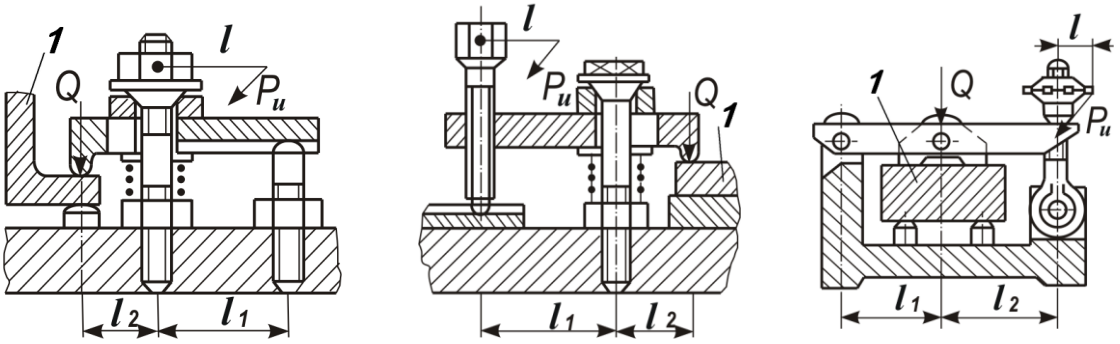
На рисунку 2.7, д показано приклад закріплення корпусної заготовки на планшайбі верстатного пристрою гвинтом із сферичним торцем.



а б в г д

Рисунок 2.7 – Гвинтові затискачі: а – гвинт зі сферичним торцем; б – гвинт із плоским торцем; в – гвинт із башмаком; г – гвинт з гайкою; д – приклад закріплення заготовки гвинтом; Q – затискне зусилля; $P_и$ – вихідне зусилля; l – плече, на якому прикладається вихідне зусилля

Комбіновані затискні пристрої, що складаються з важеля в сполученні з гвинтовим, ексцентриковим або клиновим механізмом, називають ***прихоплювачами*** (рисунок 2.8). Прихоплювачі застосовують для збільшення сил затиску, зміни величини ходу або напрямку затиску заготовки в пристрої.



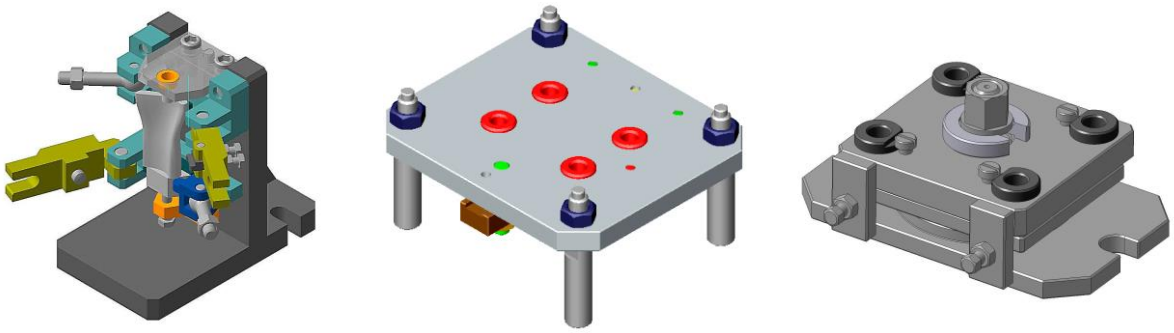
а б в

Рисунок 2.8 – Конструкції прихоплювачів: а, б – з регульованою опорою; в – з відкидною планкою; *1* – заготовка; l – плече вихідного зусилля; l_1, l_2 – плечі важелів; Q – затискне зусилля; $P_и$ – вихідне зусилля

2.2.3 Напрямні елементи пристроїв

Напрямні елементи пристроїв – ***кондукторні втулки*** застосовують для визначення положення і напрямку різноманітних осьових інструментів при обробленні отворів – свердл, зенкерів, розгорток тощо. Вони визначають положення осі інструменту відносно встановлювальних елементів

пристрою і підвищують його радіальну жорсткість. При цьому відпадає необхідність у розмітці заготовок, внаслідок чого підвищується продуктивність оброблення та точність розташування отворів. Оснащені кондукторними втулками пристрої для оброблення отворів на верстатах свердлильної групи прийнято називати ***кондукторами*** (рисунок 2.9).

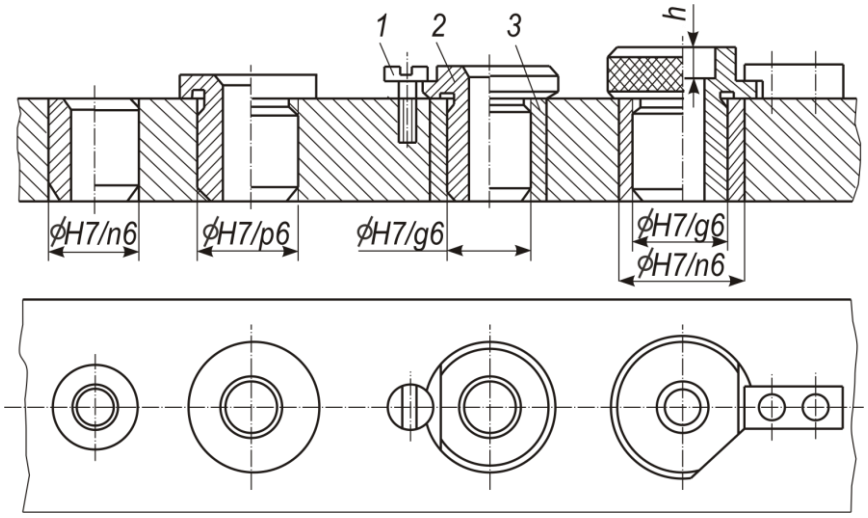


а б в

Рисунок 2.9 – Приклади загального вигляду кондукторів різного компонування: а – корпусний; б – стійковий; в – коробчастий

Для встановлення кондукторних втулок призначені кондукторні плити, їхня товщина зазвичай становить 15...30 мм.

Розрізняють три види стандартних кондукторних втулок: постійні (без буртика або з буртиком), змінні та швидкозмінні (рисунок 2.10).



а б в г

Рисунок 2.10 – Стандартні кондукторні втулки: а – постійна без буртика; б – постійна з буртиком; в – змінна; г – швидкозмінна; 1 – гвинт; 2 – змінна втулка; 3 – проміжна втулка

Постійні втулки застосовують, коли отвір на операції обробляється лише одним інструментом – свердлом. *Змінні втулки*, як і постійні, використовують при обробленні отворів одним інструментом, але у випадках, коли необхідна часта їх заміна через спрацювання.

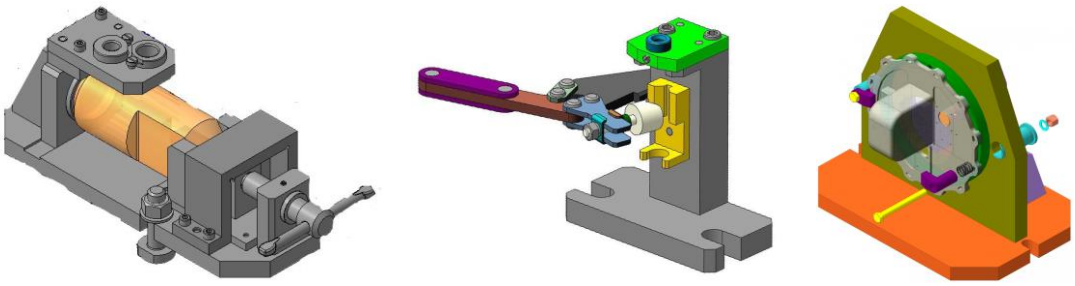
Швидкозмінні втулки застосовують у тих випадках, коли отвір обробляють послідовно декількома інструментами, наприклад свердлом, зенкером та розгорткою. Для спрямування кожного з них передбачається своя швидкозмінна втулка. Усі втулки мають однаковий зовнішній діаметр, а внутрішні – діаметр відповідного інструменту.

Буртик у швидкозмінних втулках робиться високим і з накаткою для зручності утримання під час їх зняття та встановлення. На буртику є наскрізний поздовжній зріз, що дозволяє легко виймати і вставляти втулку при заміні, а також бічний уступ для кріплення планкою, яка утримує від виштовхування втулки стружкою. При знятті втулку повертають проти годинникової стрілки до збігу зрізу з планкою і піднімають вгору.

Висота постійних, змінних і швидкозмінних втулок становить 1,5 – 2 діаметри отвору втулки під інструмент. Відстані від нижнього торця втулки до поверхні заготовки вибирають такими, що дорівнюють 0,3 – 0,9 діаметра отвору. Різальний інструмент направляється в отвори всіх кондукторних втулок по рухомій посадці з гарантованим зазором.

2.2.4 Корпуси верстатних пристроїв

Корпус – це основна частина пристрою, на якій розміщуються і закріплюються в суворо певному положенні всі інші елементи, утворюючи при цьому єдину конструкцію. На корпусі за необхідності передбачають базові посадкові поверхні для орієнтації та кріплення кондуктора на столі свердлильного верстата (рисунок 2.11, а, б) або верстатного пристрою на столі фрезерного верстата (рисунок 2.11, в).



а б в

Рисунок 2.11 – Приклади компонування корпусів спеціальних верстатних пристроїв: а, б – кондуктора; в – пристрою для фрезерування

На практиці найбільшого поширення набули литі, зварні та збірні корпуси спеціальних верстатних пристроїв. Для забезпечення зручного очищення від стружки в конструкції корпусів необхідно уникати заглиблень і важкодоступних місць, а також передбачати спеціальні вікна.

У Додатку А подано комп'ютерні моделі спеціальних верстатних пристроїв, що були розроблені у різні роки студентами кафедри технології виробництва літальних апаратів при виконанні курсового проєкту «САПР технологічного оснащення» та технологічного розділу кваліфікаційної роботи бакалавра.

2.3 Комплектування лабораторної роботи

1. Спеціальні верстатні пристрої для різних типів верстатів.

2. Варіанти оброблюваних поверхонь для розроблення операційних ескізів (Додаток Б).

2.4 Порядок проведення лабораторної роботи

1. Вивчити теоретичні положення, пов'язані з базуванням призматичних і циліндричних заготовок.

2. Вивчити основні конструктивні елементи і методику проєктування спеціальних верстатних пристроїв.

3. Ознайомитися з конструкцією спеціальних верстатних пристроїв для свердління та фрезерування.

4. Розробити операційний ескіз оброблення для одного з варіантів за завданням викладача відповідно до Додатка Б.

5. Відповісти на контрольні запитання.

6. Оформити звіт з роботи.

2.5 Зміст звіту

1. Короткий конспект, що містить основну термінологію і схеми базування призматичних і циліндричних заготовок.

2. Основні положення про конструктивні елементи і методику проєктування спеціальних верстатних пристроїв.

3. Операційний ескіз для заданого варіанта оброблення.

4. Висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. На які види за призначенням поділяють бази?

2. Які бази утворюють комплект баз для призматичних і циліндричних заготовок?

3. Перелічіть правила вибору технологічних баз.

4. Як класифікують верстатні пристрої?

5. Які встановлювальні елементи застосовують для базування призматичних і циліндричних заготовок?

6. Який принцип дії закладено в основу конструкції прихоплювачів?

7. Які функції виконують постійні, змінні та швидкозмінні кондукторні втулки верстатних пристроїв?

8. Які конструктивні елементи розміщують на корпусі спеціального верстатного пристрою?

Лабораторна робота № 3

РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

Мета роботи – вивчення технологічних особливостей розрахунку режиму різання для оброблення деталей на токарних верстатах із ЧПК, набуття практичних навичок у розробленні операційних технологій програмної обробки точінням.

3.1 Послідовність оброблення поверхонь заготовки

Токарна обробка широко застосовується при виготовленні тіл обертання складної форми і підвищеної точності з різних конструкційних матеріалів.

За характером оброблення розрізняють такі ***види точіння***:

– *чорнове* – видалення дефектних шарів заготовок, розрізування, відрізування і підрізування торців заготовок, зрізання поверхневої «кірки» і основної (до 70 %) частини припуску на оброблення;

– *напівчистове* – зняття від 20 до 25 % припуску; шорсткість R_z = 40...20, точність 10 – 11-го квалітетів; заготовка набуває форми, близької до форми деталі;

– *чистове* – шорсткість R_z = 20…1,25, точність 7 – 9-го квалітетів; деталь набуває остаточної форми і розмірів;

– *тонке (алмазне)* – зрізання дуже тонкої стружки; шорсткість R_z = 0,65…0,32, точність 5 – 7-го квалітетів.

Після ознайомлення з кресленням деталі та технічними умовами на її виготовлення вибирають послідовність оброблення поверхонь деталі та кількість установів заготовки на верстаті.

Установ – це частина технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваної заготовки.

Для кожного технологічного установу визначають:

– послідовність оброблення по зонах (відкрита, напіввідкрита тощо) залежно від конструктивних особливостей деталі;

– послідовність оброблення за видами (наприклад, чорнова, чистова) у кожній зоні;

– сукупність елементів деталі, що оброблюються одним інструментом у кожній зоні.

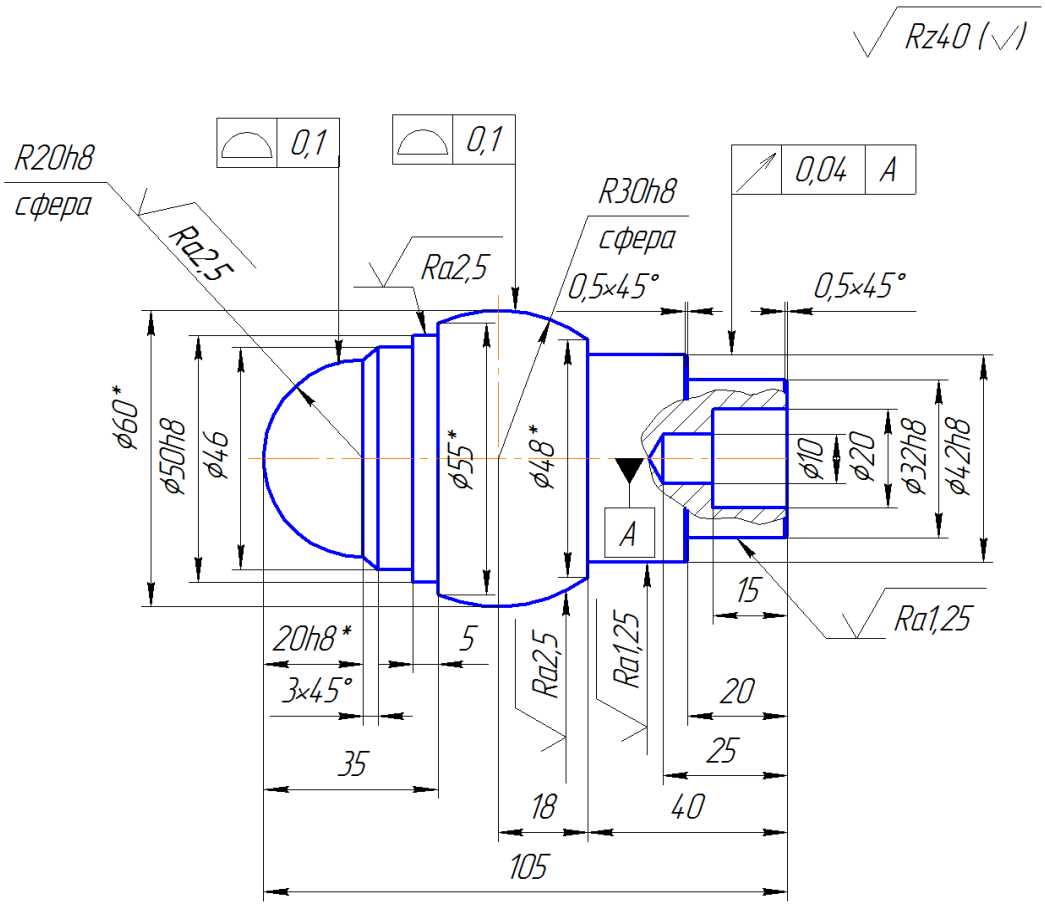
Технологічний перехід – це закінчена частина операції, яка виконується тими самими засобами оснащення в кожному з установів при постійному режимі різання. Кожна зона токарної обробки на верстатах із ЧПК відповідає одному технологічному переходові і формується залежно від конфігурації чорнового або чистового контуру деталі і технологічних можливостей різального інструменту, що виконує цей перехід.

Для токарних різців ці технологічні можливості визначаються основним φ і допоміжним φ_1 кутами в плані. Зазначені питання розглянуто в

лабораторній роботі № 1.

Аналіз креслення деталі «Опора» (рисунок 3.1) показує, що необхідні відповідно до вимог креслення точність і шорсткість оброблення деталі забезпечать чистовий вид точіння, наявність сферичних поверхонь на деталі потребує використання токарного верстата з ЧПК.

Остаточну чистову обробку поверхонь деталі «Опора» можна виконати за два установи.



*1. * Розміри для довідок.*

2. h12, H12, ± IT12/2.

Рисунок 3.1 – Креслення деталі «Опора»

Кожний із двох установів для цієї деталі можна виконати за один технологічний перехід за допомогою прохідного різця, оскільки геометрична форма його різальної частини дозволяє точити торцеві площини, уступи, фаски, циліндричні, сферичні й конічні поверхні. Зони токарної обробки деталі «Опора» у кожному установі – напіввідкриті й відкриті.

Вивчення технічних характеристик токарного верстата з ЧПК моделі ТПК-125ВН (див. Додаток В) показує, що розміри робочого простору і паспортна точність цього верстата дозволяють виготовити деталь «Опора» з необхідною за кресленням точністю циліндричних і сферичних поверхонь, а також їхнього взаємного розташування.

3.2 Режим різання при токарній обробці

Режим різання – сукупність значень швидкості різання, подачі та глибини різання. Ці фактори залежать від матеріалу заготовки і його властивостей на цій операції оброблення, матеріалу і геометрії різального інструменту, виду обробки. Як вихідні дані вважають фізико-механічні характеристики матеріалу заготовки, величину припуску і вид обробки (чорнова або чистова).

3.2.1 Особливості розрахунку режиму різання при точінні на верстатах із ЧПК

Режим різання при токарній обробці на верстатах із ЧПК призначають на основі операційного ескізу. На операційному ескізі програмної обробки для кожного установу показують креслення деталі з операційними і довідковими розмірами, схему базування і закріплення заготовки, систему координат з нульовою точкою деталі W (рисунок 3.2).

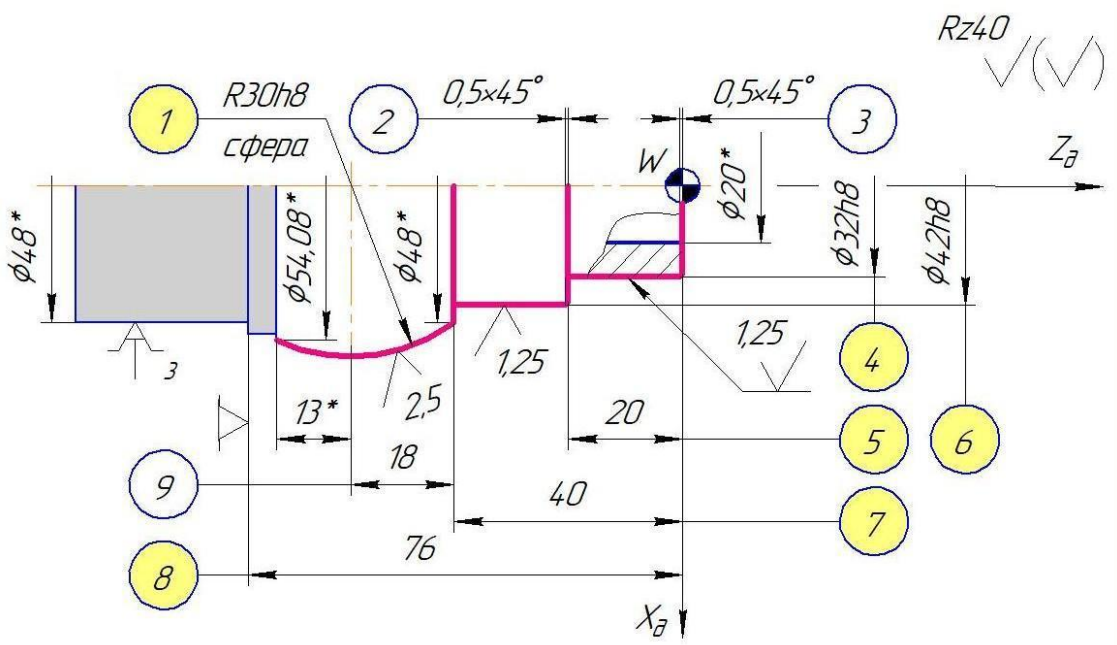


Рисунок 3.2 – Операційний ескіз деталі «Опора»
(перший установ, чистове точіння)

Нульова точка деталі (нуль деталі) W – точка на деталі, відносно якої задають розміри деталі для розроблення керувальної програми. Перелік розмірів відносно нуля деталі W на операційному ескізі є необхідним для програмування траєкторії переміщення інструменту в кожному з технологічних переходів.

Операційні розміри, тобто геометричні розміри і шорсткість поверхонь деталі, які необхідно одержати при обробленні в певному установі, нумерують цифрами в кружках з напрямком обходу нумерації за годинниковою стрілкою. Оброблений контур деталі виділяють жирною лінією. Режим різання розраховують для всіх операційних розмірів, за винятком фа-

сок, що належать до попередніх за черговістю оброблення поверхонь деталі.

Крім операційного ескізу обов'язковим елементом операційної технології програмної обробки на верстатах із ЧПК є кінематична схема переміщення інструменту для кожного технологічного переходу – розрахунково-технологічна карта (РТК) (рисунок 3.3).

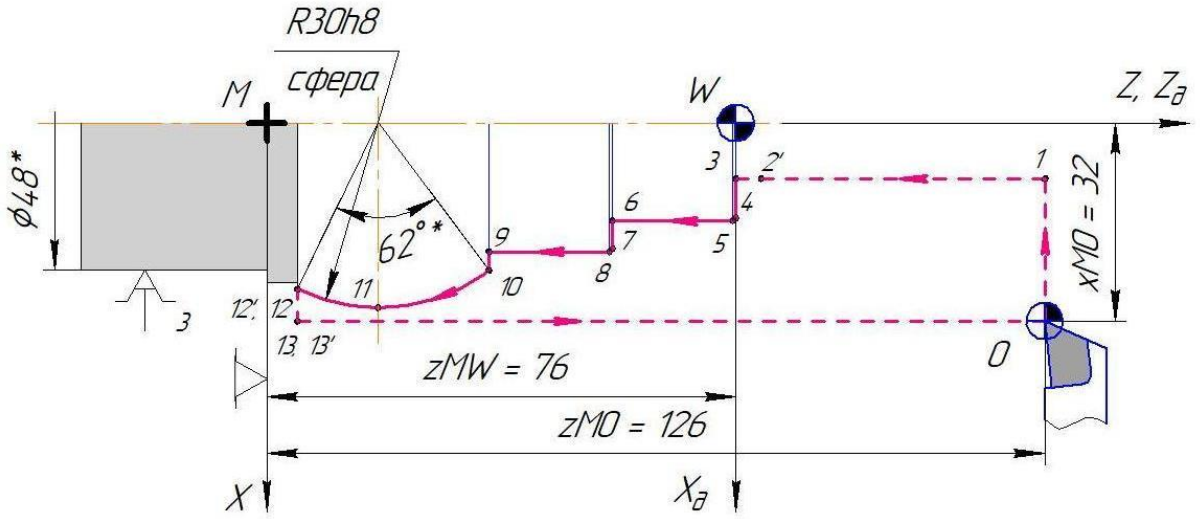


Рисунок 3.3 – РТК оброблення чистового точіння деталі «Опора» (перший установ, чистове точіння): 1, 2,…, 13 – опорні геометричні точки; 2',..., 12', 13' – опорні технологічні точки

РТК має містити такі дані:

1. Прямокутні системи координат XMZ з указанням відліку в нульовій точці верстата M і деталі $X_{\partial}MZ_{\partial}$ з початком відліку в нульовій точці деталі W і зазначенням напрямку осей, координати вихідної точки верстата O. Нульова точка верстата (нуль верстата) M – точка, взята за початок координат верстата. Вихідна точка верстата (вихідна точка) O – точка, визначена відносно нульової точки верстата, що використовується для початку роботи за керувальною програмою.

2. Контур деталі, що підлягає обробленню, із зазначенням схеми базування і закріплення заготовки, а також довідкові розміри, необхідні для програмування.

3. Траєкторію руху вершини токарного різця в системі координат верстата XMZ. Початком і кінцем траєкторії є вихідна точка верстата O з заданими за паспортом верстата координатами XMO, ZMO. На лінії руху вершини токарного різця позначають опорні точки – геометричні і технологічні, в яких відбувається змінення геометрії траєкторії або умов оброблення. Основною лінією позначають ділянки робочого ходу, пунктирною – ділянки допоміжного ходу.

Робочий хід – це закінчена частина технологічного переходу, що полягає в однократному переміщенні інструменту відносно заготовки, що супроводжується зміненням форми, розмірів, шорсткості поверхні. На робочих ходах відбувається зняття стружки, тобто досягається мета операції.

Допоміжний хід – це закінчена частина технологічного переходу, що полягає в однократному переміщенні інструменту відносноо заготовки для підготовки робочого ходу. При виконанні допоміжних ходів інструмент переміщується по повітрю на прискореній подачі для підведення до оброблюваної поверхні заготовки і відведення від обробленої поверхні після виконання робочих ходів.

Кожному розміру на операційному ескізі відповідає геометричний елемент РТК – безперервна ділянка розрахункової траєкторії або контуру деталі, що задається тим самим законом. Напрямок обходу для наочності задають стрілками на кожній ділянці траєкторії руху вершини різця.

3.2.2 Методика розрахунку режиму різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК

Розрахунок режиму різання при точінні на верстатах із ЧПК виконують у такій послідовності:

1. Призначають вид інструментального матеріалу і його марку.
2. Вибирають геометричні елементи різальної частини різця.
3. Призначають глибину різання.
4. Розраховують подачу на оберт.
5. Призначають період стійкості токарного різця.
6. Розраховують швидкість різання.
7. Розраховують номінальну частоту обертання шпинделя.
8. Розраховують силу і потужність різання.
9. Визначають основний час оброблення.

Нижче наведено інформацію, необхідну для кожного етапу розрахунку режиму різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК.

1. Призначення виду інструментального матеріалу та його марки. Матеріал різальної частини токарного різця вибирають за нормативними даними згідно з таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір марки матеріалу різця при різних видах точіння

Вид і характер оброблення	Оброблюваний матеріал		
	Сталі	Титанові сплави	Алюмінієві сплави
Чорнове точіння при переривчастому різанні з ударами	Т5К10 Т5К12	ВК8	ВК4 ВК6
Напівчистове точіння при переривчастому різанні з ударами	Т15К6 Т5К10	ВК4	ВК4 Т15К6
Чистове точіння при безперервному різанні	Т30К4	ВК4 ВК3М	ВК3 Т15К6

2. Вибір геометричних елементів різальної частини різця. Оптимальні значення кутів різальної частини токарного різця визначають за нормативами через поправковий коефіцієнт K_p сили різання

$$K_p = K_{mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p}, \qquad (3.1)$$

де K_{mp} – поправковий коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу (таблиця 3.2);

$K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$ – поправкові коефіцієнти, що враховують геометричні параметри різальної частини інструменту (таблиця 3.3).

Таблиця 3.2 – Значення поправкового коефіцієнта K_{mp}

Оброблюваний матеріал	Границя міцності $\sigma_в$, МПа	Поправковий коефіцієнт
Сталі	≤ 600	$(\sigma_в/750)^{0,35}$
	> 600	$(\sigma_в/750)^{0,75}$
Титанові сплави	< 800	$(\sigma_в/750)^{0,40}$
	≥ 800	$(\sigma_в/750)^{0,70}$
Алюмінієві сплави	< 350	2,00
	≥ 350	2,75

Таблиця 3.3 – Значення поправкових коефіцієнтів $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$

Геометричні параметри різця		Поправковий коефіцієнт	
Головний кут різця в плані φ, град	75	$K_{\varphi p}$	1,08
	90		1,00
	95		0,94
Передній кут різця γ, град	15	$K_{\gamma p}$	1,25
	0		1,35
	-10		1,40
Кут нахилу λ головної різальної кромки, град	5	$K_{\lambda p}$	1,00
	0		
	-5		

Значення кутів токарного різця дивись у підрозділі 3.3 лабораторної роботи.

3. Призначення глибини різання. Глибина різання t, мм, – товщина шару припуску, яка знімається за один робочий хід інструменту, що вимірюється перпендикулярно до осі або поверхні заготовки.

При токарній обробці циліндричних поверхонь глибина різання

$$t = 0,5(D - d), \tag{3.2}$$

де D – діаметр заготовки до оброблення; d – діаметр заготовки або деталі після оброблення за один робочий хід інструменту.

4. Розрахунок подачі на оберт. Подача на оберт S_o, мм/об, – величина переміщення різальної кромки різця у напрямку руху подачі за один оберт заготовки. Для чорнового точіння подача на оберт S_o залежить від глибини різання t. Для чистового точіння подача на оберт S_o є функцією параметра шорсткості R_z. Величину подачі на оберт для токарних операцій, що здійснюються на верстатах із ЧПК, розраховують за емпіричними

формулами, наведеними у таблицях 3.4 – 3.6.

Таблиця 3.4 – Подача на оберт при чорновому точінні на верстатах із ЧПК $S_o = Kt^x D_{max}^y D_o^z$, мм/об

Оброблюваний матеріал	K	x	y	z
Сталі	0,15	-0,33	0,19	0,20
Титанові сплави	0,67	-0,35	0,22	0,20
Алюмінієві сплави	0,29	-0,30	0,08	0,25
Примітка. K, x, y, z – коефіцієнти пропорційності і показники степеня; D_{max}, D_o – максимальний діаметр і діаметр поверхні, що оброблюється в певному переході, мм; t – глибина різання, мм				

Таблиця 3.5 – Подача на оберт при чистовому точінні на верстатах із ЧПК $S_o = K_1 D_{max} + K_2 R_z + b$, мм/об

Оброблюваний матеріал	K_1	K_2	b
Сталі	0,00012	0,013	0,012
Титанові сплави	0,00009	0,008	0,056
Алюмінієві сплави	0,00016	0,011	0,036
Примітка. D_{max} – найбільший діаметр оброблюваної поверхні деталі, мм; R_z – параметр шорсткості, мкм; K_1, K_2, b – коефіцієнти пропорційності			

Таблиця 3.6 – Подача на оберт при чистовому точінні фасонних поверхонь на верстатах із ЧПК $S_o = KD_{max}^x R_z^y F^z$, мм/об

Оброблюваний матеріал	Група подач	K	x	y	z
Сталі	II	0,017	0,27	0,40	-0,45
Титанові сплави	II	0,010	0,28	0,73	-0,56
Алюмінієві сплави	II	0,011	0,33	0,60	-0,34
Примітки: 1. K, x, y, z – коефіцієнт пропорційності та показники степеня; D_{max} – найбільший діаметр оброблюваної поверхні деталі, мм; R_z – параметр шорсткості фасонної поверхні, мкм; F – кут нахилу твірної оброблюваного фасонного контуру, град 2. Група подач: II – інтерполятор з імпульсним множенням, привід подач з ціною імпульсів $\Delta x = 0{,}001$ мм, $\Delta z = 0{,}002$ мм					

5. Призначення періоду стійкості токарного різця. Період стійкості T, хв, – це час різання новим або відновленим різальним інструментом від початку різання до досягнення припустимої величини затуплення, після чого необхідно переточувати інструмент. На вибір періоду стійкості різального інструменту впливають вид обробки і характер різання.

Надійність роботи інструменту зменшується у разі врізування його різальної кромки в необроблену поверхню заготовки. Тому рекомендується спочатку зробити один робочий хід різцем по поверхні торця в напрямку до осі обертання заготовки й один робочий хід по циліндричній поверхні па-

ралельно осі обертання. Подальший напрямок переміщення різця вибирають виходячи з умов мінімальної кількості робочих ходів, якщо можливий рух різця у зазначених напрямках при незмінному режимі різання.

За нормативами середнє значення періоду стійкості токарних різців становить від 30 до 60 хв.

6. Розрахунок швидкості різання. Швидкість різання ν, м/хв, при токарній обробці є коловою швидкістю точки, взятої на найбільшому діаметрі заготовки. Величину швидкості різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК розраховують за емпіричною формулою, наведеною в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахункова швидкість різання для точіння на верстатах із ЧПК $\nu_{розр} = C_\nu K_\nu / T^m t^x S_o^y$, м/хв

Оброблюваний матеріал	Подача S_o, мм/об	C_ν	K_ν	x	y	m
Сталі	≤ 0,3	420	1,1	0,15	0,20	0,2
	> 0,3	350	0,8		0,35	
Титанові сплави	≤ 0,3	400	0,8	0,14	0,16	0,18
	> 0,3	410	0,7		0,20	
Алюмінієві сплави	≤ 0,2	485	0,5	0,12	0,25	0,28
	> 0,2	328	0,4		0,50	
Примітка. C_ν, K_ν – коефіцієнти пропорційності; m, x, y – показники степеня; T – період стійкості різця, хв; t – глибина різання, мм; S_o – подача на оберт, мм/об						

7. Розрахунок номінальної частоти обертання шпинделя. Номінальну частоту обертання шпинделя $n_{розр}$, 1/хв , розраховують для зовнішніх, торцевих, циліндричних і сферичних поверхонь деталі за формулою

$$n_{розр} = 1000\nu_{розр} / \pi D, \qquad (3.3)$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

Для кожного застосовуваного токарного різця (тобто технологічного переходу) частота обертання шпинделя має бути незмінною. Її вибирають з нормалізованого ряду частоти обертання шпинделя конкретного верстата з ЧПК, що підходить за технічними характеристиками для оброблення певної деталі (див. Додаток В).

Прийнята частота обертання $n_{пр}$ має бути меншою від кожної з розрахункових номінальних частот обертання для найбільш відповідальних за точністю і шорсткістю поверхонь деталі. Значення $n_{пр}$ виставляють на пульті керування верстатом із ЧПК заздалегідь до початку оброблення.

За прийнятим значенням $n_{пр}$ уточнюють швидкість різання ν^* для всіх ділянок оброблення деталі на технологічному переході кожного з установів заготовки за формулою

$$v^* = \pi D n_{пр} / 1000, \quad (3.4)$$

де v^* – вибрана швидкість різання, м/хв.

8. Розрахунок сили і потужності різання. Головна складова сили різання P_z спрямована по дотичній до поверхні різання і збігається за напрямком з вектором швидкості обертання заготовки. Силу різання P_z для токарних операцій на верстатах із ЧПК розраховують за емпіричною формулою, наведеною в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Сила різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК $P_z = 10 C_p t^x S_o^y v^n K_p$, Н

Вид токарної обробки	Оброблюваний матеріал	C_p	x	y	n
Зовнішнє поздовжнє і поперечне точіння	Сталі	300	1	0,75	-0,15
	Титанові сплави	280			-0,14
	Алюмінієві сплави	40			0
Примітка. C_p – коефіцієнт пропорційності; K_p – поправковий коефіцієнт, що враховує зміни умови роботи і геометрію різця; x, y, n – показники степеня					

Величину потужності різання при токарній обробці N, кВт, визначають за формулою

$$N = P_z v / 61200. \quad (3.5)$$

За вибраним значенням частоти обертання шпинделя коректують швидкість різання і потужність різання, при цьому повинна задовольнятися умова

$$N \le N_{пр} \eta, \quad (3.6)$$

де N – розрахункова потужність різання, кВт;

$N_{пр}$ – потужність електродвигуна приводу головного робочого руху верстата, кВт (див. Додаток В);

η – ККД верстата (η = 0,8...0,85).

9. Визначення основного часу оброблення. Основний (технологічний, машинний) час T_o, хв, являє собою час, протягом якого здійснюється зміння розмірів і форми, шорсткості поверхні заготовки.

Основний час автоматичної роботи верстата з ЧПК T_{oa}, хв, обчислюють за формулою

$$T_{oa} = \sum_{i=1}^{m} (L_i / S_{mi}), \quad (3.7)$$

де L_i – довжина шляху, що проходить інструмент у напрямку подачі при обробленні i-го геометричного елемента згідно з РТК, мм;

S_{mi} – хвилинна подача на окремому геометричному елементі РТК, мм/хв;

m – кількість геометричних елементів РТК, що задають переміщення

токарного різця на робочих ходах.

Хвилинна подача S_m, мм/хв, пов'язана з подачею на оберт S_o, мм/об, співвідношенням

$$S_m = S_o n_{пр}, \quad (3.8)$$

де $n_{пр}$ – частота обертання шпинделя, взята для програмної обробки в певному технологічному переході, 1/хв.

Розрахункові хвилинні подачі для поздовжніх і поперечних переміщень токарного різця за траєкторією РТК не мають перевищувати діапазон робочих подач верстата з ЧПК, вибраного для оброблення (див. додаток В).

3.3 Комплектування лабораторної роботи

1. Заготовка – прокат круглого перерізу, матеріал – алюмінієвий сплав марки Д16АТ, $\sigma_в = 370$ МПа.

Варіанти матеріалів для розрахунку режиму різання:

– титановий сплав марки ВТ20-2, $\sigma_в = 950$ МПа;

– сталь марки 30ХГСА, $\sigma_в = 1100$ МПа.

При чистовій обробці припуск підлягає видаленню за поверхні: торцевої – 1 мм, діаметральної – 2 мм.

2. Верстат токарний високої точності з ЧПК моделі ТПК-125ВН.

3. Різець прохідний 2142-0019 марки Т15К6 (геометричні параметри різця: $\varphi = 95^o$, $\gamma = 15^o$, $\lambda = -5^o$).

3.4 Порядок проведення експериментальних досліджень

1. Ознайомитися з кресленням деталі «Опора» (див. рисунок 3.1) і технологічною послідовністю її оброблення, вивчити технічні характеристики верстата з ЧПК моделі ТПК-125ВН (див. Додаток В).

2. Виконати операційний ескіз для оброблення заданих викладачем поверхонь деталі «Опора».

3. Розробити кінематичну схему переміщення інструменту – РТК для заданого установу і технологічного переходу.

4. Розрахувати режим різання й основний час автоматичної роботи при точінні заданих поверхонь деталі «Опора» із заданого матеріалу.

5. Заповнити зведену таблицю результатів розрахунку режиму різання за формою таблиці 3.9.

6. Відповісти на контрольні запитання.

7. Оформити звіт з роботи.

Таблиця 3.9 – Режим різання для оброблюваних поверхонь

Поверхня	t, мм	S_o, мм/об	$v_{розр}$, м/хв	v^*, м/хв	P_z, Н	N, кВт	S_m, мм/хв	$T_{оа}$, хв

3.5 Зміст звіту

1. Короткий конспект про порядок розрахунку режиму різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК.

2. Операційний ескіз для оброблення заданих поверхонь деталі «Опора».

3. Кінематична схема переміщення інструменту – РТК для заданого установу і технологічного переходу.

4. Технічні характеристики токарного верстата з ЧПК моделі ТПК-125ВН, необхідні для розрахунку режиму різання.

5. Зведена таблиця результатів розрахунку режиму різання для шістьох оброблюваних поверхонь.

6. Висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. В якій послідовності виконують розрахунок режиму різання для токарної обробки?

2. Що зображують на операційному ескізі деталі для кожного технологічного установу?

3. Назвіть елементи технологічного переходу і зони токарної обробки деталі «Опора».

4. Які дані містить кінематична схема переміщення інструменту РТК?

5. Чи можна обробляти поверхні заготовки без допоміжних ходів інструменту?

6. Навіщо потрібен розрахунок сили і потужності різання?

7. За якими критеріями вибирають модель верстата з ЧПК і геометричні параметри токарного різця?

8. Які елементи режиму різання необхідно змінити, якщо паспортна потужність верстата менша від розрахункової?

Лабораторна робота № 4

СКЛАДАННЯ КЕРУВАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

Мета роботи – вивчення методики і набуття практичних навичок складання керувальних програм для токарної обробки на верстаті з ЧПК в режимі прямого керування від комп'ютера.

4.1 Загальні рекомендації щодо складання керувальних програм для верстатів із ЧПК

Терміни в області систем ЧПК металорізальними верстатами встановлені ДСТУ 2579-94.

Керувальна програма (КП) – сукупність команд мовою програмування, що відповідає заданому алгоритму функціонування верстата для оброблення конкретної заготовки. Програма складається з кадрів.

Кадр – складова частина КП, що вводиться й оброблюється як єдине ціле й містить не менше однієї команди. Кадр складається з послідовності слів.

Слово – складова частина кадру КП, що містить дані про параметр процесу оброблення та (або) інші дані до виконання керування. Слово є командою для верстата про геометричні або програмно-технічні дії. Кожне слово КП складається з адрес.

Адреса – частина слова КП, що визначає призначення наступних за ним даних, що містяться в цьому слові.

Кожен кадр програми має містити порядковий номер кадру, числову інформацію з відповідними адресами, символ кінця кадру.

4.2 Методика розроблення КП для верстатів із ЧПК

Для запису керувальної інформації використовують семирозрядний буквено-цифровий код ІСО-7.

Значення букв і символів у термінах числового програмного керування коду:

N – номер кадру; X – переміщення по осі X; Z – переміщення по осі Z; I – координата початкової точки дуги по осі X; K – координата початкової точки дуги по осі Z; S – команда на частоту обертання шпинделя; T – позиція інструменту; F – подача; G – підготовча функція; M – допоміжна функція; $\%$ – початок програми; LF – кінець кадру; L – звернення до коректора.

Рекомендована послідовність адрес у кадрі:

$\%$ N G F X Z I K M S T L LF.

Присутність тієї або іншої адреси (слова) зумовлена КП. Відсутність слова вказує на незмінність певної інформації щодо попереднього кадру. Повторення в одному кадрі слів з однойменними адресами не допускається.

Задання підготовчої функції

Підготовча функція визначає режим і умови роботи верстата й кодується адресою ***G*** дворозрядним числом.

Усі підготовчі команди розділені на функціональні групи (таблиця 4.1). Тривалість дії заданої підготовчої функції визначається часом приходу іншої підготовчої функції. Винятком є функція, ***G40***, дія якої припиняється автоматично після закінчення відпрацьовування кадру.

Можливі два режими задання геометричної інформації: у приростах ***G26*** (***G91***) і в абсолютних розмірах ***G27*** (***G90***). При роботі в приростах ***G26*** у кадрах після адрес ***X*** і ***Z*** задається числова інформація, що відповідає приростам за координатами.

Після адрес ***X***, ***Y***, ***I***, ***K*** числова інформація про переміщення видається кількістю імпульсів з відповідними знаками. Знак присвоюється залежно від того, з яким напрямком координатних осей верстата збігається напрямок руху різця при заданні у приростах.

Таблиця 4.1 – Задання підготовчих функцій

Підготовча функція	Код функції	Розмір переміщення
Лінійна інтерполяція	***G01*** ***G10*** ***G11***	Нормальний Довгий Короткий
Кругова інтерполяція. Рух за годинниковою стрілкою	***G02*** ***G20*** ***G21***	Нормальний Довгий Короткий
Кругова інтерполяція. Рух проти годинникової стрілки	***G03*** ***G30*** ***G31***	Нормальний Довгий Короткий
Розмір у приростах	***G26*** (***G91***)	Відлік переміщення відносно попередньої точки
Абсолютний розмір	***G27*** (***G90***)	Відлік переміщення відносно нульової точки
Скасування корекції	***G40***	–

Задання переміщень при лінійній інтерполяції

Задання довжини відрізка прямої у випадку лінійної інтерполяції виконується програмуванням команд ***G01***, ***G10***, ***G11*** і адрес ***X***, ***Z*** з відповідною інформацією. При лінійній інтерполяції в одному кадрі КП можна задати тільки один відрізок прямої.

Ознаки нормальних, довгих і коротких розмірів впливають тільки на розрядність геометричної інформації, що задається в кадрі:

– «Нормальний розмір» (функції ***G01***, ***G02***, ***G03***) – задають п'ять десяткових розрядів геометричної інформації;

– «Довгий розмір» (функції ***G10***, ***G20***, ***G30***) – задають шість десяткових розрядів геометричної інформації;

– «Короткий розмір» (функції $G11$, $G21$, $G31$) – задають чотири десяткові розряди геометричної інформації.

Для одержання кодового числа, що визначає кількість імпульсів для програмування геометричного переміщення по осях, величину переміщення множать на 1000 для осі X і на 500 для осі Z, мм:

$$N_{X_{ІМП}} = 1000X\ ;\ N_{Z_{ІМП}} = 500Z\ .$$

Приклад

Задання переміщення з точки Р1 у точку Р4 (рисунок 4.1):

N014 G26 LF
N015 G01 Z – 10500 X – 15000 LF
N016 Z – 25000 LF
N017 Z – 12500 X + 25000 LF.

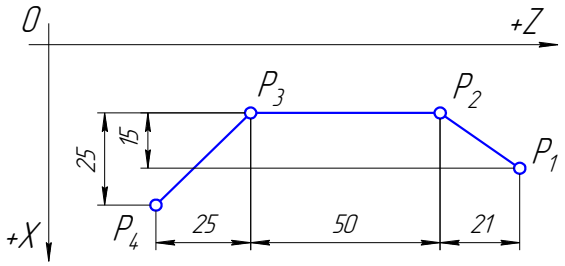


Рисунок 4.1 – Схема задання координат опорних точок у прирощеннях

При роботі в абсолютних розмірах $G27$ у кадрах після адрес X і Z наводиться числова інформація, що відповідає координатам кінцевих точок відрізків переміщення в системі координат верстата ZMX.

Приклад

Задання переміщення з точки Р1 у точку Р4 (рисунок 4.2).

N023 G27 LF
N024 G01 Z + 41000 X + 50000 LF
N025 Z + 17500 LF
N026 Z + 07000 X + 35000 LF.

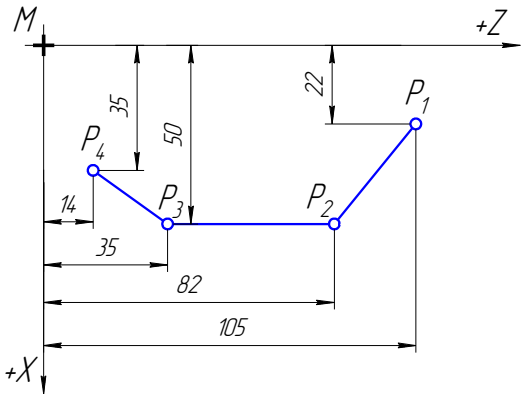


Рисунок 4.2 – Схема задання координат опорних точок в абсолютних розмірах

Задання переміщень при круговій інтерполяції

Кругова інтерполяція задається у відносних $G26$ або абсолютних $G27$ розмірах однієї з підготовчих функцій $G02$, $G20$, $G21$ (рух за годинниковою стрілкою) або $G03$, $G30$, $G31$ (рух проти годинникової стрілки) залежно від напрямку руху й ознаки розміру.

Ділянка програмування дуги кола повинна лежати в межах одного квадранта. Якщо дуга кола розташована в різних квадрантах, то при програмуванні її розбивають на ділянки з опорними геометричними точками, що відповідають певній умові.

При роботі у приростеннях $G26$ необхідно задати числову інформацію:

– за адресами X, Z – про координати кінцевої точки дуги у приростеннях відносно початкової точки;

– за адресами I, K – про координати центра дуги P_c відносно її початкової точки. Адресою I позначають відрізок, паралельний осі X, адресою K – відрізок, паралельний осі Z.

Приростенням ΔX і ΔZ присвоюють знаки залежно від напрямку руху в координатах X, Z. Інформацію під адресами I, K записують завжди з позитивним знаком.

Приклад

Задання дуги кола в приростеннях (рисунок 4.3):

а) рух за годинниковою стрілкою (рисунок 4.3, а)

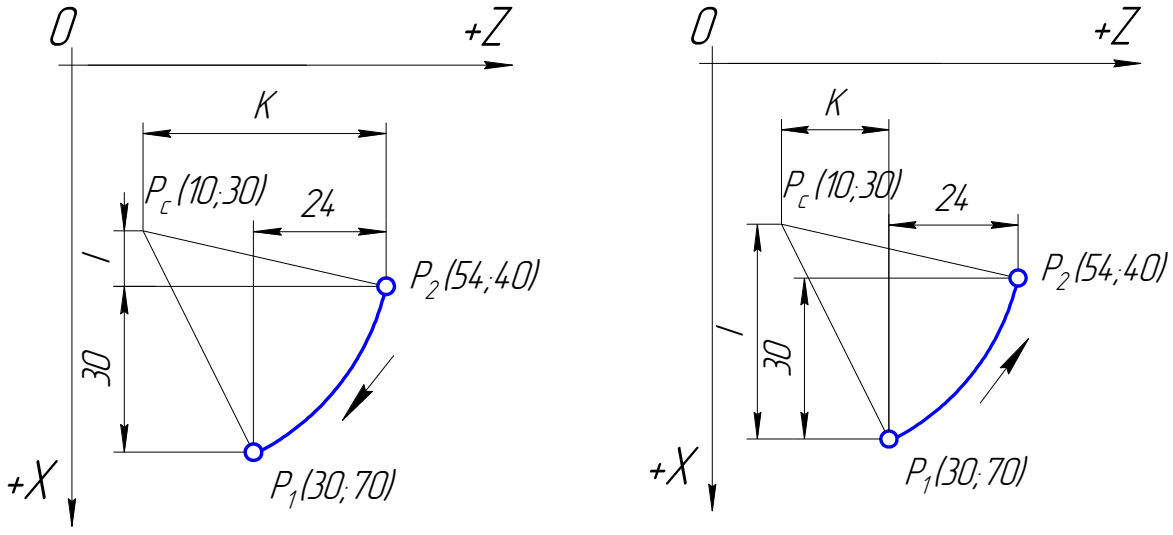
N015 G26 LF

N016 G02 Z – 12000 X + 30000 K + 22000 I + 10000 LF;

б) рух проти годинникової стрілки (рисунок 4.3, б)

N015 G26 LF

N016 G03 Z + 12000 X – 30000 K + 10000 I + 40000 LF.



а б

Рисунок 4.3 – Задання дуги кола в приростеннях:
а – рух за годинниковою стрілкою; б – рух проти годинникової стрілки

При роботі в абсолютних розмірах $G27$ до кадру за адресами X, Z й адресами I, K вводять координати кінцевої точки дуги кола і координати центра дуги кола P_c відносно початкової точки дуги аналогічно заданню дуги в приростеннях.

Приклад

Задання дуги кола в абсолютних розмірах (рисунок 4.4):

а) рух за годинниковою стрілкою

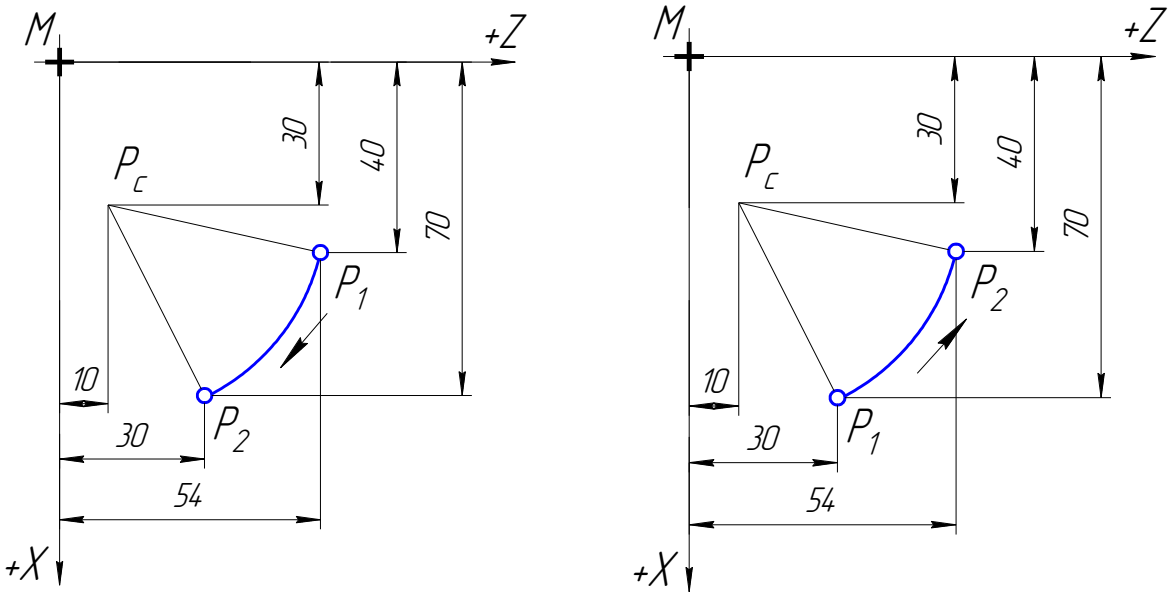
N023 G27

N024 G02 Z + 15000 X + 70000 K + 22000 I + 10000;

б) рух проти годинникової стрілки

N023 G27

N024 G03 Z + 27000 X + 40000 K + 10000 I + 40000.



а б

Рисунок 4.4 – Задання дуги кола в абсолютних розмірах:
а – рух за годинниковою стрілкою; б – рух проти годинникової стрілки

Задання подачі

Хвилинна подача інструменту уздовж оброблюваного контуру програмується під адресою F п'ятирозрядним (A_1 A_2 A_3 A_4 A_5) числом з використанням кодової таблиці (таблиця 4.2). Уведена хвилинна подача зберігається в процесі відпрацьовування КП до приходу нової величини хвилинної подачі, тобто нового слова з адресою F.

У першому розряді A_1 після адреси F цифрами 1, 2 або 7 задають ознаку стану генератора пристрою ЧПК. Для кодування значення власне хвилинної подачі S_m використовують коефіцієнти K і K_1. Отримані числа ставлять у розряди A_2 A_3 A_4 A_5, вільні розряди заповнюють нулями.

Таблиця 4.2 – Задання подачі

Ознака стану генератора			Код подачі		
Режим робочих подач	Інтервал робочих подач S_m, мм/хв	Значення розряду A_1	Значення розрядів A_2 A_3 A_4 A_5	Коефіцієнт	
				K	K_1
I («Перший»)	0,2…240	1	$S_m K$	5	–
II («Другий»)	0,01…24	2	$S_m K K_1$	5	20
«Швидкий хід»	400	7	0000	–	–

Приклад

F10350 – адреса програмування хвилинної подачі, що становить 70 мм/хв.

У режимі «Швидкий хід» у КП задається код F70000 без указання величини подачі по координатах. Швидке переміщення допускається тільки по одній з координат.

Уводити в КП коду функції подачі можна як окремим кадром, так і разом з геометричною інформацією, що буде оброблятися з цією хвилинною подачею.

Задання допоміжної функції

Допоміжна функція програмується у КП під адресою M трирозрядним числом.

Деякі характерні значення допоміжної функції:

$M000$ – програмований останов. Після відпрацьовування кадру, у якому записана ця команда, припиняється обертання шпинделя. Робота з КП відновляється натисканням кнопки «Пуск» на пульті пристрою керування верстатом;

$M001$ – останов з підтвердженням. Є командою на останов верстата, якщо на пульті оператора натиснуто кнопку «Технологічний останов»;

$M002$ – кінець КП. Указує на завершення відпрацьовування КП і приводить до останова шпинделя і подачі, вимикання охолодження після виконання всіх команд у кадрі;

$M003$ – обертання шпинделя за годинниковою стрілкою. Вмикає шпиндель у напрямку, при якому гвинт із правою різзю, закріплений у шпинделі, входить у заготовку;

$M004$ – обертання шпинделя проти годинникової стрілки. Вмикає шпиндель у напрямку, при якому гвинт із правою різзю, закріплений у шпинделі, виходить із заготовки;

$M005$ – останов шпинделя. Скасовує команди $M003$ і $M004$ з початку відпрацьовування кадру, в якому вони зазначені.

Задання швидкості обертання шпинделя

Виконується командою з адресою S. Для токарного верстата з ЧПК моделі ТПК-125ВН передбачено програмування п'яти номерів швидкості шпинделя: $S001$, $S002$, $S004$, $S008$, $S010$. Числові значення частоти обер-

тання шпинделя виставляють на пульті верстата до початку роботи.

Для вмикання заданого номера швидкості обертання шпинделя крім команди S необхідно задати й команду на напрямок обертання шпинделя ($M003$ або $M004$).

Програмування позиції інструменту

Здійснюється командою з адресою T, за якою іде трирозрядне десяткове число. Старший розряд набуває значення одиниці, два молодших – номери інструменту. Для пошуку потрібного інструменту за адресою T програмують кількість прохідних інструментальних позицій n токарного різця за формулою $T = n + 2$.

Приклад

$T105$ – кількість прохідних інструментальних позицій різця $n = 3$.

Корекція переміщення інструменту

Корекція компенсує неточності виставляння інструменту у вихідну точку верстата і розмірне спрацювання інструменту. Величину корекції уточнюють у процесі оброблення пробної деталі.

Корекцію задають тільки в режимі лінійної інтерполяції ($G01$, $G10$, $G11$). В КП корекція задається командою з адресою L, під цією адресою вказують дворозрядний десятковий код. Старший розряд коду набуває значень: 1 – одиночна корекція по осі X; 2 – одиночна корекція по осі Z; 3 – парна корекція по осях Z, X. Молодший розряд коду – це номер коректора.

Приклад. $L16$ – одиночна корекція по осі X, коректор № 6.

Корекція геометричних величин починається з кадру, що містить адресу L, і враховується далі до кадру, що містить команду на скасування корекції $G40$.

4.3 Комплектування лабораторної роботи

1. Токарний верстат із ЧПК моделі ТПК-125ВН із пристроєм ЧПК моделі Н22-1М. Режим керування – DNC (безпосередньо від комп'ютера). Координати вихідної точки верстата: XMO = 126 мм; ZMO = 32 мм.
2. Пристрій контролю КП планшетного типу.
3. Різець прохідний 2142-0019 марки Т15К6.
4. Варіанти для розроблення КП (Додаток Г).

4.4 Порядок проведення експериментальних досліджень

1. Ознайомитися з методикою розроблення КП для токарної обробки на верстатах із ЧПК.
2. Розробити КП для одного з варіантів (див. Додаток Г) за завданням викладача.
3. Заповнити карту кодування інформації (таблиця 4.3) даними про координати геометричних і технологічних опорних точок РТК у системі коорди-

нат верстата ZMX і приростах відносно вихідної точки верстата O.

4. На основі карти кодування інформації розробити КП токарної обробки заданих поверхонь деталі «Опора».

5. Виконати графічне моделювання токарної обробки заданого варіанта КП на пристрої контролю планшетного типу.

6. Увести в комп'ютер команду корекції інструменту на задану величину, перевірити на супорті координати фіксованої точки верстата, відносно якої задано положення токарного різця.

7. Обробити деталь за КП, визначивши при цьому час автоматичної роботи верстата.

8. Відповісти на контрольні запитання.

9. Оформити звіт з лабораторної роботи.

Таблиця 4.3 – Карта кодування інформації

Номер кадру	Траєкторія			Приріст		Номер коректора	Подача, мм/хв	Шпиндель, позиція	Інстрмент, позиція
	Точка	Z, мм	X, мм	ΔZ	ΔX				

4.5 Зміст звіту

1. Короткий конспект, що відбиває методику складання КП для токарної обробки.

2. Варіант кінематичного переміщення різця згідно з рисунком 3.5 і відповідна КП.

3. Карта кодування інформації для токарної обробки деталі «Опора» у заданому установі відповідно до таблиці 4.3.

4. КП токарної обробки заданих поверхонь деталі «Опора».

5. Висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. Які елементи має містити кожен кадр КП?

2. На які функціональні групи поділені підготовчі команди?

3. Яка інформація необхідна для задання переміщень при круговій інтерполяції?

4. Як програмується хвилинна подача в КП?

5. Які допоміжні функції використовують при точінні деталі «Опора»?

6. Як виконується пошук інструменту в КП?

7. Для чого призначена команда на корекцію інструменту?

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ПАРТІЇ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

Мета роботи – набуття практичних навичок дослідження точності процесів оброблення партії деталей на токарному верстаті з ЧПК імовірнісно-статистичним методом.

5.1 Точність розмірної обробки заготовок

Точність обробки деталі – ступінь відповідності деталі вимогам креслення і технічних умов за розмірами, геометричною формою, шорсткістю, взаємним розташуванням оброблюваних поверхонь.

При виготовленні на металорізальних верстатах деталей точність їхніх розмірів і форми залежить від великої кількості факторів. Залежність має імовірнісний (статистичний) характер. У теорії імовірності та математичній статистиці існують методи, що дозволяють об'єктивно оцінювати точнісні характеристики ТП обробки різанням партії деталей.

При оцінюванні точності зазвичай говорять не про відповідність параметрів реальної та заданої деталей, а про їхню відмінність.

Числовим виразом точності є ***абсолютна похибка*** оброблення за цим параметром $\Delta = A_д - A_н$, де $A_д$ – дійсне значення параметра; $A_н$ – номінальне задане значення параметра.

Похибки, що виникають у процесі оброблення деталей на металорізальних верстатах, мають систематичний або випадковий характер. Систематичні похибки, у свою чергу, можна поділити на постійні та функціональні (що змінюються в процесі оброблення за певними законами).

До причин появи ***постійних*** похибок належать: похибки виготовлення верстата, різального інструменту і пристрою; для верстатів із ЧПК – похибки системи автоматизованого керування обробленням.

Функціональні похибки пояснюються розмірним спрацьовуваням різального інструменту, спрацьовуваням верстата за період експлуатації, коливанням пружних об'ємних і контактних деформацій елементів технологічної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь» (ВПІД) унаслідок їхнього нагрівання при різанні, тертя рухомих елементів системи, зміни температури в зоні оброблення.

Випадкові похибки спричиняються впливом на процес оброблення низки незалежних один від одного факторів:

– неточним установленням заготовки в пристрої з урахуванням коливання розмірів баз, контактних деформацій технологічних баз заготовки і верстатного пристрою;

– пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією змінюваних сил різання;

– залишковими напруженнями від попереднього оброблення.

5.1.1 Методика побудови кривої розподілу

Вплив випадкових факторів виявляється в розсіюванні розмірів досліджуваного параметра. Для визначення сумарної похибки при дослідженні ТП використовують імовірнісно-статистичний метод, суть якого полягає в такому: вимірюють розмір (або інший точнісний параметр) деталей аналізованої партії; обчислюють характеристики розподілу; будують експериментальну криву розподілу; аналізують криву і характеристики розподілу похибок і вибирають на цій основі теоретичний закон розподілу точнісного параметра аналізованої партії деталей.

Для побудови кривої розподілу необхідно виміряти параметри не менш ніж на 50 – 70 деталях. Беручи до увагу, що оброблення на верстатах із ЧПК здійснюється за допомогою однієї КП, можна використовувати результати точіння деталі «Опора», одержані в лабораторній роботі № 4.

Якщо результати вимірювання параметра партії деталей відомі, експериментальну криву розподілу будують у такій послідовності:

1. Розбивають увесь ряд значень досліджуваного параметра на декілька рівних інтервалів, кількість яких K узгоджують з кількістю N деталей у партії. При N від 50 до 100 штук вибирають K від 5 до 7; при N більше 100 штук – K від 7 до 11. Підраховують кількість значень параметра, що попадають у кожен інтервал. Якщо показники попадають на межу інтервалів, то до кожного суміжного інтервалу додають по 0,5 одиниці.

2. По осі абсцис відкладають спільні значення вибраних інтервалів і відзначають середини інтервалів L_i.

3. По осі ординат у середині кожного інтервалу відкладають значення кількості деталей партії n_i, відхилення яких попадають у цей інтервал.

Центр групування відхилення визначають як середнє арифметичне величини параметра в партії деталей:

$$L_{cep} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{N}, \qquad (5.1)$$

де L_i – відхилення окремих деталей; N – кількість деталей у партії; n – кількість вимірів параметра в кожному інтервалі.

Величина розсіювання характеризується середнім квадратичним відхиленням

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(L_i - L_{cep} \right)^2 n_i}{N}}. \qquad (5.2)$$

Криві розподілу, отримані на основі результатів експериментів, являють собою ламані лінії. Така експериментальна крива розподілу призначена лише для першого наближеного оцінювання точнісних показників процесу, правильності оброблення результатів експерименту, а також ух-

валення рішення про вибір теоретичного закону для характеристики певного розподілу.

Систематичні постійні похибки на форму розподілу не впливають, а спричиняють лише зсув центру групування від номінального значення розміру. Випадкові похибки впливають як на форму кривої розподілу, так і на величину розсіювання відхилень.

Наближеною така крива є тому, що її форма залежить не тільки від об'єктивних причин – характеру розподілу відхилення, але й від випадкових факторів – кількості вибраних інтервалів K і аналізованих деталей N. Тому для об'єктивного оцінювання точності оброблення експериментальна крива розподілу повинна бути замінена на теоретичну, що відбиває конкретний закон розподілу, який описується математичним рівнянням.

Дослідження показали, що при обробленні заготовок різанням на металорізальних верстатах із ЧПК розподіл параметрів підпорядковується закону нормального розподілу (закону Гаусса). Закон нормального розподілу описується рівнянням

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{2\sigma}\right)^2}, \qquad (5.3)$$

де параметр $x = L_i - L_{cep}$.

При такому законі практичне розсіювання заданих розмірів на 99,73 % укладається в межах $\pm 3\sigma$ від центру групування, тобто поле розсіювання розмірів у партії деталей вважається таким, що дорівнює 6σ. Точність процесу оброблення партії деталей зіставляють з необхідною точністю шляхом порівняння поля допуску T з теоретичним полем розсіювання $6\sigma = T$.

Коли розсіювання не підпорядковується законові Гаусса, необхідно враховувати асиметрію розподілу похибок:

$$\omega_0 = L_{cep} - \alpha\frac{T}{2}; \quad T = \frac{6\sigma}{K}, \qquad (5.4)$$

де ω_0 – координата середини поля допуску T;

α – коефіцієнт відносної асиметрії (визначає зміщення центру групування від середини поля допуску T);

K – коефіцієнт відносного розсіювання (визначає ступінь відмінності закону розподілу похибок від закону Гаусса).

Значення α і K для різних ТП беруть з довідкової літератури. Для трикутного закону розподілу (Сімпсона) значення α визначається графічно за кривою розподілу, а величина K вважається такою, що дорівнює 1,22.

Точність геометричних параметрів деталі задає конструктор, вона кількісно визначається полем допуску на розмір відповідно до креслення або технічних умов. Технологічна точність оброблення партії деталей кількісно визначається законом розподілу сумарної похибки оброблення через

верхнє $ВО$ та нижнє $НО$ відхилення:

$$ВВ = L_{сер} + 3\sigma/K; \qquad НВ = L_{сер} - 3\sigma/K. \tag{5.5}$$

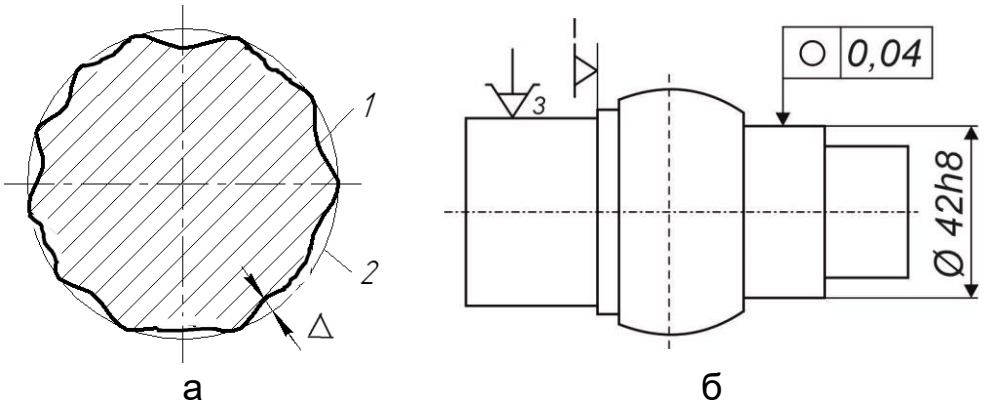
Результати розрахунків експериментальної кривої розподілу похибок зручно подати у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок кривої розподілу похибок

Номер інтервалу	Межа інтервалів	L_i	n_i	$L_i n_i$	$L_i - L_{сер}$	$(L_i - L_{сер})^2$	$(L_i - L_{сер})^2 n_i$
$\sum$	–	–			–	–	
$L_{сер} = \frac{\sum L_i n_i}{\sum n_i} =$; $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \left(L_i - L_{сер}\right)^2 n_i}{\sum n_i}} =$; $T = \frac{6\sigma}{K} =$.							

5.2 Контроль відхилення від круглості

Відхилення від круглості – це найбільша відстань Δ від точок реального профілю 1 до прилеглого кола 2 мінімально можливого діаметра (рисунок 5.1, а). Відхилення від круглості контрольного перерізу циліндричних деталей вимірюють за схемою, зображеною на рисунку 5.1, б.



а б

Рисунок 5.1 – Відхилення від круглості перерізу деталі:
а – схема відхилення від круглості реального профілю;
б – схема контролю круглості перерізу деталі «Опора»

Виміри виконують у точках, повертаючи деталь, закріплену в патроні контрольного пристрою або патроні токарного верстата, до повернення її у вихідне положення. Кут повороту контролюють за лімбом, закріпленим на деталі. На основі отриманих значень будують кругову або розгорнуту профілограму круглості контрольного перерізу деталі.

Як досліджуваний параметр у лабораторній роботі розглянуто похибку відхилення від круглості, що виникає при обробленні партії циліндричних деталей «Опора» за однією КП на токарному верстаті з ЧПК моделі ТПК-125ВН.

Для кожного виду допусків форми або розташування стандартами встановлено 16 ступенів точності.

Залежно від співвідношення між допуском розміру і допусками форми і розташування встановлено такі рівні відносної геометричної точності:

А – нормальна відносна геометрична точність (допуски форми і розташування становлять 60 % допуску розміру);

В – підвищена відносна геометрична точність (відповідно 40 % допуску розміру);

С – висока відносна геометрична точність (відповідно 25 % допуску розміру).

У таблиці 5.2 наведено співвідношення квалітетів допусків розміру зі ступенями точності форми і розташування залежно від відносної геометричної точності.

Таблиця 5.2 – Співвідношення квалітетів допусків розмірів за ступенями точності форми і розташування

Рівень відносної геометричної точності		Квалітет допуску розміру								
Нормальна	А			4	5	6	7	8	9	10
Підвищена	В		4	5	6	7	8	9	10	11
Висока	С	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ступінь точності		1	2	3	4	5	6	7	8	9

У таблиці 5.3 наведено допуски круглості для різних інтервалів номінальних розмірів контрольованого параметра.

Таблиця 5.3 – Допуски круглості (фрагмент)

Ступінь точності	Інтервал номінальних розмірів, мм			
	від 10 до 17	від 18 до 29	від 30 до 49	від 50 до 120
	Допуски, мкм			
1	0,5	0,6	0,8	1,0
2	0,8	1,0	1,2	1,6
3	1,2	1,6	2,0	2,5
4	2,0	2,5	3,0	4,0
5	3,0	4,0	5,0	6,0
6	5,0	6,0	8,0	10,0
7	8,0	10,0	12,0	16,0
8	12,0	16,0	20,0	25,0

5.3 Комплектування лабораторної роботи

1. Верстат токарний із ЧПК моделі ТПК-125ВН.

2. Штатив з індикатором годинникового типу (ціна поділки – 0,001 мм).

3. Деталь «Опора» (токарну обробку деталі здійснено при виконанні лабораторної роботи № 4).

4. Лімб кутовий (ціна поділки – 1°).

5. Статистичні результати вимірювання відхилення від круглості партії деталей «Опора» (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Відхилення від круглості партії деталей «Опора»

Номер деталі	Відхилення, мкм	Номер деталі	Відхилення, мкм	Номер деталі	Відхилення, мкм	Номер деталі	Відхилення, мкм	Номер деталі	Відхилення, мкм
1	7	12	9	23	7	34	5	45	2
2	10	13	7	24	11	35	7	46	7
3	9	14	10	25	2	36	12	47	4
4	1	15	5	26	8	37	7	48	10
5	5	16	7	27	11	38	1	49	7
6	8	17	12	28	6	39	9	50	11
7	3	18	4	29	6	40	5	51	9
8	7	19	6	30	10	41	7	52	3
9	11	20	8	31	3	42	4	53	6
10	8	21	4	32	8	43	8	54	9
11	1	22	9	33	13	44	11	55	

5.4 Порядок проведення експериментальних досліджень

1. Ознайомитися із суттю імовірнісно-статистичного методу аналізу точності оброблення.

2. Вивчити методику визначення відхилення від круглості.

3. Виміряти контрольний переріз деталі «Опора» за схемою на рисунку 5.1, б, результати вимірів оформити у вигляді таблиці 5.5.

4. Побудувати профілограму круглості контрольного перерізу деталі «Опора» у вибраному масштабі, визначити відхилення від круглості.

5. На основі отриманого значення і даних раніше проведених експериментів (див. таблицю 5.4) заповнити таблицю розрахунків експериментальної кривої розподілу у формі таблиці 5.1 і виконати розрахунки, необхідні для побудови кривої розподілу.

6. За даними таблиць 5.2 і 5.3 вибрати допуск на круглість для контрольного перерізу аналізованої деталі «Опора».

7. Побудувати експериментальну криву розподілу.

8. Дати висновок про придатність ТП токарної обробки на верстаті з ЧПК моделі ТПК-125ВН для досліджуваної партії деталей «Опора» за відхиленням від круглості.

9. Відповісти на контрольні запитання.

10. Оформити звіт з роботи.

Таблиця 5.5 – Результати вимірів контрольного перерізу деталі «Опора»

Номер виміру	1	2	3	4	…	12	13
Кут повороту лімба, град	0	30	60	90	…	330	360
Показання індикатора							

5.5 Зміст звіту

1. Короткий конспект, що відбиває суть і причини виникнення похибок при обробленні на верстатах із ЧПК партії деталей.

2. Методика дослідження точності оброблення партії деталей і побудови кривих розподілу.

3. Схема контролю відхилення від круглості (див. рисунок 5.1).

4. Результати вимірів за формою таблиці 5.5 і профілограма круглості контрольного перерізу деталі «Опора».

5. Таблиця розрахунків за формою таблиці 5.1 й експериментальна крива розподілу.

6. Висновки з роботи.

Контрольні запитання

1. Що називається точністю деталі та похибкою оброблення?

2. Як розрізняють похибки оброблення партії деталей на металорізальних верстатах?

3. В чому суть імовірнісно-статистичного методу дослідження похибок?

4. Як впливають на форму розподілу систематичні постійні й випадкові похибки?

5. Опишіть методику побудови експериментальної кривої розподілу для виробничої партії деталей.

6. Які коефіцієнти визначають ступінь розсіювання точності оброблення від нормального закону?

7. Як співвідносяться квалітети допусків розмірів зі ступенями точності форми деталей?

8. Запропонуйте можливі технологічні заходи щодо підвищення точності оброблення виробничої партії деталей на верстатах із ЧПК.

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

Мета роботи – вивчення технологічних особливостей електроерозійної обробки металів; набуття практичних навичок в експериментальних дослідженнях режиму електроерозійної обробки.

6.1 Основні технологічні характеристики процесу електроерозійної обробки металів

Електроерозійна обробка (ЕЕО) основана на явищі ерозії металів під впливом електричного струму. Електричні розряди, що виникають між двома електродами – електродом-інструментом (ЕІ) й електродом-заготовкою (ЕЗ), які знаходяться на невеликій відстані один від одного, руйнують їхні поверхні.

Розглянемо механізм руйнування металу заготовки під дією іскрового розряду. При зближенні ЕІ з ЕЗ, які знаходяться під напругою, настає момент, коли між виступними частинами їхніх поверхонь, що найбільше наблизилися одна до одної, створюється електричне поле максимальної напруги (рисунок 6.1).

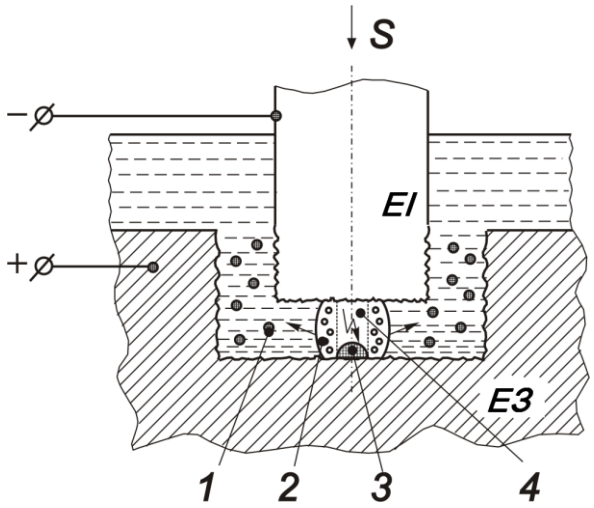


Рисунок 6.1 – Схема процесу руйнування металу при ЕЕО

Відбувається електричний пробій міжелектродного проміжку (МЕП), заповненого рідким діелектриком (водою, гасом, мінеральними маслами). У місці пробою і локалізації іскри виникає плазмений канал розряду 1, де відбуваються процеси нагрівання (до 11000 °С) й іонізації речовини робочої рідини. Між електродами через канал розряду переноситься електричний розряд, у плазмі виділяється теплова енергія, а перехід зарядів через межу між плазмою й електродами супроводжується надходженням імпульсних теплових потоків на анод і катод.

Матеріал ЕЗ з лунки 2 у вигляді рідкої краплі викидається в МЕП. Через виділення теплової енергії канал розряду оточується газоподібними

продуктами розпаду робочого середовища – газовими пузирями 3. Стінки розширюваного пузиря виштовхують з МЕП робоче середовище, потік якого захоплює частинки 4, раніше викинуті з лунок, і виводить їх з МЕП. Так виникає явище електричної ерозії, що використовується для знімання металу з поверхні заготовки.

Таким чином, якщо в ланцюзі ЕТ – ЕЗ створити умови, за яких періодично відбувався б іскровий розряд, то в результаті електроіскрової обробки профіль ЕІ буде точно відтворений на поверхні або в тілі заготовки. Для створення імпульсів напруги, що йдуть один за одним через певні проміжки часу, в електроерозійному верстаті передбачаються генератори імпульсів (ГІ). Імпульси невеликої енергії одержують за допомогою релаксаційних ГІ – RC і RLC, могутні імпульси – за допомогою машинних ГІ.

При виконанні лабораторної роботи використовується електроерозійний верстат моделі 183, у якому як ГІ застосовується релаксаційний RC-генератор (рисунок 6.2, а). ГІ складається з джерела електричної енергії постійного струму U (220 В), кнопки К «Пуск», струмообмежувального зарядного резистора R і накопичувального конденсатора С, підключеного паралельно МЕП.

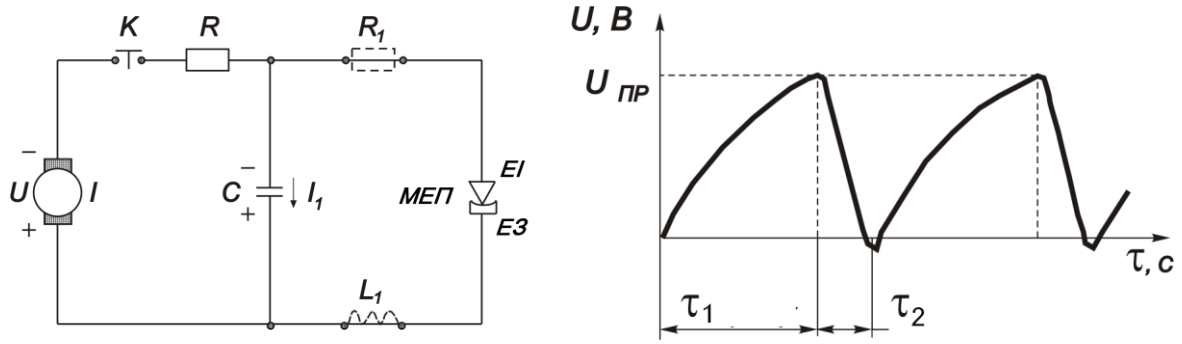


Рисунок 6.2 – Схема RC-генератора: а – принципова електрична схема; б – графік зміни напруги на конденсаторі

Елементи U-R-C складають зарядний ланцюг, а контур С-МЕП – розрядний ланцюг.

RC-генератор працює у такий спосіб. Вважаємо, що спочатку напруга на конденсаторі З дорівнює нулю. При натисканні кнопки К в ланцюзі U-R-C з'являється зарядний струм І, напруга на конденсаторі й МЕП підвищується. При досягненні нею пробивного значення $U_{пр}$ відбувається пробій МЕП. У ланцюзі С-МЕП виникає струм розряду I_1, при цьому енергія імпульсу, накопичена в конденсаторі, за дуже короткий час вводиться в МЕП.

Через те, що тривалість зарядження конденсатора τ_1 перевищує час розрядження τ_2 (рисунок 6.2, б), напруга на конденсаторі спадає і розряджання у МЕП припиняється.

Відбувається деіонізація (відновлення електричної міцності МЕП) ре-

човини каналу розрядження, і напруга на конденсаторі знову починає підвищуватися через його заряджання від джерела U. Оскільки розрядний ланцюг має деяку індуктивність L_1, конденсатор перезаряджається протягом розрядження до деякої від'ємної напруги, що полегшує процес деіонізації.

Таким чином, джерело уніполярних імпульсів (імпульсів однієї полярності) періодично збуджує короткочасні розряди між ЕІ і ЕЗ і дозволяє здійснити процес вибіркової ерозії, тобто різко послабити ерозію одного з електродів.

Більш інтенсивному руйнуванню піддається електрод, приєднаний з позитивною обкладкою конденсатора (анод), а електрод, приєднаний з негативною обкладкою (катод), спрямовує руйнування й зумовлює його форму.

Тому застосовують два способи підімкнення електродів у ланцюг:

а) пряма полярність (ЕІ є катодом, ЕЗ – анодом);

б) зворотна полярність (ЕІ є анодом, ЕЗ – катодом).

Вибір полярності зумовлений необхідністю одержувати швидкості руйнування металу на заготовці й найменше спрацювання ЕІ.

Для підвищення продуктивності руйнування металу МЕП заповнюють діелектричною рідиною, тобто процес ЕЕО здійснюють у ванні, заповненій робочим середовищем (гасом, дистильованою водою, соляровим маслом).

Матеріал ЕІ вибирають залежно від матеріалу оброблюваної заготовки. При обробленні сталевих заготовок як матеріал ЕІ використовують мідь, латунь, коксографітову композицію, при обробленні твердих сплавів – чавун і алюміній.

При електроерозійній обробці безпосередній контакт ЕІ і ЕЗ відсутній. Основна область застосування ЕЕО – прошивання отворів і порожнин різної конфігурації залежно від форми перерізу ЕІ (незалежно від твердості та в'язкості матеріалу).

6.2 Технологічні схеми ЕЕО

Технологічні схеми ЕЕО забезпечують реалізацію необхідного взаємозв'язку електричного режиму з технологічними показниками процесу.

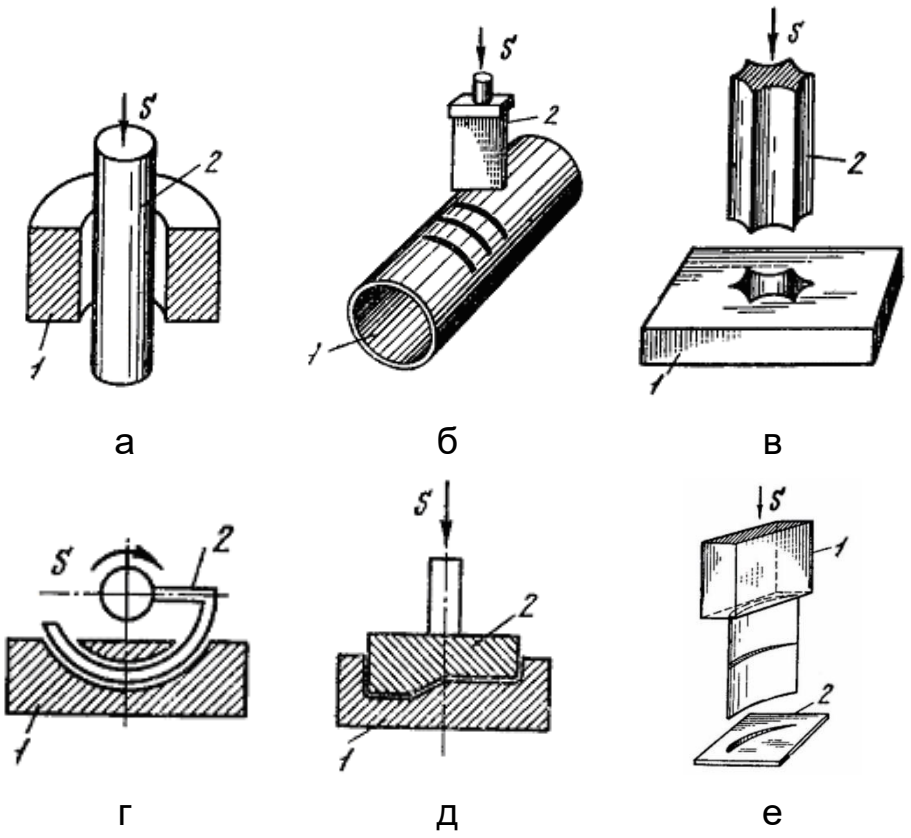
Електроерозійну обробку виконують профільованими або непрофільованими ЕІ. Форму і розміри робочих поверхонь профільованих ЕІ визначають відповідно до заданої поверхні деталі, що виготовляється, тоді як непрофільовані ЕІ мають найпростішу геометричну форму – у вигляді дроту, стрижня або диска.

Формоутворення оброблюваної деталі електроерозійним методом можна здійснювати за двома схемами:

1. Копіювання форми ЕІ, тобто одержання у деталі порожнини або опуклості, що є зворотним відображенням робочої поверхні ЕІ. Цю операцію, що називають прошиванням, виконують при одному поступальному русі ЕІ. Окремий випадок описаного процесу – прошивання різних отворів у заготовках, при якому лише копіюють форму перерізу ЕІ.

На рисунку 6.3 зображено технологічні схеми ЕЕО заготовок 1 метода-

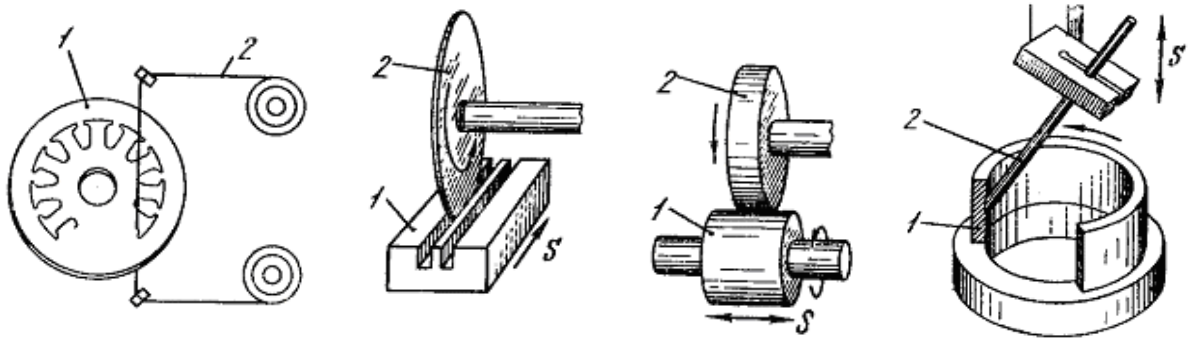
ми прямого (а – д) і зворотного (е) копіювання форми профільованими ЕІ 2; прошивання отворів із прямолінійними (в) і криволінійними (г) осями; об'ємне формоутворення порожнини (д) і зовнішніх поверхонь (е).



а б в г д е

Рисунок 6.3 – Схеми процесів ЕЕО профільованим ЕІ

2. Взаємне переміщення оброблюваної заготовки і непрофільованого ЕІ, при якому матеріал знімається з поверхні або заготовку розрізають (рисунок 6.4). У цій схемі можна виділити два види операцій: вирізання складнопрофільованих деталей і розрізування деталей 1 непрофільованим ЕІ 2 (а, б); шліфування і розточування заготовок дисковими і стрижневими ЕІ (в, г).



а б в г

Рисунок 6.4 – Схеми процесів ЕЕО непрофільованим ЕІ

Перша технологічна схема ЕЕО профільованим ЕІ найбільш поширена. Форма ЕІ відповідає формі одержуваної поверхні.

У другій технологічній схемі ЕЕО непрофільованим ЕІ найбільшого поширення набуло оброблення дротовим ЕІ. Переваги цього методу: можливість вирізання складних контурних листових деталей високої точності; доступність і відносна нескладність автоматизації руху подачі за заданою програмою; простота конструкції верстата. Недолік цієї схеми оброблення – можливість її використання тільки при вирізних або обрізних роботах.

6.3 Характеристики режиму і технологічні показники ЕЕО

Важливою характеристикою режиму ЕЕО є енергія імпульсу, що визначає продуктивність, точність і якість обробленої поверхні деталі. Зі зростанням енергії імпульсів підвищується продуктивність, однак знижується якість оброблюваної поверхні.

Енергія імпульсу дорівнює енергії, накопиченій у конденсаторі, Дж:

$$A_i = \frac{CU_{пр}^2}{2}, \qquad (6.1)$$

де C – ємність конденсатора, Ф;

$U_{пр}$ – пробивна напруга, В.

Дослідним шляхом виявлено, що в оптимальному режимі конденсатор заряджається до напруги, що становить 0,50...0,75 напруги холостого ходу (U = 180 В). Таким чином, $U_{пр} = (0{,}50...0{,}75)U$.

За енергією імпульсу A_i режими ЕЕО поділяють на три основні групи: жорсткі (5,0...0,5 Дж), середні (0,4...0,05 Дж) і м'які (менше 0,05 Дж), що за технологічними показниками відповідає чорновим, чистовим і оздоблювальним видам розмірної обробки.

Продуктивність ЕЕО

Продуктивність ЕЕО визначається об’ємом (масою) металу оброблюваної поверхні за одиницю часу, мм^3 /хв (г/хв).

Продуктивність оброблення залежить від електроерозійної оброблюваності металу, сполучення марок матеріалів ЕІ і ЕЗ і потужності імпульсу, реалізованої в МЕП. При постійній енергії імпульсу і збільшенні площі оброблення вона зменшується, що пояснюється уповільненням швидкості видалення продуктів ерозії з МЕП. У цьому випадку значна частина розрядів супроводжується не зніманням металу, а дробленням частинок, не виведених з МЕП.

З метою поліпшення умов виведення продуктів ерозії з МЕП, що стабілізує процес ЕЕО і підвищує його продуктивність, застосовують обертання або вібрацію ЕІ в напрямку його подачі та прокачування робочої рідини.

На технологічні показники ЕЕО істотно впливають види і стан робочої рідини. Наприклад, заміна гасу дистильованою водою при ЕЕО мідним ЕІ твердих сплавів і загартованих сталей знижує, а при ЕЕО вольфрамовими

і твердосплавними ЕІ підвищує її продуктивність. При обробленні зростають зольність і в'язкість робочої рідини, тому останню періодично замінюють. Збільшення в'язкості робочої рідини сповільнює виведення з МЕП продуктів ерозії та знижує продуктивність.

На продуктивність ЕЕО впливає матеріал ЕІ, від властивостей якого залежать пробивна напруга і, відповідно, енергія імпульсів, характер теплообміну в МЕП, швидкість деіонізації тощо.

Усі метали і сплави за здатністю електроерозійної оброблюваності поділяють на три групи: а) добре оброблювані; б) що піддаються обробленню в меншому ступені; в) які слабко руйнуються від діяння розрядів.

Різний вплив імпульсних розрядів на метали і сплави визначається їх теплофізичними властивостями (температурою плавлення і кипіння, теплопровідністю і теплоємністю). Механічні властивості (твердість, в'язкість) на ефект ерозії не впливають.

Нижче наведено відносну оброблюваність деяких матеріалів (при цьому оброблюваність сталі умовно взята за одиницю):

Магнієві сплави	– 6,0	Сталі	– 1,0
Алюмінієві сплави	– 4,0	Титанові сплави	– 0,6
Латунні сплави	– 1,6	Тверді сплави	– 0,5

Чим вище теплофізичні властивості матеріалу ЕІ і шорсткість робочих поверхонь, тим більше зазначена гранична потужність, оскільки теплопровідність визначає швидкість відведення тепла з поверхні ЕІ, а шорсткість – дійсну площу теплопровідної поверхні. Якщо шорсткість однакова, то найбільша гранична потужність досягається при ЕЕО мідними електродами, менша – алюмінієвими.

Точність оброблення

Точність ЕЕО задається не тільки факторами, що властиві будь-якому методу розмірної обробки, але й факторами, характерними тільки для ЕЕО. Ці фактори визначають відповідно первинні похибки, сукупність яких створює сумарну похибку Δ.

Первинна похибка $\Delta_{МЕП}$, що виникає через наявность міжелектродного зазору α, найбільш істотна. У загальному випадку

$$\alpha = \alpha_{пр} + \frac{2}{3} R_{z\,max} + t, \qquad (6.2)$$

де $\alpha_{пр}$ – пробивний міжелектродний зазор для чистої робочої рідини, що залежить від максимальної напруги генератора імпульсів;

$R_{z\,max}$ – висота нерівностей шорсткості, яка зростає з підвищенням енергії імпульсу;

t – сумарна частина міжелектродного зазору, перекритого продуктами ерозії, що збільшується з посиленням потужності режиму оброблення.

Похибка форми $\Delta_ф$ оцінюється різницею між верхнім $\alpha_в$ і нижнім $\alpha_н$

міжелектродними зазорами:

$$\Delta_{ф} = \alpha_{в} - \alpha_{н}. \qquad (6.3)$$

Для підвищення точності ЕЕО необхідно зменшити різницю міжелектродних зазорів, наприклад застосуванням оздоблювального режиму. При прошиванні наскрізних отворів похибку їхньої форми знижують, просуваючи ЕІ за межі нижньої поверхні ЕЗ, тобто до повного припинення електричних розрядів у бічній частині МЕП.

Якість поверхні

При ЕЕО в результаті впливу електричних розрядів оброблена поверхня набуває характерних нерівностей, тобто профіль поверхні являє собою результат накладення одна на одну величезної кількості лунок (рисунок 6.5).

Шорсткість обробленої поверхні оцінюють висотою горбиків у місці перетинання лунок, що утворяться на поверхні деталі при електричному розряді.

Якщо вважати, що дно лунки сферичне з радіусом $r_{л}$ і глибиною $h_{л}$, а відстань між центрами лунок $l = r_{л}$, то виявиться, що висота горбиків у місці перетинання лунок $h = R_{z\,max}$.

Таким чином, з геометричних розрахунків

$$R_{z\,max} = h \approx 0{,}33 h_{л}. \qquad (6.4)$$

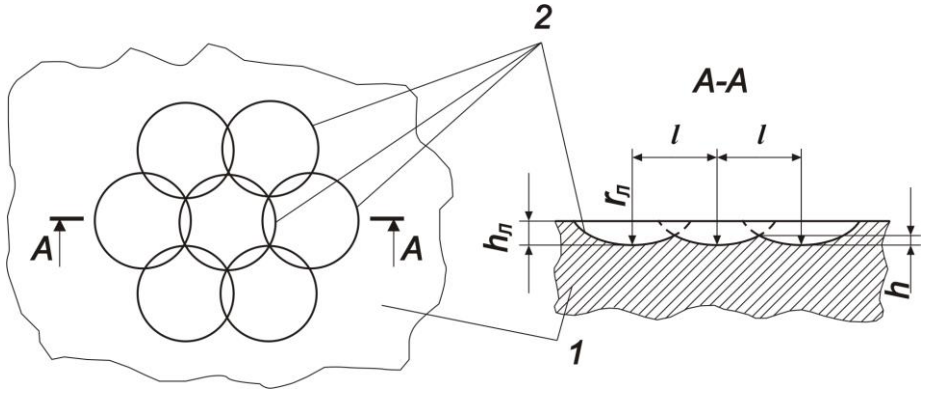


Рисунок 6.5 – Профіль поверхні ЕЗ, обробленої на електроерозійному верстаті: 1 – електрод-заготовка; 2 – лунки

Отже, шорсткість визначається за тими ж умовами оброблення, що й глибина лунки. Останню можна розрахувати за допомогою емпіричної залежності

$$h_{л} = k A_{i}^{n}, \qquad (6.5)$$

де k – коефіцієнт глибини лунки, що залежить від механічних властивостей матеріалу заготовки (для сталей $k = 226$ мкм/Дж, для твердих сплавів $k = 120$ мкм/Дж); n – безрозмірний коефіцієнт (для сталей і твердих сплавів $n = 0{,}38$).

Тоді шорсткість визначається енергією імпульсу

$$R_z = \frac{k}{3}(0{,}5CU_{np}^2)^{0{,}38}. \quad (6.6)$$

Шорсткість поверхні та продуктивність оброблення зменшуються зі зниженням енергії імпульсу і відповідають даним таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Залежність параметрів оброблення від режиму ЕЕО

Параметри оброблення	Оброблений матеріал							
	Сталь				Твердий сплав			
Номер режиму	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Продуктивність процесу Q, мм^3/хв	119	66	26	9	59	32	7	5
Шорсткість поверхні R_z, мкм	32	16	6	2,5	16	6	3,2	2,5
Міжелектродний однобічний зазор α, мм	0,15	0,08	0,05	0,03	0,08	0,04	0,03	0,01

6.4 Конструкція копіювально-прошивального електроерозійного верстата моделі 183

Копіювально-прошивальні верстати призначені для одержання отворів будь-якого перерізу, заглиблень, а також нанесення на заготовки написів.

У лабораторній роботі використано копіювально-прошивальний електроерозійний верстат моделі 183, у якому механічні вузли й електричне устаткування становлять єдине ціле (рисунок 6.6).

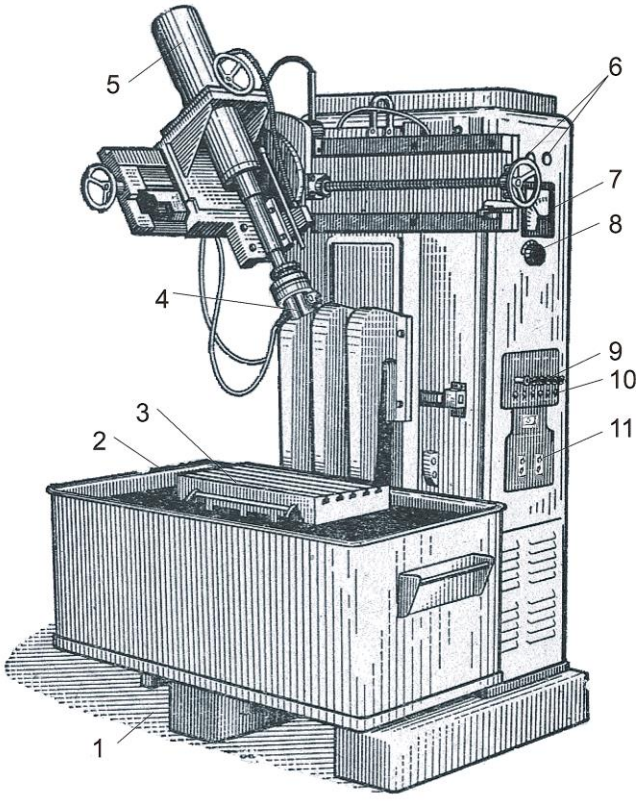


Рисунок 6.6 – Компонування верстата для ЕЕО моделі 183

Корпус верстата закріплюється на підставці 1 коробчастої форми. На рухомій рамі верстата установлюється ванна 2 з робочою рідиною. Переміщення ванни відбувається за допомогою гвинтової передачі, що має привід від електродвигуна, або вручну знімною рукояткою.

ЕЗ установлюють на столі 3, ЕІ – в електродотримачі 4. Інструментальну головку 5 переміщують у двох взаємно перпендикулярних напрямках і повертають на кут ± 90° відносно столу вручну.

Електровимірювальні прилади і системи керування верстатом розташовані на бічній панелі корпусу (див. рисунок 6.6, де 6 – сигнальні лампи, 7 – вольтметр, 8 – ручка потенціометра настроювання регулятора, 9 – натискні рубильники вмикання режиму обробки, 10 – кнопки вимикання режиму обробки, 11 – кнопки керування верстатом).

Верстат моделі 183 має RC-генератор, дозволяє обробляти ЕЗ з габаритними розмірами 1100х400х120 мм і масою не більше 1350 кг із максимальною продуктивністю за сталлю 115 мм^3/хв і за твердим сплавом – 46 мм^3/хв, забезпечуючи шорсткість поверхні відповідно від 40 до 6,3 мкм і від 2,0 до 1,6 мкм; потрібна потужність – до 5 кВт.

6.4.1 Техніка безпеки при роботі на верстатах ЕЕО

Найбільшу небезпеку при обслуговуванні електроерозійних верстатів становлять ураження електричним струмом і загоряння робочої рідини, що приводить до опіків і пожежі.

При роботі на електроерозійних верстатах слід дотримуватися загальних правил і рекомендацій, що гарантують пожежну безпеку при роботі на такому устаткуванні, а саме:

1. Забороняється вмикати верстат і працювати на ньому без дозволу викладача або навчального майстра.

2. Верстат має бути заземлений.

3. При обслуговуванні верстата слід стояти на гумовому килимку і користуватися гумовими рукавичками.

4. При роботі верстата забороняється доторкатися до струмопровідних його частин (електродотримача, електродів, столу).

5. ЕІ і ЕЗ мають бути надійно ізольовані від корпусу верстата і добре закріплені. При слабкому закріпленні може виникнути іскріння, що буде причиною загоряння робочої рідини.

6. У випадку загоряння рідини ванну необхідно опустити, а потім накрити щитом. Щит слід зберігати поруч з верстатом.

7. При обслуговуванні працюючого верстата слід знаходитися на достатній відстані від ванни з метою запобігання забрудненню одягу робочою рідиною.

8. Ванну опускають тільки при вимкненому верстаті.

9. На ділянці електроерозійної обробки забороняється палити.

6.5 Комплектування лабораторної роботи

1. Верстат електроерозійний моделі 183.
2. Мікроскоп вимірювальний МБС-9 (збільшення від 4 до 100).
3. Індикатор вимірювальний на підставці (ціна поділки – 0,010 мм).
4. Зразки-свідки з матеріалів: титанового сплаву марки ВТ20-3, алюмінієвого сплаву марки Д16Т і сталі марки 40Х.
5. ЕІ з матеріалів: латунь марки ЛС59, мідь марки М1.

6.6 Порядок проведення експериментальних досліджень

1. Ознайомитися з основними технологічними характеристиками процесу електроерозійної обробки металів.
2. Вивчити правила техніки безпеки при роботі на верстатах електроерозійної обробки.
3. Закріпити в електродотримачі ЕІ, зафіксувати заготовку на столі верстата прихоплювачами і занурити її в рідину шляхом підйому ванни.
4. Увімкнути верстат натисканням рубильника 9 для вибраного режиму оброблення і прошити отвір.
5. Вимкнути верстат натисканням кнопки 10 для вибраного режиму.
6. Зробити вимір перерізів отвору у зразку-свідку зі сталі марки 40Х, обчислити міжелектродний однобічний зазор α і занести результати до протоколу № 1 (таблиця 6.2).
7. Зробити вимір глибини лунок для зразків-свідків із двох матеріалів, обчислити продуктивність ЕЕО при заданих режимах і занести результати до протоколу № 2 (таблиця 6.3).
8. Відповісти на контрольні запитання.
9. Оформити звіт з лабораторної роботи.

6.7 Зміст звіту

1. Короткий конспект, що відбиває основні технологічні характеристики процесу ЕЕО металів (див. підрозділ 5.1, рисунок 6.1).
2. Ескізи технологічних схем ЕЕО (див. рисунки 6.3, в, г і 6.4, а).
3. Ескіз профілю поверхні ЕЗ, обробленої на електроерозійному верстаті (див. рисунок 6.5).
4. Операційні ескізи для оброблення поверхонь ЕЗ і ЕІ з виконавчими розмірами.
5. Протокол № 1 (див. таблицу 6.2) про результати залежності міжелектродного однобічного зазору α від режиму ЕЕО.
6. Графік залежності міжелектродного однобічного зазору α від режиму ЕЕО зразка-свідка зі сталі 40Х.
7. Протокол про результати залежності продуктивності ЕЕО від коефіцієнтів теплоємності матеріалів зразків-свідків: ВТ20-3 і Д16Т згідно з протоколом № 2 (див. таблицу 6.3.)
8. Графіки залежності продуктивності ЕЕО від часу оброблення при

заданих режимах, зазначених у протоколі № 2.

9. Висновки про результати проведених експериментальних досліджень на зразках-свідках.

Таблиця 6.2 – Протокол №1. Залежність міжелектродного однобічного зазору α від режиму ЕЕО

1. Зразок-свідок – пластина, матеріал – сталь марки 40Х, твердість – від 58 до 63 HRC, лист товщиною $S = 5$ мм. 2. ЕІ – пруток ш.Н.М – 14/ латунь марки ЛС 59 (ш – шестигранник; Н – нормальної точності; М – м'який). 3. Час оброблення $\tau = 10$ хв.			
Номер режиму (потужність, кВт)	Розміри перерізів отворів, мм		Міжелектродний однобічний зазор α, мм
	верхнього	нижнього	
I (5,0)			
II (3,0)			
III (2,0)			

Таблиця 6.3 – Протокол № 2. Залежність продуктивності ЕЕО від режиму і часу обробки

1. Зразок – пластина, матеріал і їхня питома теплоємність, кДж/кг·К; титановий сплав марки ВТ20-3 (550); алюмінієвий сплав марки Д16Т (900). 2. ЕІ – пруток ш.Н.М – 14/ латунь марки ЛС 59.					
Час оброблення τ, хв		1,0	1,5	2,0	2,5
Глибина лунки зразка-свідка $h_л$, мм					
Номер режиму оброблення (потужність N, кВт)	I (5,0)				
	II (3,0)				
	III (2,0)				
	IV (1,0)				
Продуктивність ЕЕО при заданому режимі і часі оброблення Q, мм^3/хв	I (5,0)				
	II (3,0)				
	III (2,0)				
	IV (1,0)				

Контрольні запитання

1. За яких умов виникає явище електричної ерозії металу?
2. На які технологічні показники впливає зростання енергії імпульсу?
3. Як впливає на шорсткість режим ЕЕО металів?
4. Які фактори впливають на якість ЕЕО поверхні?
5. Які фактори в процесі ЕЕО впливають на точність оброблення?
6. Від яких показників залежить продуктивність ЕЕО заготовок?
7. Наведіть приклади взаємозв'язку електричного режиму з технологічними показниками процесу ЕЕО.

Лабораторна робота № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

Мета роботи – закріплення теоретичних знань про електрохімічну обробку металів; проведення експериментальних досліджень залежності продуктивності процесу розчинення металу заготовки від електричних режимів оброблення.

7.1 Загальні відомості про процес електрохімічної обробки металів

Електрохімічна обробка (ЕХО) металів основана на здатності їх розчинятися в результаті окисних реакцій, що відбуваються в середовищі електропровідного розчину (електроліту) під дією на нього постійного електричного струму. Такий хімічний процес розчинення металів називається електролізом. Схему електролізу показано на рисунку 7.1.

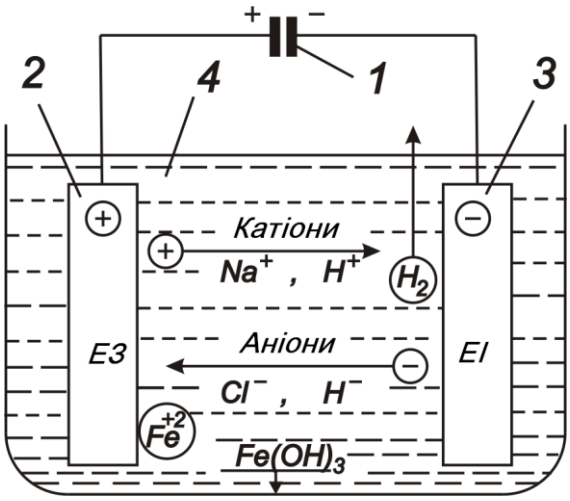


Рисунок 7.1 – Схема електролізу

Рух іонів розглянемо в найчастіше застосовуваному для ЕХО електроліті – водному розчині хлористого натрію NaCl. При подачі на електроди напруги від джерела живлення 1 аніони гідроксилу і катіони водню разом з аніонами хлору і катіонами натрію під дією сил електричного поля переміщуються відповідно до катода й анода. Атоми поверхневого шару анода 2, тобто електрода-заготовки (ЕЗ), одержуючи від аніонів Cl^- і OH^-, що рухаються до нього, додаткові негативні заряди, перетворюються на позитивні іони заліза Fe^{+2}. Останні під дією катодних і анодних реакцій взаємодіють з іонами OH^- й утворюють гідрат окису заліза $Fe(OH)_3$, що у вигляді нерозчинної хімічної сполуки випадає в осад. Таким чином, відбувається електрохімічне анодне розчинення заліза. Одночасно з цим на катоді 3, тобто на електроді-інструменті (ЕІ), виділяється водень H_2, що виходить з електроліту 4 у вигляді пузирчиків. Реакції, що відбуваються на катоді зазвичай не руйнують його, тобто ЕІ при ЕХО не спрацьовується.

Зі схеми рисунка 7.1 видно, що електроліз відбувається в міжелектродному проміжку (МЕП), де анодне розчинення в нейтральних електролітах супроводжується утворенням гідратів окису металів, що випадають в осад і засмічують МЕП. Так, якщо доступ електроліту на деякі ділянки МЕП за якихось причин утруднений або цілком припиняється, то нормальне проходження процесу ЕХО в цьому разі порушується. Для нормалізації процесу ЕХО необхідно, зокрема, вчасно видалити продукти розчинення (шлам) з МЕП, що забезпечується при швидкості витікання електроліту від 5 до 20 м/с. Такі швидкості дозволяють виконувати оброблення при підвищеній густині струму (до 1 А/мм^2) і сприяють охолодженню електроліту, що нагрівається більшою силою струму.

7.2 Основні схеми процесів ЕХО

Під розмірною ЕХО розуміють процес одержання із заготовки деталі необхідної форми і розмірів внаслідок анодного розчинення металу.

Існує кілька схем ЕХО:

1. Оброблення з нерухомими ЕІ. За цією схемою одержують місцеві полегшення в деталях, отвори в листових металах, наносять інформацію, видаляють задирки, скруглюють гострі кромки, заточують інструмент.

2. Прошивання заглиблень, порожнин, отворів. За цією схемою виготовляють робочі порожнини кувальних штампів, прошивають отвори, пази, пера лопаток турбін.

3. Протягання зовнішніх і внутрішніх поверхонь у заготовках, що мають попередньо оброблені поверхні, по яких можна базувати ЕІ. За цією схемою виконують чистову обробку циліндричних отворів, шліців, гвинтових канавок.

4. Розрізування заготовок. ЕІ є обертовим диском. За цією схемою виконують пази, щілини, підрізування пружин.

5. Шліфування або полірування. Використовують обертовий ЕІ циліндричної форми, що поступально рухається вздовж заготовки. Цю схему використовують як кінцеву операцію при виготовленні тонких пластин, а також деталей із в’язких і міцних сплавів.

7.2.1 Технологічні характеристики процесів ЕХО

Основними технологічними характеристиками процесів ЕХО є продуктивність, точність розмірів і отриманої форми, а також шорсткість оброблених поверхонь.

До факторів, що впливають на технологічні характеристики процесів ЕХО, належать: об'ємний електрохімічний еквівалент оброблюваного металу k; склад застосовуваного електроліту, його питому електропровідність χ; напругу джерела живлення U; анодну густину струму i; коефіцієнт виходу за струмом η, величину міжелектродного проміжку α; технологічний припуск Z.

Відповідно до першого закону Фарадея об’єм розчиненого металу V

при електролізі прямо пропорційний об'ємному електрохімічному еквівалентові k певного металу, силі струму I і часу τ, мм^3:

$$V = kI\tau . \qquad (7.1)$$

Об'ємний електрохімічний еквівалент k металу залежить від його валентності й атомної маси.

На практиці об’єм розчиненого металу не завжди відповідає величині, розрахованій за рівнянням (7.1). Так, об’єм розчиненого металу істотно залежить від густини струму i на аноді, яка визначається відношенням сили струму I до площі F анода, А/мм^2:

$$i = \frac{I}{F} . \qquad (7.2)$$

Ефективність процесів ЕХО оцінюють коефіцієнтом виходу металу за струмом:

$$\eta = \frac{V_\phi}{V}, \qquad (7.3)$$

де V_ϕ – фактичний об’єм розчиненого металу при пропусканні певної кількості електроенергії, мм^3.

З урахуванням рівняння (7.1) і коефіцієнта η фактичний об’єм розчиненого металу, мм^3, визначають за формулою

$$V_\phi = kI\tau\eta . \qquad (7.4)$$

Фактичний об’єм розчиненого металу V_ϕ зазвичай завжди менше розрахункового об’єму V (при активному розчиненні $\eta = 0{,}5...0{,}9$, при пасивному – $\eta < 0{,}5$).

Якісні показники характеристик процесу ЕХО значною мірою залежать від застосування технологічних схем ЕХО.

7.2.2 Технологічні схеми ЕХО

Операції ЕХО за технологічним режимом умовно поділено на дві групи:

1. ЕХО при невисокій густині струму (від 0,02 до 0,03 А/мм^2) у стаціонарному електроліті (ЕХС).

2. ЕХО при високій густині струму (до 1 А/мм^2) у проточному електроліті (ЕХП).

На рисунку 7.2, а показано принципову схему ЕХО в стаціонарному електроліті для найбільш типової операції – електролітичного шліфування або полірування: 1 – джерело живлення; 2 – резистор; 3 – електроліт; 4 – ванна; 5 – електрод-заготовка (анод); 6 – плівка продуктів розчиненого металу (шлам); 7 – силові лінії струму; 8 – електрод-інструмент (катод).

Проходження електричного струму через електроди 5 і 8 й електроліт 3 супроводжується розчиненням поверхні ЕЗ 5 в електроліті й утворенням плівки з продуктів розчинення в западинах шорсткості, що ізолює їх від проходження струму, зосереджуючи його силові лінії 7 на незахищених ви-

ступах поверхні ЕЗ (рисунок 7.2, б). З цієї причини виступи швидко розчиняються і мікронерівність згладжується.

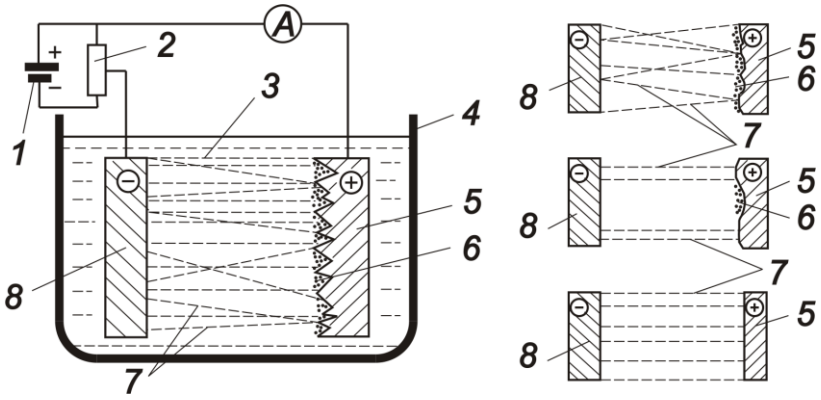


Рисунок 7.2 – Принципова схема ЕХО в стаціонарному електроліті:
а – електрична схема; б – механізм розчинення виступів

На відміну від розглянутого процесу ЕХС розмірна ЕХП відбувається при безперервному й інтенсивному відновленні електроліту, що прокачується під тиском через МЕП. Примусове видалення електроліту з робочої зони забезпечує формоутворення оброблюваних поверхонь з меншими, ніж при електрохімічному травленні і поліруванні, величинами МЕП.

Відповідно до цього анодне розчинення металу на ділянках з мінімальним значенням МЕП відбувається на початковій стадії оброблення інтенсивніше, ніж на ділянках з великими значеннями МЕП.

Існує технологічна схема розмірної ЕХП із двома рухомими ЕІ, що розташовані по обидва боки заготовки (рисунок 7.3, а) і зближаються назустріч один одному з подачею S.

На рисунку 7.3, б зображено схему електрохімічного формоутворення фасонних поверхонь тіл обертання. У цьому випадку робоча подача S здійснюється шляхом переміщення ЕІ до обертової заготовки.

Утворення канавок різної форми може виконуватися за технологічною схемою, показаною на рисунку 7.3, в. При цьому ЕЗ і ЕІ в процесі оброблення є нерухомими відносно один одного, і, отже, значення МЕП буде зростати в міру збільшення часу оброблення. Поверхні ЕІ, що не беруть участі у формоутворенні деталі, при такій схемі захищають діелектричним шаром.

Переваги ЕХС: можливість одержання поверхонь складнопрофільованих деталей з малою шорсткістю без застосування спеціального інструменту.

Недоліки ЕХС: невисока питома продуктивність і труднощі збільшення її через підвищення густини струму; чутливість до змін стану і складу електроліту.

Переваги ЕХП: висока продуктивність, що принципово не має обмежень зростання; відсутність спрацювання ЕІ; низька шорсткість поверхні та висока точність оброблення при одночасному підвищенні продуктивності.

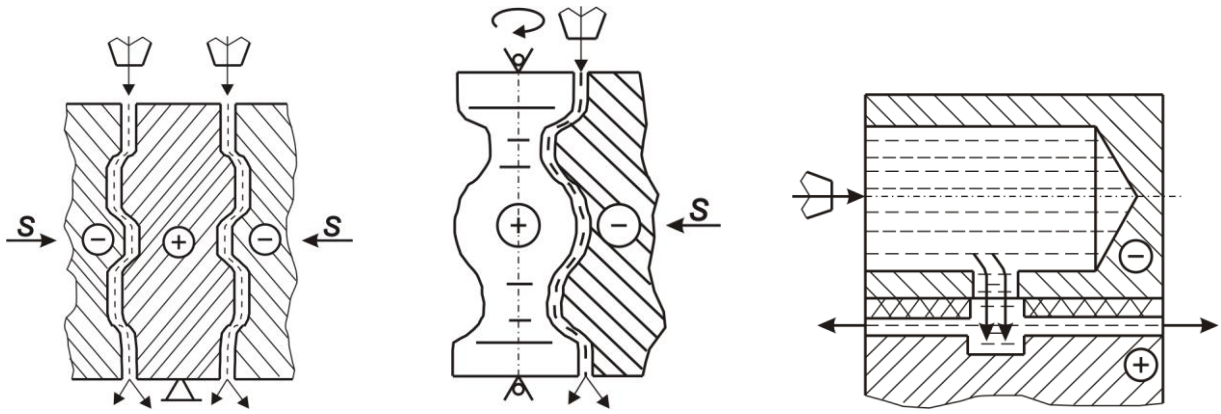


Рисунок 7.3 – Технологічні схеми процесів ЕХО
в проточному електроліті

Недоліки ЕХП: висока енергоємність процесу, необхідність застосування спеціальних заходів для видалення шламу і газу; обов'язкове забезпечення інтенсивної циркуляції електроліту через МЕП.

7.3 Продуктивність процесів ЕХО

Продуктивність оздоблювальних процесів ЕХО характеризується швидкістю оброблення, що виражається в різних одиницях вимірів фізичних величин. Так, при електрохімічному травленні швидкість оброблення визначається кількістю металу, що знімається за одиницю часу, і залежно від виду оброблюваного металу, складу електроліту та інших факторів коливається від 0,05 до 0,2 мм/хв. Продуктивність електрохімічного полірування визначають за тривалістю процесу, що при поліруванні вуглецевих сталей становить від 5 до 10 хв, алюмінію – від 2 до 3 хв.

Продуктивність розмірного електрохімічного формоутворення характеризується швидкістю анодного розчинення металу, що виражається в лінійних (мм/хв) або об'ємних ($мм^3$/хв) одиницях.

При електрохімічному формоутворенні з нерухомими електродами, коли величина МЕП змінюється в процесі оброблення, продуктивність залежить від багатьох факторів, у першу чергу від тривалості процесу оброблення. Так, зі збільшенням часу оброблення відповідно зростає МЕП і знижується швидкість електрохімічного розчинення.

Об'ємний електрохімічний еквівалент k для кожного виду металу має певне значення і тому не впливає на продуктивність розмірної ЕХО. Зміною ж параметрів U, α, χ, η до граничних значень можна істотно знизити або підвищити продуктивність розмірного електрохімічного формоутворення.

З підвищенням робочої температури електропровідність і, відповідно, густина струму на аноді збільшуються. Підвищення швидкості прокачування електроліту в МЕП сприяє більш інтенсивному видаленню шламу з зони оброблення, що також збільшує електропровідність шару електроліту в МЕП.

7.3.1 Якість поверхні при ЕХО

При ЕХО якість оброблених поверхонь визначається в основному їхньою шорсткістю.

На відміну від традиційних процесів обробки різанням, коли різець, здійснюючи силове діяння на оброблювану поверхню, утворює на ній деформовані (напружені) шари металу, ЕХО не спричиняє в поверхневих шарах оброблюваного металу будь-яких механічних напружень. Це в ряді випадків позитивно позначається на якості оброблюваних поверхонь.

У загальному вигляді якість оброблюваних поверхонь залежить від сполучення значень таких параметрів як склад електроліту, його температура, швидкість прокачування електроліту через МЕП і густина електричного струму. При обробленні вуглецевих і нержавіючих сталей з використанням розчину хлористого натрію як електроліту шорсткість поверхонь, отримана при розмірній ЕХО, становить від 2,50 до 1,25 мкм.

Підвищення температури електроліту зазвичай негативно позначається на шорсткості поверхонь. Однак у деяких випадках, наприклад при розмірній ЕХО титанових сплавів, з підвищенням температури електроліту якість оброблюваної поверхні підвищується.

Збільшення густини електричного струму зменшує шорсткість оброблюваних поверхонь.

7.4 Установка для ЕХО в стаціонарному електроліті

У лабораторній роботі використовується серійна промислова установка для ЕХО в стаціонарному електроліті моделі Е3І-2, основні конструктивні елементи якої показано на рисунку 7.4, а. Для експерименту використовують зразки розміром 40х25х1 мм з листової нержавіючої сталі марки 1Х18Н9Т, які по черзі занурюють у розчин електроліту на глибину 25 мм тривалістю 5 хвилин.

Електроліт для ЕХО нержавіючої сталі має такий хімічний склад, %: фосфорна кислота – 73–74; хромовий ангідрид – 9–10; вода – 15–16. Вимірювання різниці товщини матеріалу вихідного та обробленого зразків $\Delta S = S_0 - S_1$ (рисунок 7.4, б) проводять за допомогою важільної скоби моделі СР 0-25 з абсолютною похибкою вимірювання 0,002 мм.

Густина струму ЕХО в стаціонарному електроліті встановлюють згідно з технологічними рекомендаціями для нержавіючої сталі: i =16, 20, 24, 28, 32 А/дм^2. Ця розмірність густини струму для процесів ЕХО історично загальноприйнята в технології машинобудування.

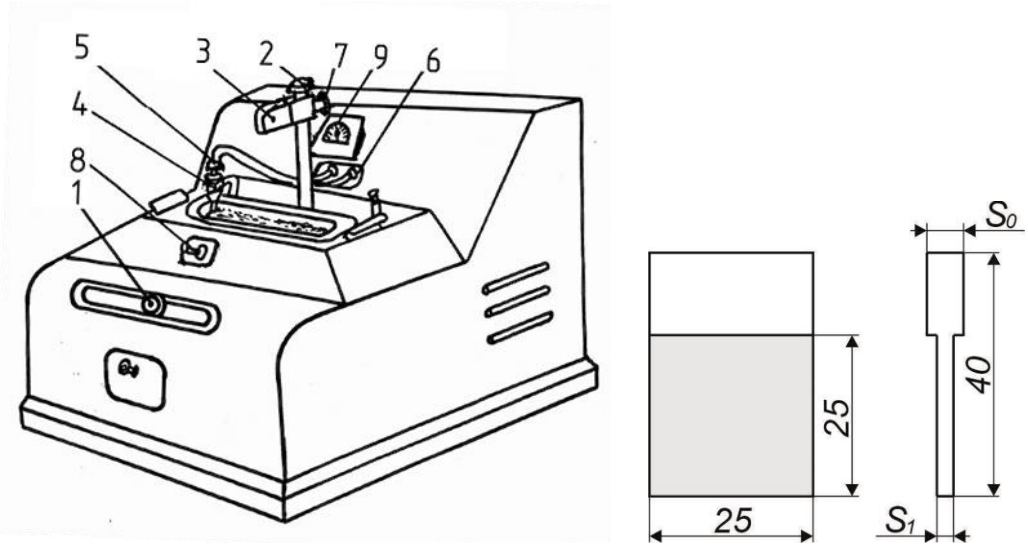
Оброблення на установці моделі Е3І-2 виконують у такій послідовності:

1. Підготовка установки до роботи:

– установити рухомий контакт 1 реостата в середнє положення;

– закріпити на штативі 2 анодний затискач 3;

– вставити в кронштейн 4 термоконтактор 5 і приєднати його до ланцюга установки за допомогою двох штирків, вставлених у гнізда панелі 6;



а б

Рисунок 7.4 – Компонування установки ЕЗІ-2 (а) та розміри зразків (б) для ЕХО в стаціонарному електроліті: 1 – рухомий контакт реостата; 2 – штатив; 3 – анодний затискач; 4 – кронштейн; 5 – термоконтактор; 6 – панель; 7 – гвинт; 8 – тумблер; 9 – амперметр

– опустити термоконтактор 5 в електроліт на 15 мм;

– увімкнути установку до мережі змінної напруги 220 В.

2. Порядок проведення ЕХО:

– установити в анодний затискач 3 заготовку, опустити її у ванну до лінії позначення занурення і закріпити анодний затискач гвинтом 7;

– увімкнути струм тумблером 8;

– установити за допомогою рухомого контакту реостата 1 необхідну силу струму за амперметром 9 для заданої густини струму;

– обробити заготовку протягом заданого часу;

– вимкнути струм тумблером 8;

– установити рухомий контакт реостата 1 у середнє положення;

– вийняти заготовку з ванни і, утримуючи її пінцетом, видалити з анодного затискача 3;

– промити заготовку проточною водою.

7.4.1 Техніка безпеки при роботі на установці для ЕХО

1. Забороняється вмикати установку і працювати на ній без дозволу викладача або навчального майстра.

2. Установка для ЕХО повинна бути заземлена.

3. При підготовці установки до роботи і під час роботи на ній не можна допускати попадання електроліту на відкриті частини тіла (обличча і руки) і одяг. Уражені ділянки тіла необхідно промити струменем проточної води.

4. При роботі на установці необхідно стояти на гумовому килимку і користуватися гумовими рукавичками.

5. На ділянці установок ЕХО палити забороняється.

7.5 Комплектування лабораторної роботи

1. Установка для ЕХО в стаціонарному електроліті моделі Е3І-2.
2. Скоба важільна моделі СР 0-25 (ціна поділки – 0,002 мм).
3. Зразки-свідки зі сталі марки 1Х18Н9Т.
4. Мікроскоп вимірювальний МБС-9 (збільшення – від 4 до 100).

7.6 Порядок проведення експериментальних досліджень

1. Вивчити основні відомості про розмірну ЕХО металів і її технологічні схеми, техніку безпеки, конструкцію установки (див. рисунок 7.4).

2. Виміряти товщину S_0 і визначити шорсткість зразків перед обробленням на установці.

3. Розрахувати величину струму за заданою у таблиці 7.1 густиною струму відповідно до формули (7.2).

4. Обробити заготовки на установці ЕХО протягом заданого часу, змінюючи густину струму для кожного зразка.

5. Виміряти товщину оброблених заготовок S_1 і обчислити фактичний об'єм розчиненого металу кожної заготовки. Оброблення трьох торців можна не враховувати.

6. Визначити параметри шорсткості на оброблених поверхнях кожної заготовки.

7. Обчислити продуктивність процесу з урахуванням режиму оброблення кожної заготовки.

8. Побудувати графік залежності продуктивності процесу ЕХО в стаціонарному електроліті від густини струму $Q = f(i)$.

9. Відповісти на контрольні запитання.

10. Оформити звіт з лабораторної роботи.

Таблиця 7.1 – Протокол. Залежність продуктивності ЕХО від густини струму

1. Матеріал заготовки – .
2. Матеріал ЕІ – дріт діаметром 3 мм із технічного титану марки ВТ1-0.
3. Час оброблення $\tau = 5$ хв.
4. Площа оброблюваної поверхні, мм^2, $F =$.
5. Склад електроліту – .
6. Температура електроліту $t = 30$ °С.

Номер заготовки	Електричний режим оброблення		Параметри шорсткості, мкм		Об'єм розчиненого металу V, мм^3	Продуктивність процесу Q, мм^3/хв
	густина струму i, А/дм^2	сила струму I, А	до оброблення	після оброблення		
1	16					
2	20					
3	24					
4	28					
5	32					

7.7 Зміст звіту

1. Короткий конспект, що відбиває основні схеми і технологічні характеристики процесу ЕХО металів (див. підрозділи 7.1 і 7.2, рисунки 7.1 і 7.2).

2. Схема процесу ЕХО в проточному електроліті (див. рисунок 7.3, а).

3. Протокол результатів експериментальних досліджень ЕХО в стаціонарному електроліті (див. таблицю 7.1).

4. Графік залежності продуктивності ЕХО в стаціонарному електроліті від густини струму $Q = f(i)$.

5. Висновки про результати проведених експериментальних досліджень.

Контрольні запитання

1. Які фактори впливають на технологічні характеристики процесів ЕХО?

2. Назвіть особливості технологічних процесів розмірної ЕХО з ЕІ, що переміщується в проточному електроліті.

3. Назвіть особливості проєктування ЕІ для різних технологічних схем ЕХО.

4. Від яких параметрів устаткування залежить продуктивність процесу ЕХО?

5. Перелічіть переваги та недоліки процесу розмірної ЕХО у стаціонарному електроліті.

6. Перелічіть переваги та недоліки розмірної ЕХО у проточному електроліті.

Лабораторна робота № 8

ВИВЧЕННЯ СИСТЕМИ УНІВЕРСАЛЬНО-СКЛАДАЛЬНИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи – ознайомлення з призначенням та конструкцією основних елементів універсально-складальних верстатних пристроїв; набуття практичних навичок складання кондуктора для деталі «Провушина» у метричній системі координат.

8.1 Система універсально-складальних пристроїв

Універсально-складальними (УСП) називають пристрої, що збирають з комплекту стандартизованих елементів – деталей, вузлів, механізмів. Елементи УСП – універсальні, а зібраний пристрій стає спеціальним, оскільки він призначений для встановлення конкретної заготовки на виконуваній операції. Після оброблення заданої кількості заготовок пристрій розбирають і його елементи використовують для компонування інших пристроїв. Таким чином, елементи УСП багаторазово використовують для повторного збирання пристроїв. Цей клас пристроїв широко застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництвах.

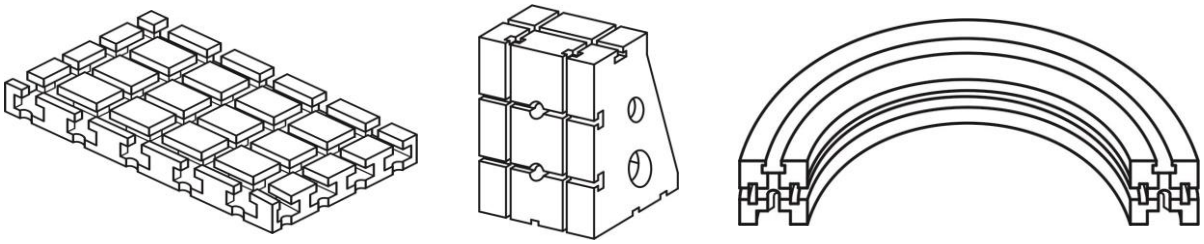
Конструкція і розміри елементів УСП визначаються серіями стандартів. Головну відмінність кожної серії становить ширина кріпильного Т-подібного паза в елементах УСП: 8 мм (УСП-8) – приладобудування; 12 мм (УСП-12) – середнє машинобудування, у тому числі й літакобудівне виробництво; 16 мм (УСП-16) – важке машинобудування.

Всі елементи комплекту УСП з'єднують меж собою за схемою «шпонка – паз» і фіксують болтами, шпильками, гвинтами і гайками. Шпонкові пази на елементах УСП виконуються Т- та П-подібними.

8.1.1 Групи елементів УСП

Всі елементи УСП, що входять до комплекту, за функціональною ознакою поділяють на вісім груп: базові, корпусні, установлювальні, напрямні, притискні, кріпильні, різні деталі, складальні одиниці.

1. Базові елементи: квадратні, прямокутні та круглі плити, косинці, півкільця. Базові деталі є основою для складання УСП (рисунок 8.1).



а б в

Рисунок 8.1 – Приклади базових елементів УСП: а – плита прямокутна; б – косинець; в – півкільце

Конструктивною особливістю базових деталей є наявність на їхніх робочих поверхнях сітки Т-подібних і шпонкових пазів з кроком, кратним 30 мм. На перетині осей шпонкових пазів розташовані нарізні отвори.

2. Корпусні елементи: опори, прокладки (прямокутні, квадратні, Г-подібні), планки, косинці (рисунок 8.2).

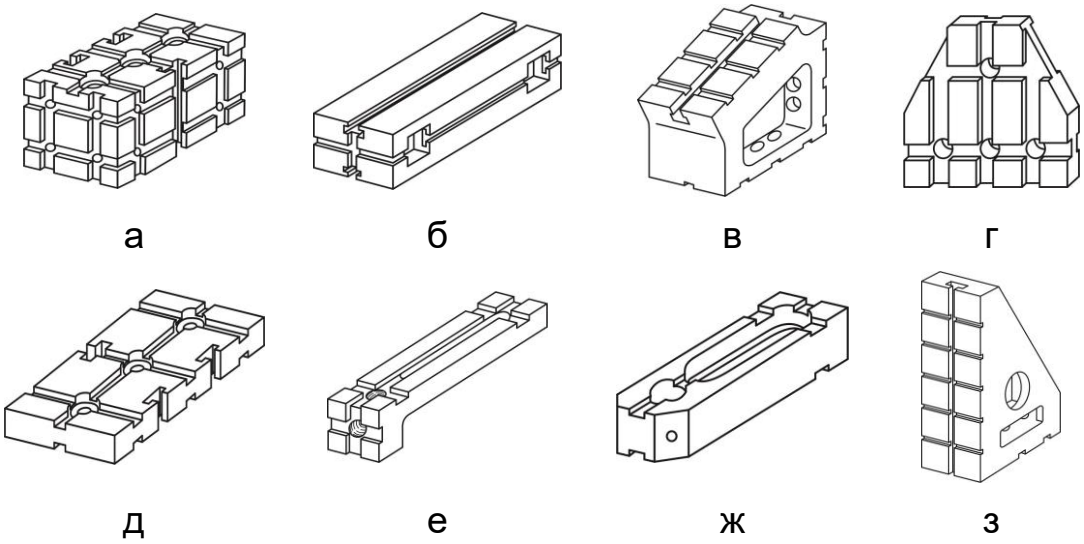


Рисунок 8.2 – Приклади корпусних елементів УСП: а, б – опори плоскі; в – опора кутова; г, д, е – прокладки; ж – планка; и – косинець

Елементи цієї групи призначені для утворення корпусу верстатного пристрою. Крім того, вони можуть виконувати функції базових деталей при створенні малогабаритних УСП або використовуватися як сполучні елементи при монтажі великогабаритних пристроїв. Основними в корпусі УСП є опори прямокутні, квадратні та кутові, вони мають Т- і П-подібні пази та нарізні отвори. Інші елементи призначені для регулювання опор по висоті для створення єдиного жорсткого верстатного пристрою.

3. Установлювальні елементи: призми, опори, установи для базування різального інструменту, штирі та пальці, Т-подібні шпонки (рисунок 8.3).

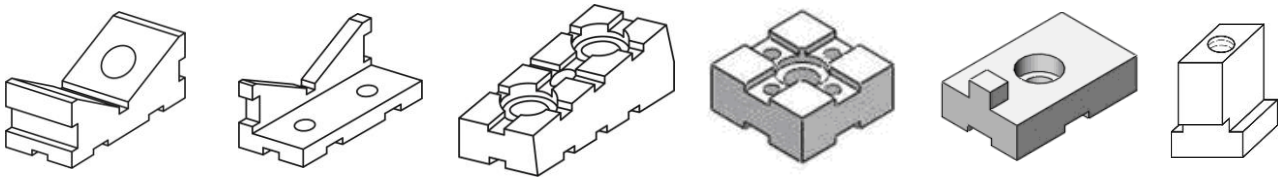
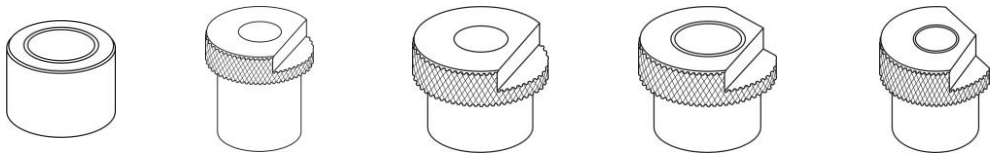


Рисунок 8.3 – Приклади установлювальних елементів: а – призма широка; б – призма вузька; в – опора клиноподібна; г – опора плоска; д – установ для фрези; е – шпонка Т-подібна

Деталі цієї групи елементів УСП призначені для базування заготовок, настроювання виконавчих розмірів різального інструменту, а також для виставлення корпусних деталей відносно базових.

4. Напрямні елементи: перехідні та кондукторні втулки (рисунок 8.4).

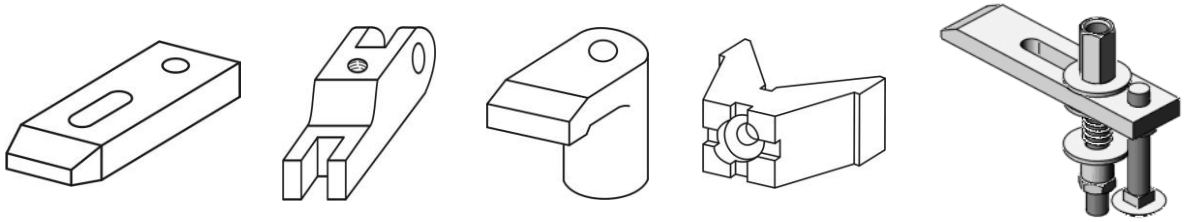


а б в г д

Рисунок 8.4 – Приклади кондукторних втулок: а – втулка перехідна; б, в – втулки знімні; г, д – втулки швидкознімні

Напрямні елементи призначені для спрямування різального інструменту та налаштування рухомих частин пристрою.

5. Притискні елементи та пристрої: пересувні планки різної конфігурації (плоска, вилчаста, вигнута, двостороння), наконечники для закріплення плоских та циліндричних поверхонь заготовки (рисунок 8.5).



а б в г д

Рисунок 8.5 – Приклади притискних деталей та пристроїв: а – планка пересувна плоска; б – планка поворотна; в – наконечник Г-подібний; г – наконечник призматичний; д – прихоплювач

Прихоплювач – це комбінований затискний пристрій, який одним кінцем спирається на поверхню оброблюваної заготовки, а іншим – на площину базового або корпусного елемента УСП. Притискання заготовки прихоплювачем здійснюють за допомогою пазових болтів різної довжини, які проходять через овальний отвір пересувної або поворотної планки прихоплювача.

6. Кріпильні деталі: болти, шпильки, гайки, шайби (рисунок 8.6).

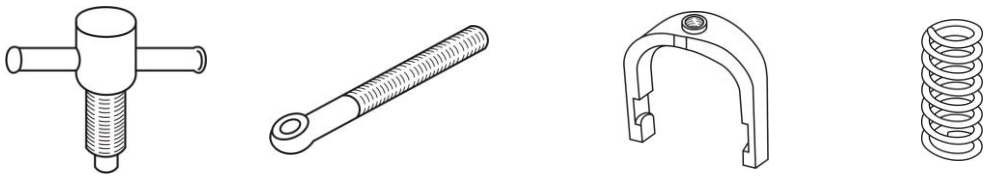


а б в г д

Рисунок 8.6 – Приклади кріпильних елементів: а – пазовий болт; б – шайба швидкознімна; в – гайка; г – гвинт; д – шпилька

Кріпильні елементи призначені для з'єднання між собою окремих блоків пристрою та закріплення у пристрої заготовок.

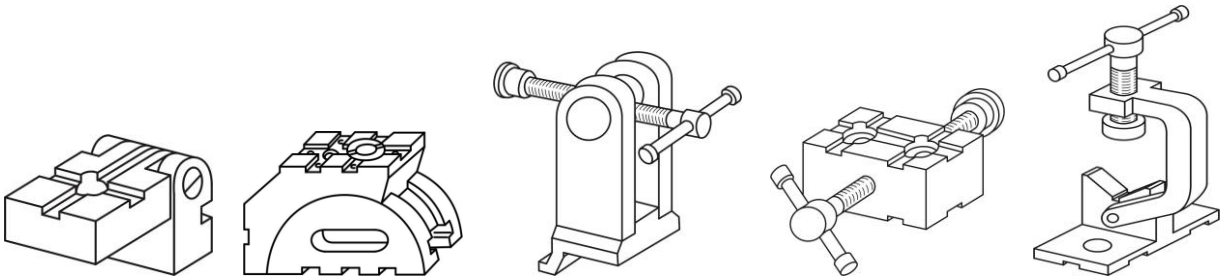
7. Різні деталі: гвинти натискні, болти відкидні, хомутики, рукоятки, пружини, необхідні для конструкторської комплектації УСП (рисунок 8.7).



а б в г

Рисунок 8.7 – Приклади різних деталей: а – гвинт натискний; б – болт відкидний; в – хомутик; г – пружина

8. Складальні одиниці: поворотні головки, регульовані опори, гвинтові і лещатні затискачі, шарнірні прихоплювачі з призмою (рисунок 8.8).

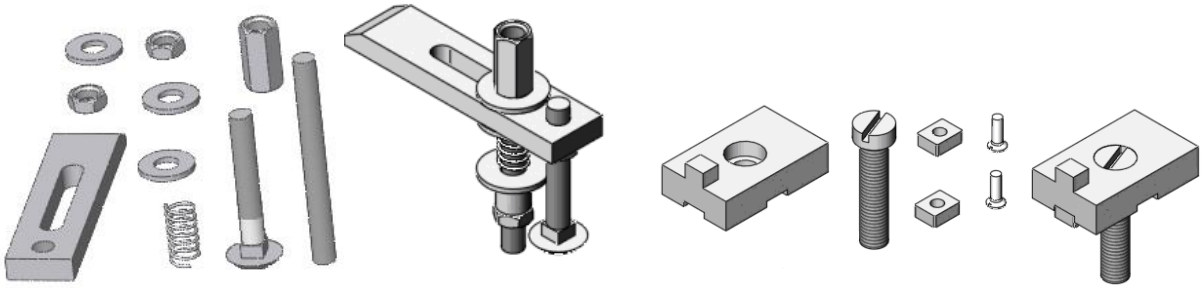


а б в г д

Рисунок 8.8 – Приклади складальних одиниць: а – планка поворотна; б – опора поворотна; в, г, д – затискачі гвинтові

Складальні одиниці застосовують для монтажу більш раціональних та компактних конструкцій УСП. Складальні одиниці, як і базові та корпусні елементи, мають на своїх поверхнях Т- і П-подібні шпонкові пази, які дозволяють з'єднувати їх між собою та з елементами інших груп УСП.

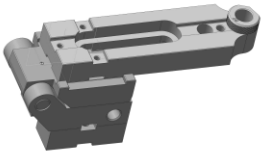
Приклад комплектації елементів УСП для затискного пристрою – прихоплювача показано на рисунку 8.9, а, комплектації елементів УСП установа для кінцевої фрези – на рисунку 8.9, б.



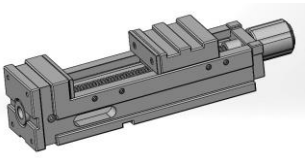
а б

Рисунок 8.9 – Комп'ютерна імітаційна модель комплектації елементів УСП: а – прихоплювач; б – установ для кінцевої фрези

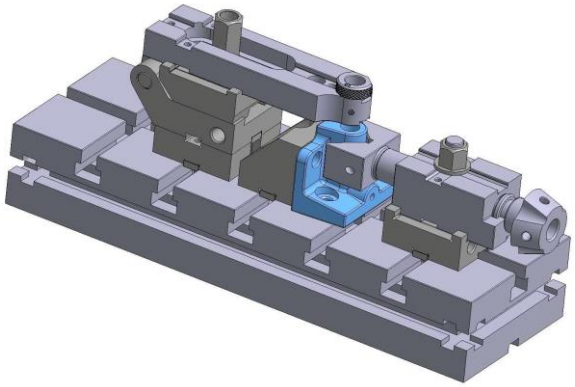
На рисунку 8.10 показано комп'ютерні моделі комплектації двох складальних одиниць та кондуктора з елементів і деталей УСП.



а



б

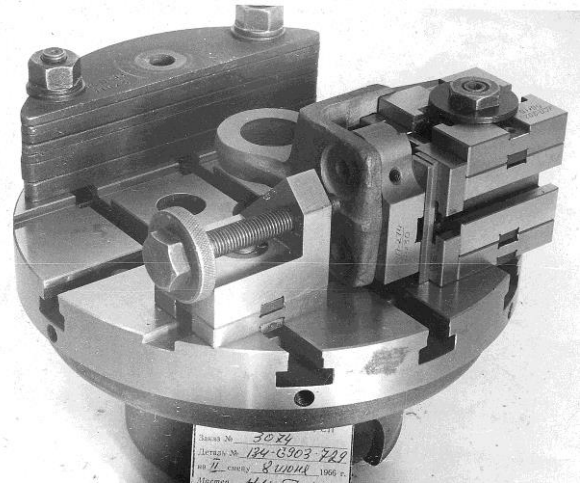


в

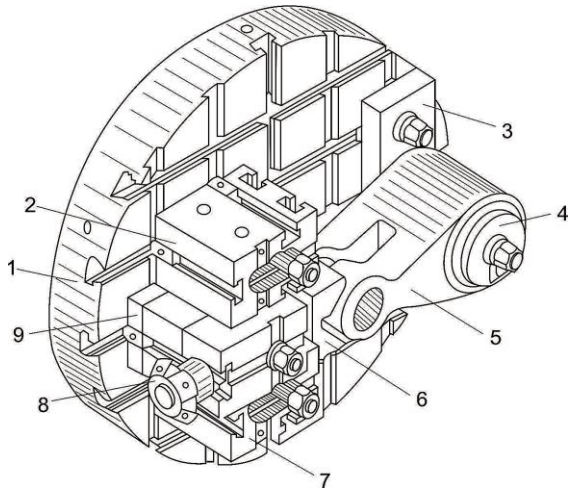
Рисунок 8.10 – Комп'ютерні моделі складальних одиниць УСП:
а – опора з кондукторною втулкою; б – затискач лещатний;
в – кондуктор УСП з комплектацією двох складальних одиниць

Для забезпечення високої точності та міжосьового розміру отворів у корпусних деталях, які не може забезпечити кондуктор, застосовують технологію розточування. Базовою деталлю УСП у цьому випадку є кругла плита, де монтують елементи УСП (рисунок 8.11, а).

На рисунку 8.11, б як приклад показано схему компонування УСП для розточування двох співвісних отворів у деталі «Серьга».



а



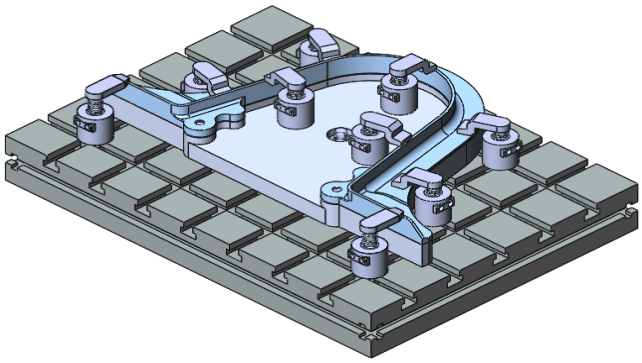
б

Рисунок 8.11 – Приклади УСП для розточування: а – одного отвору;
б – двох співвісних отворів у деталі «Серьга»: 1 – плита кругла;
2 – опора квадратна; 3 – прокладка вузька; 4 – шайба швидкознімна;
5 – деталь; 6 – наконечник призматичний; 7 – опора вузька; 8 – затискач гвинтовий; 9 – набір із двох прокладок різної товщини

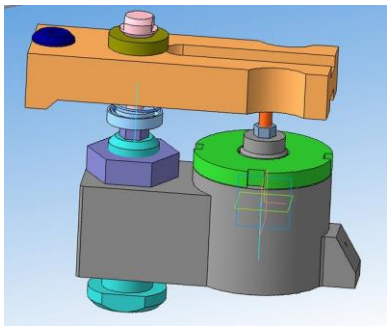
Кількісний склад одного комплекту УСП залежить від обсягу продукції, що випускається, і коливається в межах від 4 до 20 тисяч елементів. З такого комплекту можна зібрати і використовувати на робочих місцях одночасно від 150 до 200 комплектів верстатних пристроїв.

Недоліками УСП слід вважати знижену жорсткість через наявність великої кількості стиків елементів, а також відсутність в наборі швидкодіючих затискних пристроїв з силовим приводом

Для зменшення часу затиску та розкріплення заготовки розроблено два види механізованих комплектів елементів – УСПМ-12 (середнє машинобудування, у тому числі літакобудівне виробництво) та УСПМ-16 (важке машинобудування). Комплект засобів механізації цих серій складається з гідравлічних блоків і циліндрів, арматури, прихоплювачів, опорних деталей для встановлення циліндрів (рисунок 8.12).



а



б

Рисунок 8.12 – Компонування комплекту елементів УСПМ-12 для фрезерування: а – загальний вигляд; б – прихоплювач гідравлічний

Механізований комплект УСПМ-12 призначено для оброблення заготовок масою до 60 кг та габаритними розмірами не більше 1440×300×720 мм.

8.1.2 Технічні вимоги до елементів УСП

Елементи УСП всіх серій та модифікацій виготовляють із матеріалів, що мають високу міцність та поверхневу стійкість після термообробки. Базові та корпусні деталі виготовляють зі сталі 20Х, встановлювальні та напрямні деталі – зі сталей 20Х, 40Х, У8А. Деталі зі сталі 20Х цементують і гартують, деталі зі сталі 40Х азотують на глибину 0,3…0,5 мм. Твердість поверхневого шару при цьому становить HRC 48…58, а серцевини – HRC 28…32. Деталі зі сталі У8А гартують до твердості HRC 56…64.

Кріпильні деталі виготовляють зі сталей 38ХА, 40Х, 45 і загартовують до твердості HRC 36...42, що дозволяє зменшити розміри перерізу болтів при забезпеченні необхідної міцності.

У таблиці 8.1 наведено рекомендовані масові та габаритні обмеження щодо застосування УСП різних серій.

Таблиця 8.1 – Рекомендації щодо застосування УСП різних серій

Серія	Маса заготовок, кг	Розміри заготовок, мм
УСП-8	5	240 х120 х 120
УСП-12	60	720 х 360 х 240
УСП-16	3000	2400 х 2400 х 960

Зазвичай УСП збирають із елементів однієї серії, в окремих технічно та економічно обґрунтованих випадках пристрій збирають з елементів різних серій. Для цього використовують перехідні шпонки та шпильки.

На відміну від спеціальних верстатних пристроїв система УСП виключає додаткове доопрацювання під час складання пристроїв, оскільки елементи УСП виготовляють з підвищеною точністю лінійних і кутових розмірів і міжцентрових відстаней.

Основні лінійні та кутові розміри базових та корпусних деталей виконують за квалітетом точності $IT6$. Допуски на відхилення від паралельності та перпендикулярності робочих площин, осей отворів, шпонкових та Т-подібних пазів відповідають квалітету точності $IT5$.

8.1.3 Методика конструювання УСП

Вихідними даними для конструювання УСП є: метод оброблення заготовки, креслення деталі, операційний ескіз оброблення заготовки, тип верстата і кількість заготовок, що одночасно оброблюються в пристрої.

Процес створення УСП складається з розроблення монтажної схеми пристрою відповідно до вимог технологічного процесу виготовлення деталі і подальшого складання верстатного пристрою зі стандартизованих елементів. Після чого виконують налагодження виконавчих розмірів напрямних елементів пристрою. Наявність заготовки деталі істотно спрощує складання та налагодження УСП.

Монтажна схема пристрою із УСП – це креслення, на якому зображується принцип складання пристрою, тобто вказується взаємне розташування елементів компонування, їх шифри та необхідна для їх монтажу кількість. Габаритні розміри на монтажній схемі не вказують, проставляють лише установлювальні розміри.

Процес складання УСП починають з вибору базової плити, розміри якої повинні забезпечити встановлення на її робочій поверхні деталей та складальних одиниць, що сприймають при обробленні основне навантаження від сил різання. Потім на базовій плиті встановлюють елементи базування та затиску заготовки. Для кондукторів додатково встановлюють прямокутні опори, на яких закріплюють напрямні планки з кондукторними втулками.

Положення одного елемента УСП відносно іншого визначається кількома шпонками, які за допомогою гвинтів фіксуються у відповідних пазах. Потім елемент УСП зі шпонками встановлюють в пази іншого елемента пристрою та здійснюють затягування стиків болтами.

Попереднє положення заготовки визначають слюсарною лінійкою або штангенциркулем, а остаточний контроль розмірів – набором кінцевих еталонних плиток та мікрометром.

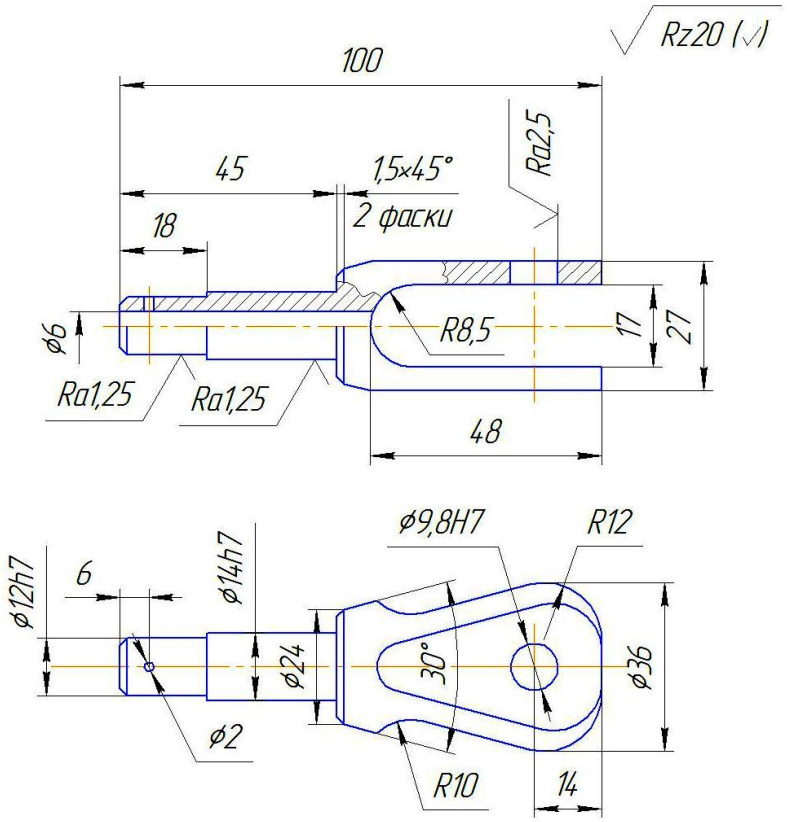
З метою накопичення досвіду та полегшення повторних складань типові компонування УСП, що пройшли експлуатаційну перевірку, фотографують та оформляють у вигляді альбому монтажних схем.

Цикл складання УСП за часом від 40 до 50 разів і за трудомісткістю від 10 до 15 разів менше порівняно з виготовленням аналогічних за призначенням спеціальних верстатних пристроїв.

8.2 Комплектування лабораторної роботи

1. Комплект елементів та деталей УСП для оброблення отвору Ø9,8*H7* в деталі «Провушина» (рисунок 8.13).

2. Монтажна схема кондуктора для виготовлення отвору Ø9,8*H7* в деталі «Провушина».



1. h12, H12, ± IT 12/2.
2. Неспіввісність поверхонь Ø12h7 та Ø14h7 – не більше 0,3 мм.
3. Неперпендикулярність осі отворів Ø9,8H7 з віссю деталі – не більше 0,1 мм.

Рисунок 8.13 – Фрагмент креслення деталі «Провушина»

8.3 Порядок проведення лабораторної роботи

1. Ознайомитися з принципом побудови системи УСП, вивчити конструкцію основних елементів комплекту УСП.

2. Розробити операційний ескіз для розточування двох співвісних отворів у деталі «Серьга» (див. рисунок 8.11, б).

3. Провести систематизацію елементів УСП деталі «Серьга» (див. рисунок 8.11, б) за групами.

4. Розробити операційний ескіз для оброблення отвору Ø9,8*H7* в деталі «Провушина» (див. рисунок 8.13).

5. Зібрати з елементів УСП кондуктор для оброблення отвору Ø9,8*H7* відповідно до операційного ескізу та використання монтажної схеми для деталі «Провушина».

6. Розібрати кондуктор та розкласти деталі в ящику для зберігання.

7. Оформити звіт з роботи.

8. Відповісти на контрольні запитання.

8.4 Зміст звіту

1. Принцип побудови системи УСП, перелік та призначення різних груп елементів УСП.

2. Основні технічні вимоги до елементів системи УСП.

3. Методика конструювання УСП.

4. Операційний ескіз для розточування двох співвісних отворів у деталі «Серьга».

5. Систематизація елементів УСП деталі «Серьга» за групами.

6. Операційний ескіз для свердління отвору Ø9,8*H7* у деталі «Провушина».

7. Перелік корпусних деталей та пристроїв кондуктора для оброблення деталі «Провушина».

8. Висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. Для якого типу виробництва доцільно застосовувати УСП?

2. Які серії комплектів УСП стандартизовані?

4. Які групи деталей входять до комплекту УСП?

5. Яка кількість деталей входить до комплекту УСП?

6. Скільки пристроїв можна зібрати з одного комплекту УСП для декілька верстатів, що одночасно працюють?

7. Чому система УСП виключає додаткове доопрацювання під час складання верстатних пристроїв?

8. У якому порядку проводять складання верстатних пристроїв з елементів УСП?

9. У чому переваги та недоліки використання УСП?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боборикін, Ю. О. Основи технології літакобудування : навч. посіб. Кн. 1. Загальні принципи побудови технологій / Ю. О. Боборикін, В. Т. Сікульський. – Харків : Держ. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2000. – 118 с.

2. Боборикін, Ю. О. Основи технології літакобудування : навч. посіб. Кн. 2. Характеристика і зміст технології виробництва літаків / Ю. О. Боборикін, В. Т. Сікульський, А. В. П'янков. – Харків : Держ. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2000. – 64 с.

3. ДСТУ 2232-93. Базування та бази в машинобудуванні. Терміни та визначення. – Введ. 01.07.94. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 35 с.

4. ДСТУ 2233-93. Інструменти різальні. Терміни та визначення. – Введ. 01.07.94. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 43 с.

5. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення. – Введ. 01.01.95. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 63 с.

6. ДСТУ 2298-93. Верстати металорізальні. Терміни та визна-чення. – Введ. 01.01.95. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 32 с.

7. ДСТУ 2579-94. Цифрова індикація та цифрове керування устаткуванням. Терміни та визначення. – Введ. 01.07.95. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 48 с.

8. Основи технології літакобудування : навч. посіб. Кн. 3. Зміст і методи технологічної підготовки виробництва літаків / Ю. О. Боборикін, В. Т. Сікульський, В. Л. Малашенко, С. Г. Кушнаренко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2008. – 76 с.

9. Спеціальні технології, обладнання і оснащення авіаційного виробництва : навч. посіб. / В. В. Коллєров, Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2017. – 72 с.

10. Сучасні методи координатних вимірювань в авіа- та ракетобудуванні : навч. посіб. / І. В. Бичков, К. В. Майорова, І. О. Воронько, Ю. В. Д'яченко та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 96 с.

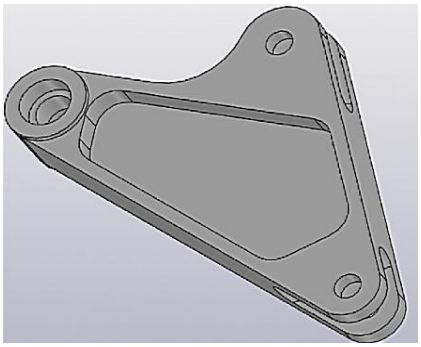
11. Технологія виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску : пдручник / В. С. Кривцов, В. Т. Сікульський, Ю. В. Д'яченко та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2010. – 224 с.

12. Технологія виробництва літальних апаратів : підручник. У 2 кн. Кн. 1. Технологія виробництва деталей ЛА / І. А. Гриценко, К. А. Животовська, О. В. Мамлюк, Ю. М. Терещенко ; за ред. Ю. М. Терещенка. – Київ : Вища освіта, 2004. – 448 с.

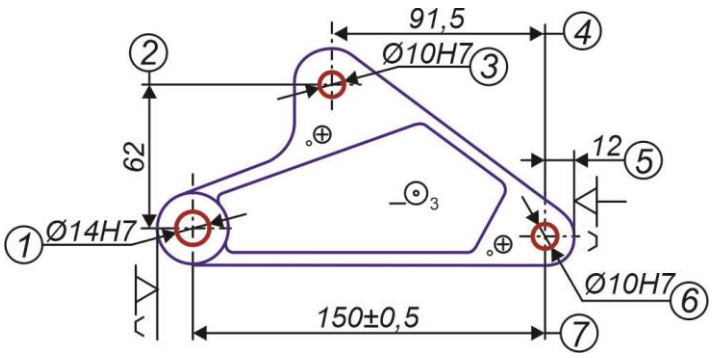
ДОДАТОК А

Приклади компонування спеціальних верстатних пристроїв

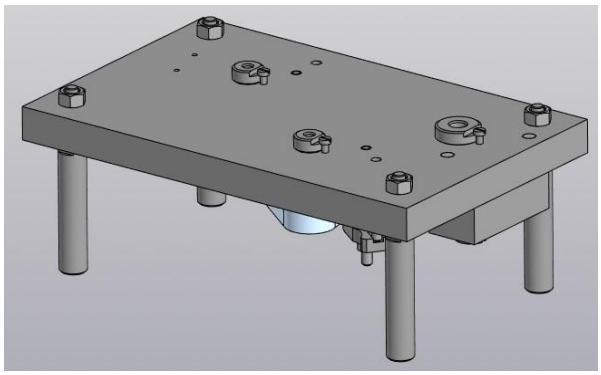
Приклад компонування кондуктора для виготовлення в деталі «Качалка» одного отвору діаметром 14*H7* мм і двох отворів діаметром 10*H7* показано на рисунку А.1.



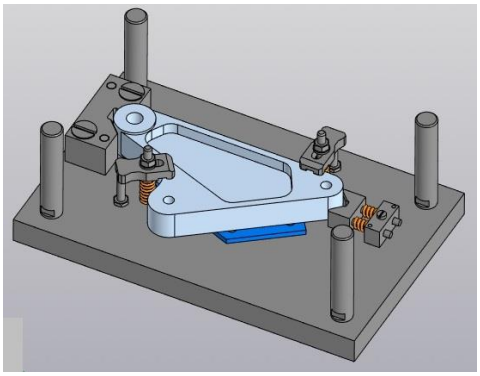
а



б



в



г

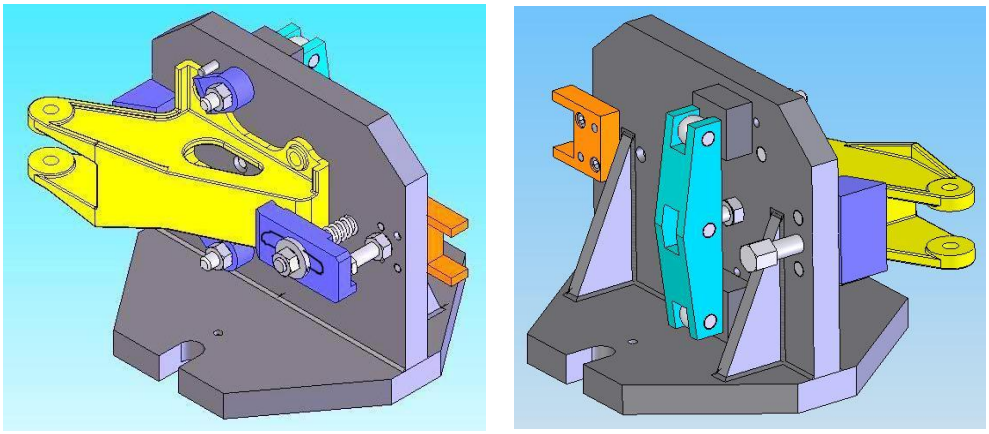
Рисунок А.1– Комп'ютерна модель деталі (а), операційний ескіз (б), загальний вигляд кондуктора у робочому положенні (в) та перед зняттям заготовки після виготовлення отворів (г)

Конструкція кондуктора складається з плити, в яку запресовано три постійні кондукторні втулки, по кутах плити за допомогою гайок кріплять чотири циліндричні опори. Відповідно до операційного ескізу (див. рисунок А.1, б) на плиті розташовані нерухома призма, рухома підпружинена призма та два комплекти прихоплювачів. Точне розташування отворів забезпечують постійні кондукторні втулки, в які послідовно вставляють швидкозмінні втулки для свердління, зенкерування і розгортання.

На рисунку А.2, а показано розташування здвоєного прихоплювача з двома Г-подібними наконечниками на відкидних болтах і прихоплювача з регульованою опорою на вертикальній плиті пристрою для фрезерування.

Заготовку встановлюють за правилом шести точок на установлювальну, напрямну та опорну бази. Відкидні болти розміщені на загальному коромислі зі зворотного боку вертикальної плити (рисунок А.2, б), що за-

безпечує компактність розташування та рухливість Г-подібних наконечників при встановленні та знятті заготовки.



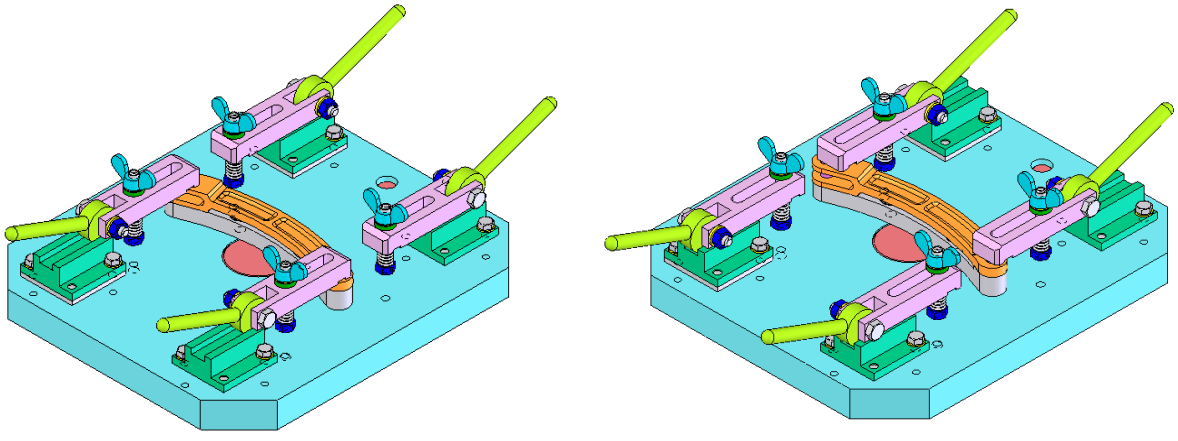
а б

Рисунок А.2 – Компонування пристрою зі здвоєним прихоплювачем

На рисунку А.3 показано компонування двопозиційного верстатного пристрою для контурного фрезерування заготовки. Заготовку базують за правилом шести точок на площину як установлювальну базу та на два пальці – круглий та зрізний.

На першій технологічній позиції для фрезерування зовнішнього криволінійного контуру (рисунок А.3, а) заготовку закріплюють двома прихоплювачами з регульованою опорою та швидкодіючим ексцентриковим затискачем. Друга пара прихоплювачів при цьому відсунута для вільного переміщення кінцевої фрези по зовнішньому контуру.

На другій технологічній позиції (рисунок А.3, б) для фрезерування внутрішнього криволінійного контуру змінюють положення прихоплювачів без зміни базування заготовки.



а б

Рисунок А.3 – Компонування двопозиційного фрезерного пристрою

Приклад компонування двомісного механізованого верстатного пристрою для фрезерування паза показано на рисунку А.4.

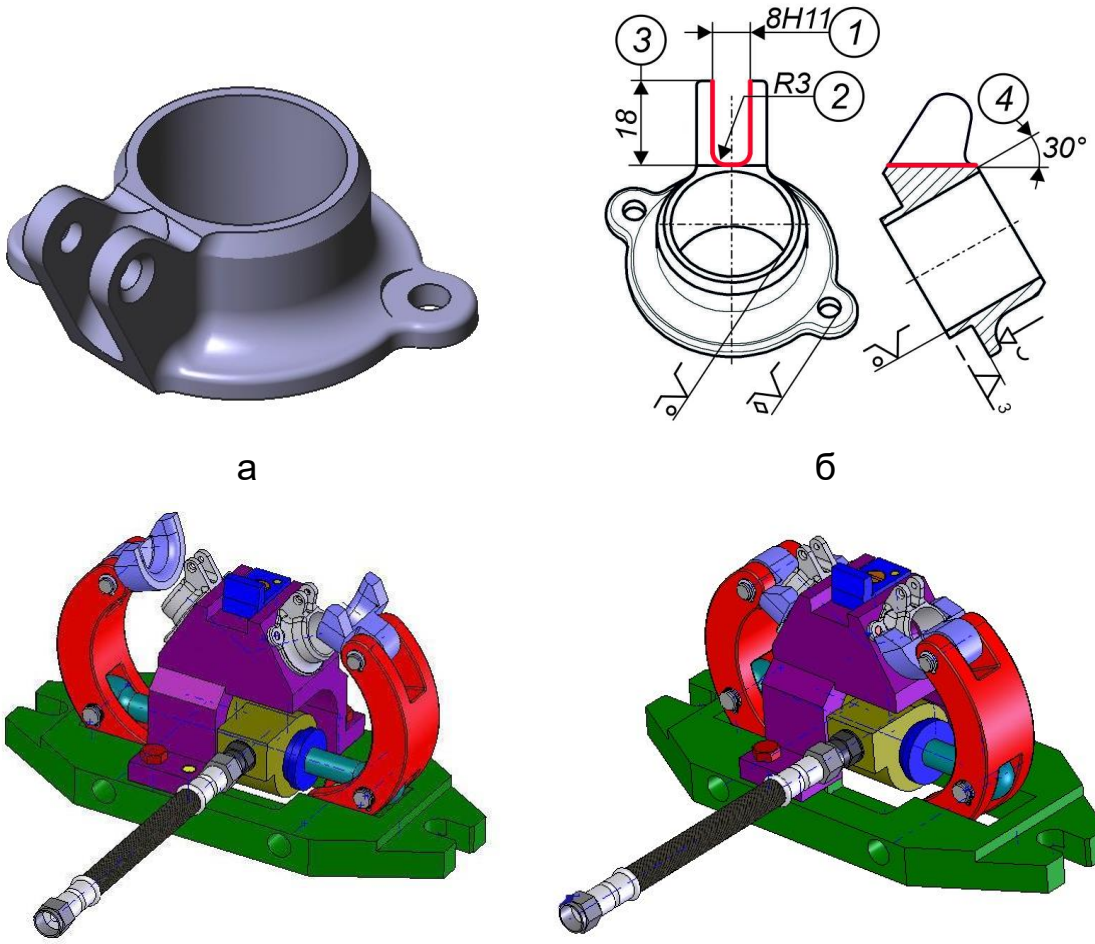


Рисунок А.4 – Комп'ютерна модель деталі (а), операційний ескіз (б) та компонування пристрою у відкритому (в) та закритому (г) положеннях

Такий багатомісний пристрій призначено для фрезерування паза в провушині кожної з двох заготовок з одного установа. Пристрій механізований: встановлення кожної із двох заготовок у пристрій та їх витягування здійснюються вручну, одночасне закріплення та розкріплення заготовок – автоматично. Базування кожної заготовки здійснюється за правилом шести точок на попередньо оброблені отвори та площину.

Зусилля закріплення від поршнів гідроциліндра передається через відкидні болти на два важелі. Далі зусилля з важелів передається через поворотні притискачі на поверхні буртиків кожної з двох заготовок.

Необхідна глибина оброблюваного паза та положення відносно осі симетрії деталі досягаються шляхом підведення дискової фрези до торкання з горизонтальною та вертикальною площинами установу для фрези.

Розкріплення двох заготовок здійснюється внаслідок зняття тиску та створення розрядження в гідросистемі пристрою. Важелі розсуваються, після чого заготовки витягують із пристрою вручну.

ДОДАТОК Б

Варіанти оброблюваних поверхонь
для розроблення операційного ескізу

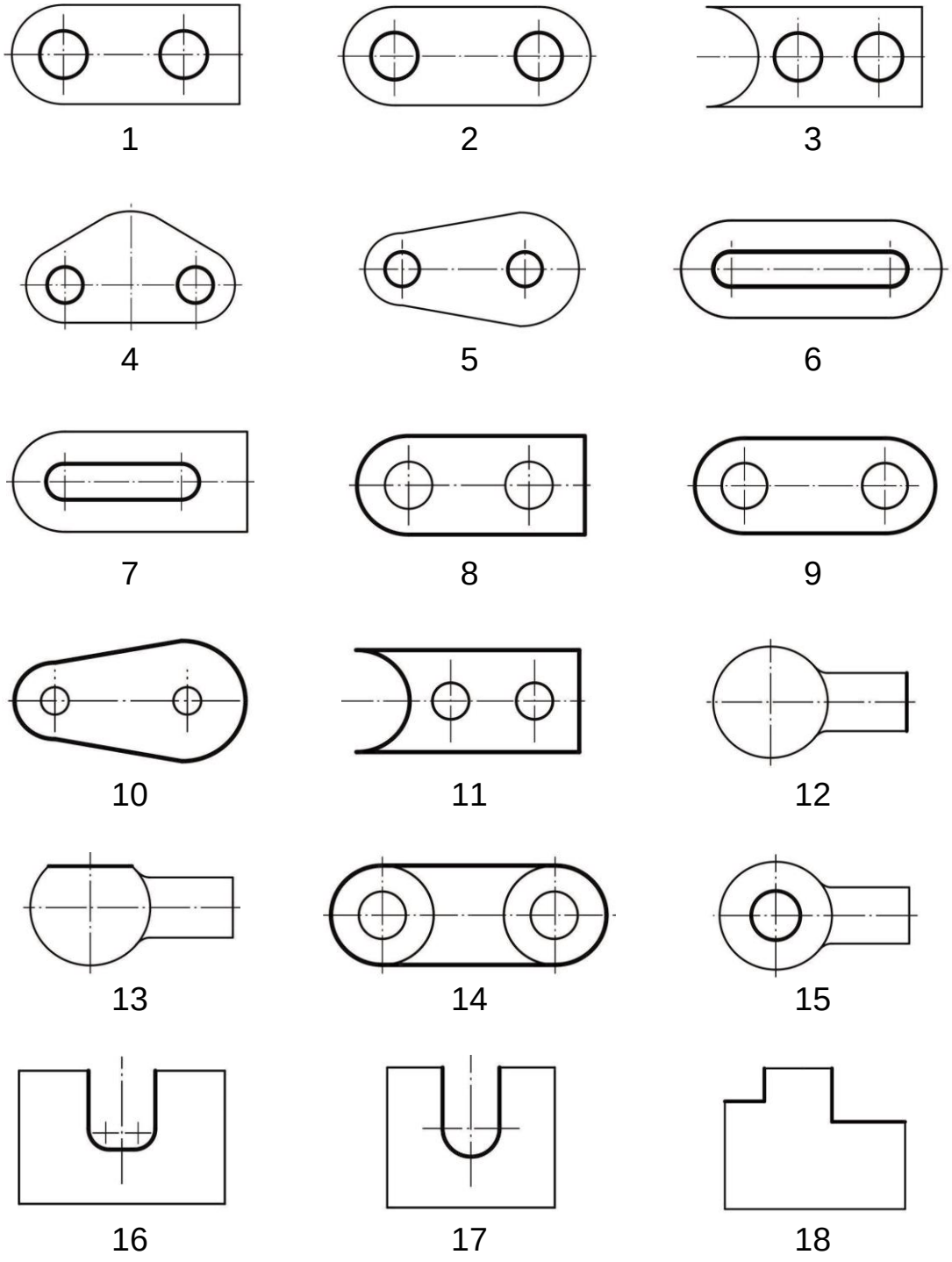


Рисунок Б.1 – Варіанти оброблюваних поверхонь: товста лінія – поверхня, що оброблюється, тонка – контури деталі

ДОДАТОК В
(довідковий)

Основні технічні характеристики токарного верстата із ЧПК моделі ТПК-125ВН

1. Діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм –	200
2. Найбільша довжина установлюваного виробу, мм –	550
3. Найбільша довжина обробки, мм –	200
4. Биття осі шпинделя, мм –	не більш ±0,002
5. Кількість керованих координат –	2
6. Нормалізований ряд частоти обертання шпинделя, 1/хв –	50, 130, 335, 630, 900, 1250, 1500, 1700, 2500, 3300, 4000
7. Діапазон робочих подач супорта, мм/хв:	
поздовжнього –	від 6 до 180
поперечного –	від 3 до 90
8. Швидкість допоміжних ходів, мм/хв	400
9. Кількість позицій револьверної головки –	6
10. Дискретність переміщень, мм:	
поздовжніх –	0,002
поперечних –	0,001
11. Потужність електродвигуна приводу головного робочого руху, кВт –	1,75
12. Модель пристрою ЧПК –	Н22-1М

Основні дані пристрою ЧПК моделі Н22-1М

1. Тип пристрою – з імпульсним множенням.
2. Система відліку координат – абсолютна і відносна.
3. Вид інтерполяції – лінійна і кругова.
4. Система задання розмірів – метрична.
5. Кількість керованих координат – дві.
6. Дискретність задання розмірів у напрямку, мм:
   поздовжньому (вісь Z) – 0,002;
   поперечному (вісь X) – 0,001.
7. Точність інтерполяції, мм – ±0,01.

ДОДАТОК Г

Варіанти траєкторії для розроблення керувальних програм

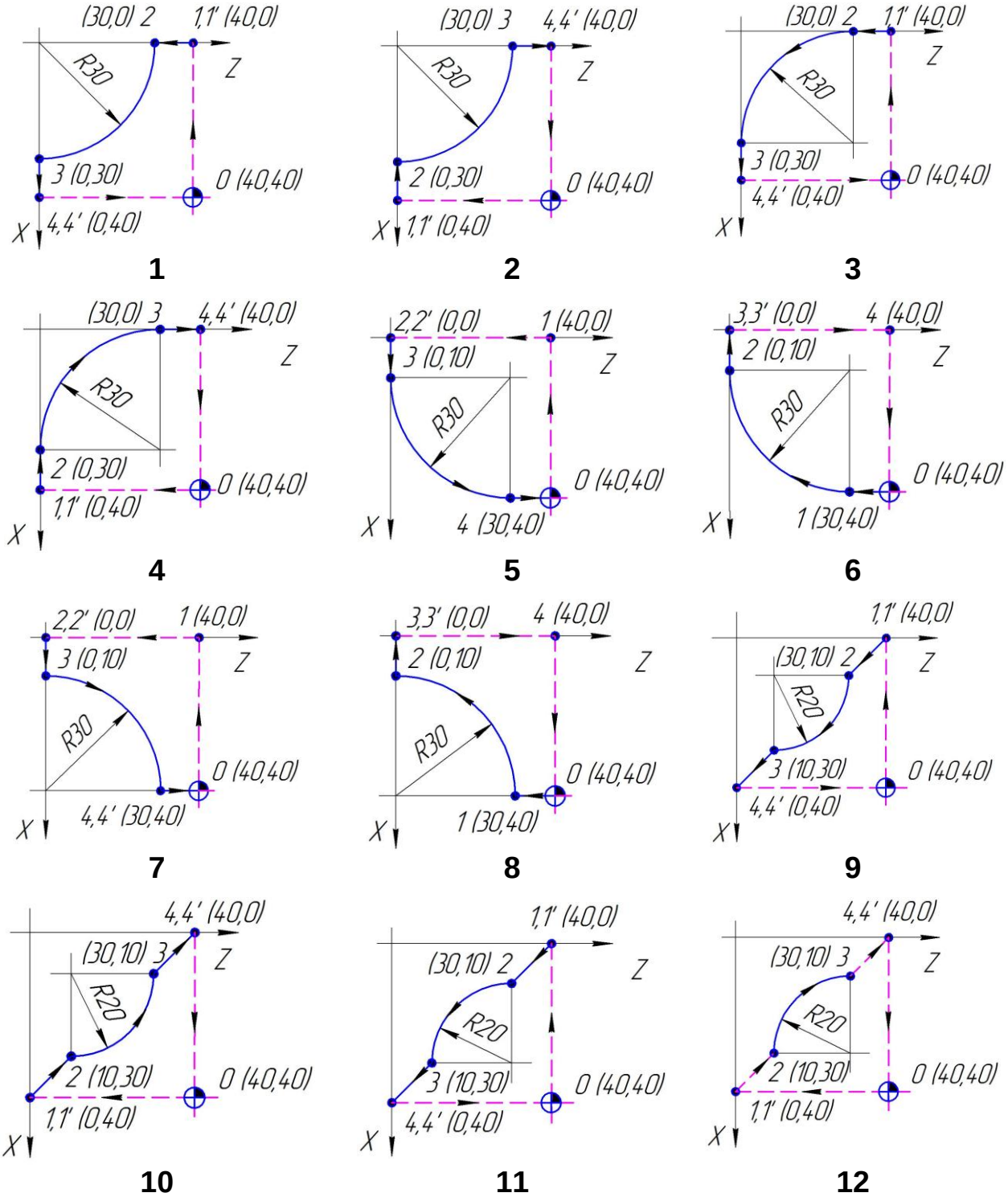


Рисунок Г.1 – Варіанти траєкторії руху інструменту: хвилинна подача на ділянках робочого ходу: лінійних – $S_m = 90$ мм/хв, кругових – $S_m = 18$ мм/хв. Умовні позначення ділянок траєкторії: – робочий хід; – допоміжний (швидкий) хід

ЗМІСТ

ВСТУП..... 3
Лабораторна робота № 1
ВИВЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ..... 4
1.1 Кінематичні елементи обробки різанням..... 4
1.2 Геометричні параметри токарного різця..... 5
1.3 Типи токарних різців..... 8
1.4 Комплектування лабораторної роботи..... 11
1.5 Порядок виконання лабораторної роботи..... 11
1.6 Зміст звіту..... 11
Контрольні запитання..... 11
Лабораторна робота № 2
БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК І КОНСТРУКЦІЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ..... 12
2.1 Базування заготовок при обробленні..... 12
2.2 Класифікація верстатних пристроїв..... 17
2.3 Комплектування лабораторної роботи..... 23
2.4 Порядок проведення лабораторної роботи..... 23
2.5 Зміст звіту..... 23
Контрольні запитання..... 23
Лабораторна робота № 3
РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК..... 24
3.1 Послідовність оброблення поверхонь заготовки..... 24
3.2 Режим різання при токарній обробці..... 26
3.3 Комплектування лабораторної роботи..... 33
3.4 Порядок проведення експериментальних досліджень..... 33
3.5 Зміст звіту..... 34
Контрольні запитання..... 34
Лабораторна робота № 4
СКЛАДАННЯ КЕРУВАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК..... 35
4.1 Загальні рекомендації щодо складання керувальних програм для верстатів із ЧПК..... 35
4.2 Методика розроблення КП для верстатів із ЧПК..... 35
4.3 Комплектування лабораторної роботи..... 41
4.4 Порядок проведення експериментальних досліджень..... 41
4.5 Зміст звіту..... 42
Контрольні запитання..... 42
Лабораторна робота № 5
ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ПАРТІЇ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК..... 43
5.1 Точність розмірної обробки заготовок..... 43
5.2 Контроль відхилення від круглості..... 46
5.3 Комплектування лабораторної роботи..... 47
5.4 Порядок проведення експериментальних досліджень..... 48
5.5 Зміст звіту..... 49

Контрольні запитання..... 49
Лабораторна робота № 6
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ..... 50
6.1 Основні технологічні характеристики процесу електроерозійної обробки металів..... 50
6.2 Технологічні схеми ЕЕО..... 52
6.3 Характеристики режиму і технологічні показники ЕЕО..... 54
6.4 Конструкція копіювально-прошивального електроерозійного верстата моделі 183..... 57
6.5 Комплектування лабораторної роботи..... 59
6.6 Порядок проведення експериментальних досліджень..... 59
6.7 Зміст звіту..... 59
Контрольні запитання..... 60
Лабораторна робота № 7
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ..... 61
7.1 Загальні відомості про процес електрохімічної обробки металів..... 61
7.2 Основні схеми процесів ЕХО..... 62
7.3 Продуктивність процесів ЕХО..... 65
7.4 Установка для ЕХО в стаціонарному електроліті..... 66
7.5 Комплектування лабораторної роботи..... 68
7.6 Порядок проведення експериментальних досліджень..... 68
7.7 Зміст звіту..... 69
Контрольні запитання..... 69
Лабораторна робота № 8
ВИВЧЕННЯ СИСТЕМИ УНІВЕРСАЛЬНО-СКЛАДАЛЬНИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ..... 70
8.1 Система універсально-складальних пристроїв..... 70
8.2 Комплектування лабораторної роботи..... 77
8.3 Порядок проведення лабораторної роботи..... 77
8.4 Зміст звіту..... 78
Контрольні запитання..... 78
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК..... 79
ДОДАТОК А **Приклади компонування спеціальних верстатних пристроїв..... 80**
ДОДАТОК Б **Варіанти оброблюваних поверхонь для розроблення операційного ескізу..... 83**
ДОДАТОК В **Основні технічні характеристики токарного верстата із ЧПК моделі ТПК-125ВН..... 84**
ДОДАТОК Г **Варіанти траєкторії для розроблення керувальних програм..... 85**

Навчальне видання

Д’яченко Юрій Веніамінович,
Сікульський Валерій Терентійович,
Воронько Ірина Олексіївна та ін.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ РОЗМІРНОЮ ОБРОБКОЮ

Редактор Н. М. Сікульська

Зв. план, 2023
Підписано до видання 25.05.2023
Ум. друк. арк. 4,9. Обл.-вид. арк. 5,50. Електронний ресурс

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
http://www.khai.edu
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001