

В. С. Кривцов, В. Т. Сікульський, В. М. Павленко,
В. В. Воронько, Ю. В. Д'яченко, О. В. Шипуль

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ**

2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Інноваційний інститут новітніх технологій і змісту освіти
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

**В. С. Кривцов, В. Т. Сікульський, В. М. Павленко,
В. В. Воронько, Ю. В. Д'яченко, О. В. Шипуль**

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів

Харків «ХАІ» 2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Інноваційний інститут новітніх технологій і змісту освіти
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

**В. С. Кривцов, В. Т. Сікульський, В. М. Павленко,
В. В. Воронько, Ю. В. Д'яченко, О. В. Шипуль**

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів

Харків «ХАІ» 2010

УДК: 629.7.023-2.002(075.8)

Технологія виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску : підручник / В. С. Кривцов, В. Т. Сікульський, В. М. Павленко та ін. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2010. – 224 с.

ISBN 978-966-662-213-9

Розглянуто загальні питання оброблення деталей планера ЛА з видаленням припуску, конструктивно-технологічні особливості ЛА як об'єкта виробництва, основні види заготовок і напівфабрикатів для виготовлення типових деталей. Описано класифікацію заготівельно-оброблювальних процесів, структуру технологічного процесу оброблення різанням, режим різання й нормування операцій обробки з видаленням припуску.

Подано геометричні параметри системи різання, охарактеризовано технологічні особливості й конструкцію різального інструменту для основних видів обробки – точіння, свердління, фрезерування, шліфування. Описано особливості оброблення композиційних матеріалів, методи зміцнювальної обробки для підвищення міцності від утомленості деталей ЛА.

Наведено рекомендації щодо вибору типових траєкторій інструменту, технологічних параметрів чорнової, напівчистої й чистої обробки, а також створення типових циклів контурної обробки.

Дано аналіз основних напрямів інтенсифікації процесів оброблення з видаленням зайвого матеріалу, у тому числі на базі комп'ютерних інтегрованих технологій CAD/CAM.

Для студентів, що навчаються за напрямом «Авіа- та ракетобудування» й вивчають дисципліни, які пов'язані з технологіями виробництва літальних апаратів.

Іл. 126. Табл. 1. Бібліогр.: 38 назв

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. А. І. Долматов,
д-р техн. наук, проф. І. В. Малков,
д-р техн. наук, проф. В. А. Фадєєв

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11-7365 від 04.08.2010)

ISBN 978-966-662-213-9

© Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2010 р.

ВСТУП

Одним із найбільш значущих чинників технічного прогресу в машинобудуванні, як і в інших галузях, є вдосконалення технології виробництва. Особливість сучасного виробництва – використання нових конструкційних матеріалів: жароміцних, корозійностійких, композиційних, порошкових, полімерних та ін.

Оброблення цих матеріалів потребує вдосконалення існуючих технологічних процесів і створення нових методів, що ґрунтуються на поєднанні механічної, теплової, хімічної й електричної дії.

Процес різання супроводжується пружним і пластичним деформуванням, руйнуванням матеріалу, тертям, спрацьовуванням різального інструменту, вібраціями окремих деталей і вузлів і загалом технологічної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь» (ВПІД). Знання закономірностей цих явищ дає можливість вибирати оптимальні умови, що забезпечують продуктивне і якісне оброблення деталей.

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

Фізичні явища, що лежать в основі процесу різання, визначають необхідне підґрунтя для конструювання інструментів, верстатів і пристроїв, а також для створення більш досконалих методів оброблення. Спираючись на аналіз фізичного механізму різання, визначають оптимальний режим різання, тобто таке поєднання глибини різання, подачі й швидкості різання для заданого виду заготовки при заданих технічних умовах на оброблювану деталь, коли максимально використовуються різальні властивості інструменту й можливості верстата й оснащення. Оптимальні умови різання забезпечують найбільшу продуктивність праці, а отже, і найменшу собівартість виготовлюваної продукції.

Наголошено на тенденції зростання обсягу механічного оброблення в міру розширення можливості використання в конструкції сучасних літальних апаратів (ЛА) монолітних деталей і вузлів складних просторових форм, підвищення фізико-механічних властивостей використовуваних матеріалів і посилення вимог до вагової ефективності виробів і точності їх оброблення. У зв'язку з цим великого значення набувають завдання щодо підвищення ефективності механічної обробки, вирішення яких сприяє зниженню трудових й експлуатаційних витрат, підвищенню продуктивності окремих операцій, автоматизації процесів оброблення складних обводотвірних поверхонь деталей ЛА.

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛА З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ

1.1. Конструктивно-технологічні особливості ЛА як об'єкта виробництва

Об'єктами основного виробництва підприємств аерокосмічної галузі є, в першу чергу, такі види ЛА: літаки й вертольоти спеціального та багатоцільового призначення, компоненти ракетно-космічних систем – спускні апарати, ракети, розгінні блоки, повітряно-космічні літаки (рис. 1.1).

Згідно з ГОСТ 2.101-68 *виробом* називають будь-який предмет виробництва, що підлягає виготовленню на підприємстві.

Наведемо терміни й визначення основних понять відповідно до ГОСТ 3.1109-82:

– *деталь* – виріб, який виготовляють з однорідного за найменуванням і маркою матеріалу, не використовуючи складальних операцій;

– *напівфабрикат* – предмет праці, що підлягає подальшому обробленню на підприємстві-споживачі;

– *заготовка* – предмет праці, з якого зміненням форми, розмірів, точності, шорсткості або властивостей матеріалу одержують готові деталі;

– *початкова заготовка* – заготовка перед першою технологічною операцією;

– *основний матеріал* – матеріал початкової заготовки.

Серед інших виробів сучасного машинобудування ЛА як об'єкти виробництва мають низку специфічних особливостей.

Велика номенклатура й багатодетальність планера. Деталі планера ЛА відрізняються одна від одної за призначенням і видом, мають велику кількість найменувань – номенклатуру. Кількість деталей у конструкції планера ЛА перевищує сотні тисяч одиниць, до того ж використовується велика кількість однотипних деталей, зокрема кріпильних, що дає підставу називати конструкцію багатодетальною.

Велика номенклатура використовуваних матеріалів. Номенклатура матеріалів, що застосовуються в конструкції планера ЛА, налічує декілька сотень найменувань. Близько 50 % від загальної кількості деталей планера ЛА виготовляють з алюмінієвих і магнієвих сплавів, 25 % – з легованих високоміцних сталей і титанових сплавів. Безперервно розширюється обсяг використання в конструкції планера ЛА композиційних матеріалів. Напружений тепловий режим роботи вузлів космічних ЛА в агресивному середовищі й в умовах вакууму зумовлює

необхідність застосування нових матеріалів зі спеціальними експлуатаційними властивостями (жароміцністю, корозійною й хімічною стійкістю). Ці матеріали мають низьку оброблюваність традиційними методами різання.

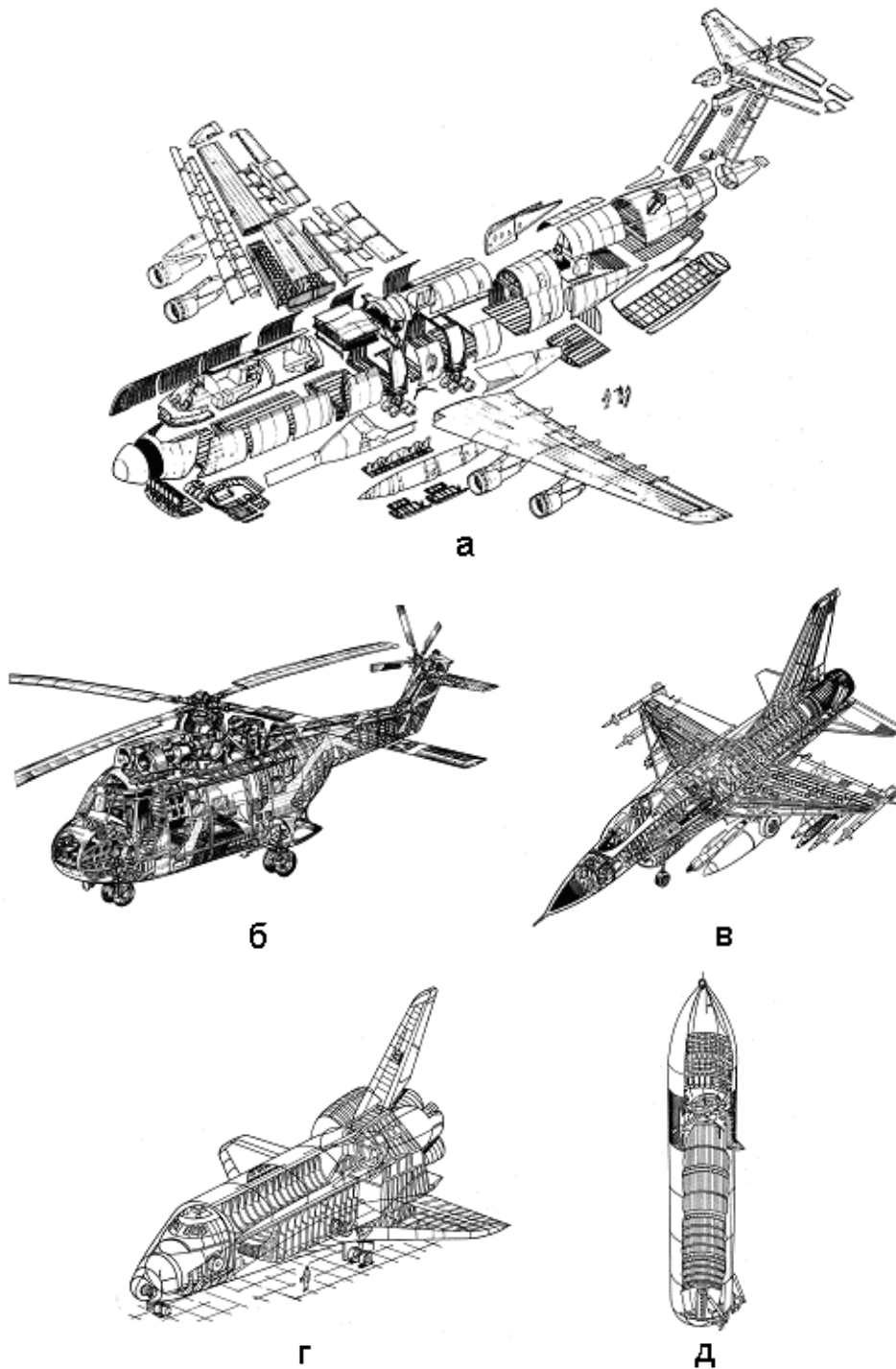


Рис.1.1. Компонувальні схеми деяких сучасних ЛА:
а – важкий транспортний літак; б – багатоцільовий вертоліт;
в – надзвуковий винищувач; г – повітряно-космічний літак;
д – розгінний блок ракетно-космічної системи

Складність форм, великі розміри й висока точність обводотвірних поверхонь деталей. Типові деталі планера ЛА й елементи технологічного оснащення мають поверхні подвійної кривизни зі змінною малою й значною кривизною (каркаси ліхтарів, шпангоути, нервюри, стільникові блоки вузлів механізації крила, контрольно-еталонне й виклеувальне оснащення, рубильники тощо). Розміри деталей планера ЛА (наприклад, панелі крила) за довжиною становлять 30 м і більше, а відхилення обводотвірних аеродинамічних поверхонь зменшилися до $\pm 0,5$ мм. Конструкція й технологія виготовлення великогабаритних деталей складної просторової форми потребують застосування спеціалізованих верстатів з ЧПК, контрольно-вимірювальних машин, спеціальних засобів технологічного оснащення.

Висока експлуатаційна надійність деталей. Усі деталі ЛА повинні забезпечувати безвідмовну роботу протягом гарантійного терміну за умови дотримання правил експлуатації. Деталі, вузли, відсіки, агрегати (особливо лопать вертольота) працюють в умовах знакозмінних циклічних навантажень. Ресурс деталей підвищують технологічними методами поверхневого зміцнення, а надійність ЛА на стадії виробництва – шляхом контролю відповідальних деталей і вузлів неруйнівними методами, а також проведенням комплексних імітаційних випробувань агрегатів і виробів на спеціальних стендах.

Висока якість виготовлення деталей. Кожна деталь ЛА або його систем має бути виготовлена з обов'язковим дотриманням усіх технічних вимог і умов, зазначених у конструкторській і технологічній документації.

Ці та інші конструктивно-технологічні особливості сучасних ЛА зумовили те, що аерокосмічне виробництво відокремилось у самостійну галузь машинобудування.

1.1.1. Типові класи деталей планера ЛА, що оброблюються з видаленням зайвого матеріалу

Об'єднання деталей у класи здійснюється за ознаками спільності процесів їх виготовлення, однотипності устаткування, що застосовується, і за можливістю використання уніфікованого оснащення.

Деталі планера ЛА, що оброблюються з видаленням зайвого матеріалу, об'єднують у такі типові класи:

– великогабаритні деталі одинарної й подвійної кривизни, що входять до складу аеродинамічних обводів агрегатів, – каркаси ліхтарів, окантовки люків, ілюмінаторів (матеріал заготовок – алюмінієві й магнієві сплави);

– плоскі деталі з криволінійними складовими – рами, шпангоути, нервюри (матеріал заготовок – алюмінієві, титанові сплави й сталі);

- великогабаритні оболонкові деталі – панелі й обшивки одинарної й подвійної кривизни зі змінним перерізом з алюмінієвих сплавів;
- прямолінійні деталі великої довжини – стрингери, лонжерони з постійними й змінними перерізами по довжині (матеріал заготовок – алюмінієві, титанові сплави й сталі);
- об'ємні деталі середніх габаритів – качалки, кронштейни, важелі (матеріал заготовок – алюмінієві, магнієві, титанові сплави й сталі);
- великогабаритні деталі циліндричної форми – циліндри й штоки шасі з високоміцних сталей і титанових сплавів;
- арматура – хрестовини, трійники, штуцери гідравлічних і газових систем (матеріал заготовок – алюмінієві, титанові сплави й сталі);
- кріпильні деталі – болти, гвинти, гайки, шайби, заклепки (матеріал заготовок – високоміцні титанові, алюмінієві сплави й сталі).

1.1.2. Напівфабрикати й заготовки монолітних деталей ЛА

Деталі сучасних ЛА виготовляють з різних матеріалів і сплавів. Наприклад, для виготовлення деталей планера регіонального літака Ан-148 використовують сплави більш ніж 50 марок, причому 70 % деталей виготовляють з алюмінієвих сплавів, 5 % – з високоміцних легированих сталей, 9 % – з титанових сплавів, 16 % – з ПКМ за даними УкрНАТ, 2004 р.

Основними видами початкових заготовок деталей планера сучасних важких транспортних і широкофюзеляжних літаків є такі: пресований профіль – 52,3 %, плита – 7,5 %, штамповка – 31,4 %, литво – 2,1 %, труба – 3,0 %, пруток – 2,6 %, лист – 1,1 % [3, 11, 21].

Гарячештаповані заготовки мають найвищі механічні властивості, тому їх широко використовують для виготовлення високонавантажених деталей. Для цього виду заготовок коефіцієнт використання матеріалу – відношення маси деталі до маси заготовки: $K_{в..м} = m_0 / m_3 = 0,7 \dots 0,8$.

Відливки застосовують у випадках, коли деталі з литих заготовок відповідають розрахунковим навантаженням та умовам експлуатації, до того ж витрати на виготовлення ливарного оснащення мають бути економічно виправданими. Для литих заготовок $K_{в..м} = 0,8 \dots 0,9$.

Найбільш ефективно використовується матеріал тих заготовок, що надходять на підприємства галузі у вигляді труб ($K_{в..м} = 0,8 \dots 0,9$) і пресованих профілів ($K_{в..м} = 0,7 \dots 0,8$). Листові напівфабрикати використовуються менш раціонально – близько 40 % матеріалу йде у відходи. Вихід матеріалу в стружку є найбільшим під час виготовлення монолітних панелей з плит, силових деталей ЛА з поковок.

Алюмінієві сплави – найпоширеніші авіаційні матеріали. Їх поді-

ляють на термозміцнювані й нетермооброблювані. Більшість деталей конструкції планера ЛА з алюмінієвих сплавів обробляють термічно. До групи термозміцнюваних сплавів відносять деформівні сплави, до нетермооброблюваних – ливарні й зварювані сплави, а також такі, що штампуються.

Згідно з інформацією НДЦ «Авіаційні матеріали» (м. Київ) в аерокосмічній промисловості використовується до 40 % від загального обсягу високолегованих алюмінієвих сплавів та їх напівфабрикатів, що застосовуються в машинобудівному комплексі України.

Річна потреба галузі у напівфабрикатах становить 16...19 тис. т: пресовані профілі – 42 %, поковки й штамповки – 40 %, плити – 9 %, листи – 6 %, прутки й труби – 3 %. Основну масу напівфабрикатів виготовляють із алюмінієвих високоміцних сплавів Д16, В95, 1161, 1143, 2618, 1163, 1424, 1460, 1933. Границя міцності конструкційних алюмінієвих сплавів на сьогодні зросла з 420 до 600 МПа, шукають можливості подальшого її збільшення до 700...750 МПа [11, 21].

З алюмінієвих сплавів *методом плоскої прокатки* виготовляють такі напівфабрикати:

– плити завтовшки 12...80 мм, завширшки 1000...2000 мм, завдовжки 6000...30000 мм, масою до 10 т; поставляються у гарячекатаному, загартованому й підданому старінню (природно або штучно) станах; марки сплавів: Д16АТ, В95АТ, АК4-1АТ та ін.;

– листи гарячекатані завтовшки 5...10,5 мм, завширшки до 2000 мм; відпалені завтовшки 0,5...10 мм з різним ступенем загартування; загартовані підвищеної якості завтовшки 0,5...3,4 мм, завширшки до 2000 мм; довжина листів – 2000...7000 мм залежно від умов постачання; марки сплавів: АМг2М, АМцМ, АМг2Н, АМцН, АВТ, Д16АТ, В95АТ1 та ін.;

– стрічки для виробництва гнутих профілів з алюмінію марок А0, АД00, АД0, АД1 та алюмінієвих сплавів АМц і АМг завтовшки 0,25...2 мм і завширшки 150...400 мм; за станом можуть бути відпаленими або загартованими.

Методом пресування в широкому асортименті виготовляють такі напівфабрикати:

– прутки діаметром 5...300 мм підвищеної міцності зі сплавів В95, АК8, АК6, Д16 і нормальної міцності зі сплавів Д16, АВ, АК4-1;

– профілі закінцьовані й петельно-шарнірні завдовжки до 15 м, а також великогабаритні профілі завдовжки до 30 м з площею поперечного перерізу 0,5...150 см²;

– панелі середньогабаритні завширшки 960...2100 мм, з товщиною полотна 2...15 мм, завдовжки до 12 м зі сплавів Д16, Д19, АК4, АМг, В95Апч і великогабаритні завширшки 350...1100 мм, з товщиною

полотна 5...50 мм, завдовжки до 30 м зі сплавів Д16, Д16ч, В95, В95Апч та АК;

– труби з алюмінієвих сплавів гарячепресовані круглого й фасонного перерізів; холоднодеформовані 800 типорозмірів з алюмінієвих сплавів 12 марок, зокрема, діаметром 12...120 мм з внутрішнім плакуванням.

У номенклатуру великогабаритних *штамповок* зі сплавів Д16АТ, В95, АК4-1 з площею проекції у плані до 28000 см², з товщиною полотна 5...10 мм входять деталі типу лонжеронів, балок, кронштейнів, підмоторних рам.

Високоміцні ливарні сплави ВАЛ8, ВАЛ10, ВАЛ14 використовують для виготовлення заготовок кронштейнів, шпангоутів, корпусів.

Деформівні *магнієві сплави* МА2, МА8, МА14 у вигляді штамповок, поковок, профілів, листів, труб використовують для виготовлення малонавантажених деталей, наприклад паливних баків і трубопроводів, ливарні магнієві сплави МЛ6, МЛ10, МЛ14 – для виготовлення деталей, що працюють в умовах малих статичних і циклічних навантажень.

Для виробництва ЛА значний інтерес становлять *титанові сплави* завдяки їхнім високим механічним характеристикам і жароміцності. За період освоєння титанових сплавів їхню міцність було збільшено з 400 до 1200...1300 МПа [11].

Методом пресування зі сплавів ВТ3, ОТ4, ВТ8, ВТ16, ВТ18 виготовляють прутки для штампованих і кріпильних деталей, холодно- й гарячедеформовані труби, штамповки.

Із титанових сплавів марок ВТ, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4-1, ВТ6, ВТ14, ВТ20 *методом плоскої прокатки* виготовляють:

– плити завтовшки 11...150 мм, завширшки 400...1700 мм, завдовжки 1500...7000 мм;

– листи завтовшки 0,3...10 мм, завширшки 400...1200 мм, завдовжки 1500...5000 мм;

– стрічки завтовшки 0,3...1,5 мм, завширшки до 600 мм у рулоні;

– фольгу завтовшки 0,05...0,08 мм, завширшки до 300 мм у рулоні;

– прутки гарячекатані з титанових сплавів ВТ3-1, ВТ8, ВТ9, ОТ4, ВТ16, ВТ18 для штампованих методами гарячої й холодної висадки заготовок; сортамент прутків: діаметр – 5...55 мм, довжина – 1,6...3 м, форма перерізу – шестигранна, квадратна, кругла;

– труби холоднодеформовані зі сплавів ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4, ОТ4-1, ОТ4-0 із зовнішніми діаметрами 6...130 мм і товщиною стінки 0,8...10 мм; гарячедеформовані зі сплавів ВТ6, ВТ3-1, ВТ14, ВТ22 із

зовнішніми діаметрами 32...325 мм і товщиною стінки 2,5...30 мм; зв'язні зі сплавів ВТ1-0, ОТ4-0 діаметром 25...100 мм з товщиною стінки 1,5 і 2 мм.

Штамповки виготовляють з титанових сплавів ОТ4, ВТ3-1, ВТ6, ВТ8, ВТ9, ВТ20, ВТ22 завдовжки до 800 мм з площею проєкції до 15000 см², товщиною полотна 6...24 мм і масою до 2500 кг.

Відливки з титанових сплавів ВТ5Л, ВТ9Л, ВТ21Л використовують як заготовки для деталей типу балок, фітингів, кронштейнів.

Конструкційні сталі застосовують під час виготовлення силових вузлів і деталей планера: лонжеронів, шпангоутів, стояків шасі, болтів, шпильок та інших кріпильних виробів. Міцність конструкційних сталей зросла з 1200 до 1800...2000 МПа.

Деформівні сталі 30ХГСА, 12ХНЗА, 18Х2Н4ВА, 38Х2МЮА, 38ХА, нержавіючі сталі 4Х13, ВНС, ВНС надходять у вигляді листів, профілів, стрічок, дроту, прутків, штамповок і труб.

Відливки заготовок з конструкційних легованих і високолегованих сталей 35ХГСЛ, 27СНМЛ, ВНЛ, ВНЛ використовують для виготовлення шпангоутів, кронштейнів, деталей шасі.

Під час виготовлення деталей з гарячештампованих заготовок широко застосовують конструкційні сталі 30ХГСА, 12ХНЗА, 38Х2МЮА, 38ХА, нержавіючі сталі 18ХГТ, 4Х13, ВНС, ВНС.

1.2. Класифікація заготівельно-оброблювальних процесів

В основному виробництві підприємств аерокосмічної галузі незалежно від обсягу виробництва для виготовлення ЛА застосовується дуже велика кількість різноманітних процесів. Усі ці процеси поділяють на три взаємозв'язані класи: заготівельно-оброблювальні, монтажно-складальні й регульовально-випробувальні процеси (рис. 1.2).

Класифікація ґрунтується на поділі процесів кожного класу на підкласи, групи, підгрупи й первинні процеси, що складаються з механічних, фізичних, хімічних або комбінованих дій, незалежно від того, проходять ці дії за участі людини чи без неї.

Клас заготівельно-оброблювальних процесів залежно від результатів дії на початкові матеріали поділяють на два взаємозв'язані підкласи: процеси формотворення й процеси надання деталям необхідних фізико-механічних властивостей.

Численну групу процесів з розділення напівфабрикатів і видалення зайвого матеріалу підкласу формотворення за видом енергії, яку підводять у зону оброблення, можна поділити на такі *підгрупи*: механічні, електричні, електрохімічні, хімічні, акустичні, теплові, променеві процеси.

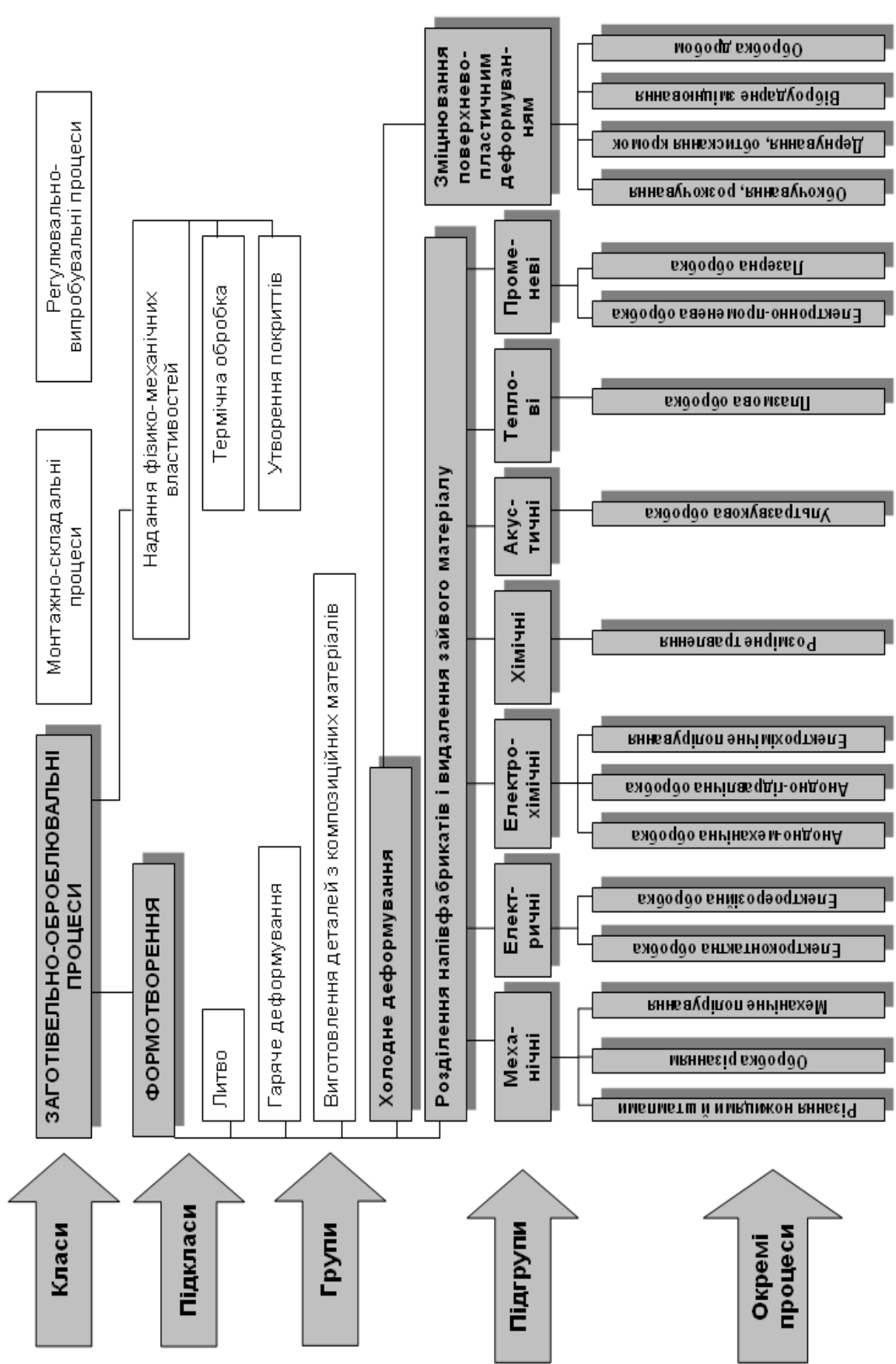


Рис. 1.2. Класифікація процесів розділення напівфабрикатів і видалення зайвого матеріалу

Кожну підгрупу за фізико-хімічною однорідністю можна поділити на окремі процеси (див. рис. 1.2), які, у свою чергу, класифікуються за видами обробки. *Окремий процес* є комплексом однорідних за фізико-хімічною суттю взаємодій устаткування й виконавців.

В основі кожного окремого процесу лежить певна фізична теорія. Прикладами окремих процесів можуть бути такі процеси, як обробка різанням, холодне й гаряче деформування, електрофізична й електрохімічна обробка та ін.

Нижче наведено терміни й визначення основних понять згідно з ГОСТ 3.1109-82.

Технологічний процес (ТП) – це частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії зі змінення й (або) визначення стану предмета праці. До предметів праці належать заготовки й вироби.

Технологічний метод – сукупність правил, що визначають послідовність і зміст дій під час формотворення, оброблення або складання, переміщення, включаючи технічний контроль, випробовування в ТП виготовлення або ремонту та які встановлено безвідносно до найменування, типорозміру або виконання виробу.

Технологічний режим є сукупністю значень параметрів ТП у певному інтервалі часу.

Оброблення – це дія, спрямована на змінення властивостей предмета праці під час виконання ТП. Під час чорнового оброблення знімають основну частину припуску, унаслідок чистового – досягають заданих параметрів точності розмірів і шорсткості оброблюваних поверхонь.

Оброблювана поверхня – поверхня, що піддається дії в процесі оброблення.

Механічна обробка – оброблення тиском або різанням.

Обробка тиском – оброблення, що полягає в пластичному деформуванні або розділенні матеріалу. Розділення матеріалу здійснюється під тиском і відбувається без утворення стружки.

Обробка різанням – оброблення, що полягає в творенні нових поверхонь відділенням поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Утворення поверхонь супроводжується деформуванням і руйнуванням поверхневих шарів матеріалу.

Електрофізична обробка – оброблення, що полягає в змінненні форми, розмірів і шорсткості поверхні заготовки із застосуванням електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, електронного або оп-

тичного випромінювання, плазмового струменя.

Електрохімічна обробка – оброблення, що полягає в змінненні форми, розмірів, шорсткості поверхні заготовки внаслідок розчинення її матеріалу в електроліті під дією електричного струму.

Нанесення покриття – оброблення, що полягає в творенні поверхневого шару з однорідного матеріалу.

Трудомісткість виготовлення пасажирських літаків за окремими видами обробки й робіт показано у вигляді діаграми на рис. 1.3 [11, 21].

Найбільш універсальним у сучасній промисловості, зокрема в аерокосмічній, є процес формотворення деталей шляхом видалення поверхневих шарів заготовок – обробка матеріалів різанням. У цьому випадку відбувається утворення нових поверхонь деталей заданої форми, певної точності й необхідної якості. Трудомісткість механічної обробки різанням становить близько 20 % від загальної трудомісткості виготовлення сучасних ЛА (див. рис. 1.3).

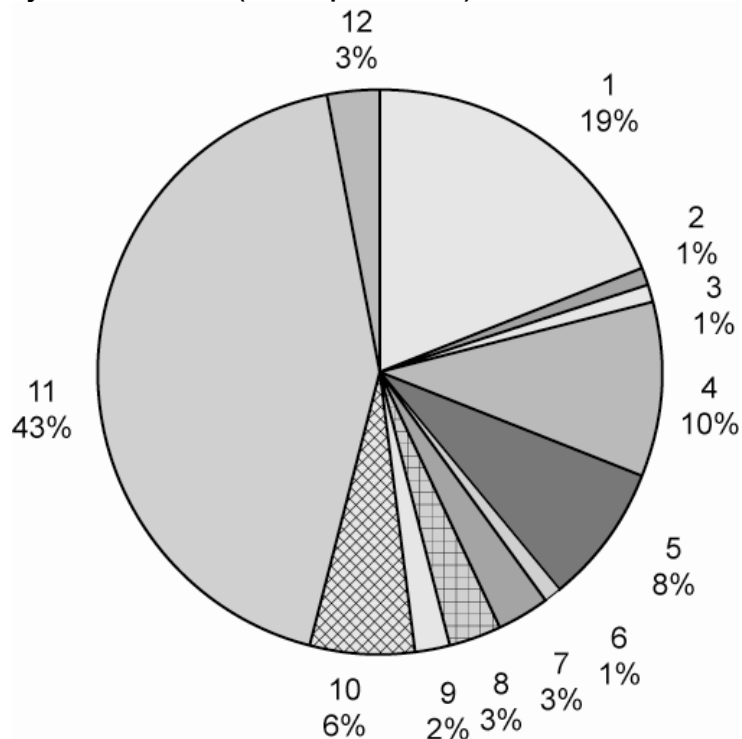


Рис. 1.3. Трудомісткість виготовлення пасажирських літаків:

- 1 – механічна обробка різанням; 2 – ливарні роботи; 3 – ковальсько-штампувальні роботи; 4 – заготівельно-штампувальні й зварювальні роботи; 5 – механоскладальні роботи; 6 – термічна обробка; 7 – нанесення гальванічного покриття; 8 – нанесення лакофарбного покриття; 9 – оброблення композиційних матеріалів; 10 – складально-монтажні роботи; 11 – регулювально-випробувальні роботи; 12 – інші роботи

1.3. Структура ТП обробки різанням

Процес виготовлення ЛА є складним комплексом взаємодій устаткування й виконавців з метою перетворення початкових матеріалів, напівфабрикатів, заготовок на різноманітні за властивостями й призначенням деталі, що утворюють частини ЛА, які є закінченими в конструктивному й технологічному плані (рис. 1.4).

Виготовлення деталей, складання-монтаж і регулювання-випробування складальних одиниць планера загалом зумовлені раціональністю технологічного членування ЛА.

ТП необхідно розглядати у двох аспектах: фізичному й функціональному.

У першому аспекті розглядають фізичну суть процесу оброблення – перетворення початкових матеріалів, напівфабрикатів, заготовок на виріб за окремими частинами ТП.

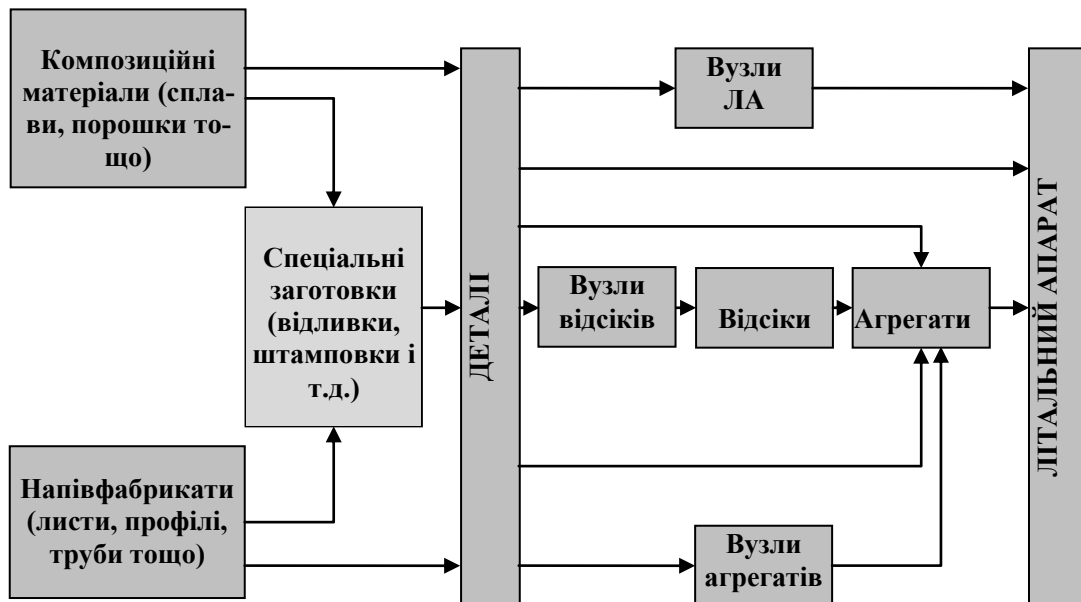


Рис. 1.4. Схема перетворення початкових матеріалів, напівфабрикатів, заготовок під час виготовлення планера ЛА

У функціональному аспекті розглядають структурні зв'язки і залежності між частинами ТП, які складають процес виготовлення виробу. Структурну схему ТП обробки заготовок різанням з видаленням зайвого матеріалу зображено на рис. 1.5.

ТП обробки різанням є послідовністю технологічних і допоміжних операцій. Наведемо терміни й визначення основних понять відповідно до ГОСТ 3.1109-82.

Технологічна операція – це закінчена частина ТП, що виконується на одному робочому місці.

Технологічна операція є основною одиницею виробничого планування й обліку. На основі операцій визначають трудомісткість виготовлення виробів, собівартість обробки, норми часу й розцінки, розраховують необхідну кількість робітників, устаткування, пристроїв та інструментів, здійснюють календарне планування виробництва й контроль якості та строків виконання робіт.

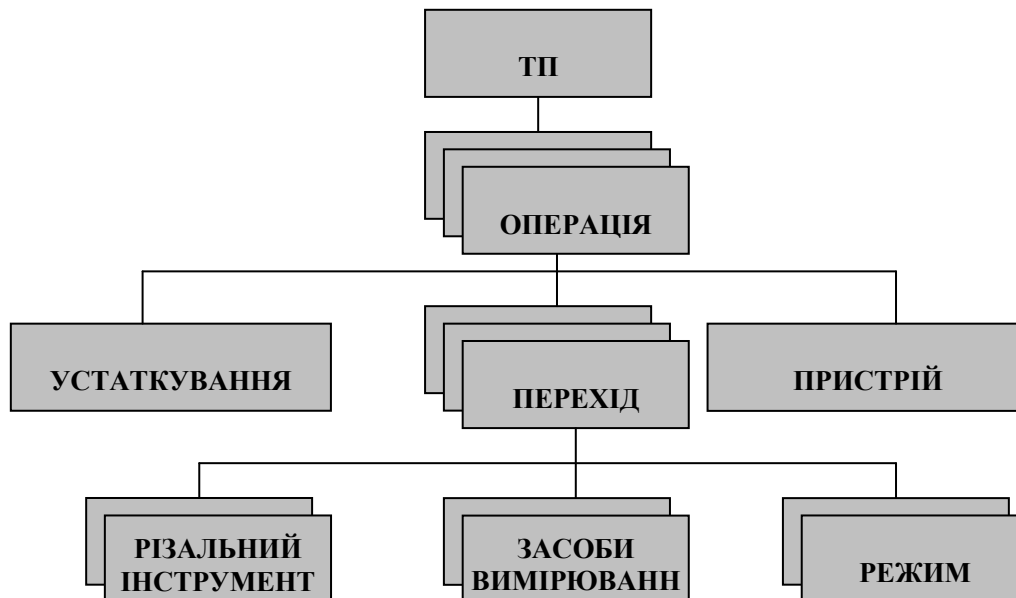


Рис. 1.5. Структурна схема ТП обробки різанням

Засоби технологічного оснащення – це сукупність засобів виробництва, необхідних для здійснення ТП: технологічне устаткування, технологічне оснащення (включаючи пристрої та інструмент), а також засоби механізації й автоматизації виробничих процесів.

Технологічне устаткування – це засоби технологічного оснащення, в яких для виконання певної частини ТП розміщують матеріали або заготовки, засоби дії на них, а також технологічне оснащення.

Пристрої – це технологічне оснащення, призначене для установавлення або спрямування предмета праці або робочого інструменту під час виконання технологічної операції.

Робочий інструмент – це технологічне оснащення, призначене для безпосередньої дії на предмет праці з метою змінення його стану.

Засоби механізації й автоматизації є допоміжним технологічним устаткуванням і поєднують у собі ознаки устаткування й оснащення.

До засобів механізації й автоматизації відносять різні маніпулятори, технологічні роботи й транспортні системи, механізовані й автоматизовані оперативні склади.

Цикл технологічної операції – це проміжок календарного часу від початку до кінця технологічної операції, що періодично повторюється, незалежно від кількості виробів, що одночасно виготовляються.

Такт випуску – це проміжок часу, через який періодично випускаються вироби або заготовки певного найменування, типорозміру й виконання.

Ритм випуску визначається кількістю виробів або заготовок певного найменування, типорозміру й виконання, що випускаються в одиницю часу.

Крім технологічних операцій у деяких випадках (наприклад, у потоковому виробництві, особливо під час оброблення в гнучких технологічних комплексах) до складу ТП включають *допоміжні операції* (транспортні, контрольні, маркувальні тощо), які не супроводжуються зміненням розмірів, форми, зовнішнього вигляду або властивостей оброблюваного виробу, але є необхідними для здійснення технологічних операцій.

Установлювання є частиною технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваних заготовок або складальних одиниць.

Позиція – фіксоване положення, яке займає незмінно закріплена оброблювана заготовка разом з пристроєм відносно інструменту або нерухомої частини устаткування під час виконання певної частини операції.

Налагоджування – це підготовка технологічного устаткування й технологічного оснащення до виконання технологічної операції: установлення пристроїв, переключення швидкості або подачі, настроювання заданої температури й т.д.

Підналагоджування – це додаткове регулювання технологічного устаткування або технологічного оснащення під час виконання технологічної операції для відновлення значень параметрів, одержаних під час налагодження.

1.3.1. Елементи технологічного переходу

Наведемо терміни й визначення основних понять згідно з ГОСТ 3.1109-82.

Технологічний перехід – це закінчена частина технологічної операції, що виконується одними й тими ж засобами технологічного оснащення при незмінних технологічних режимах та установленні.

У випадку оброблення різанням технологічний перехід є закінченою частиною технологічної операції, яка виконується над однією або декількома поверхнями заготовки одним або декількома інструмента-

ми, що одночасно працюють, без змінення або з автоматичним змінням режимів роботи верстата.

Автоматичне змінення режиму роботи верстата посередині одного технологічного переходу має місце під час оброблення заготовок на верстатах з ЧПК. У разі використання звичайних металорізальних верстатів технологічні переходи, як правило, здійснюються при незмінних режимах роботи.

Елементарний перехід – частина технологічного переходу, яка виконується одним інструментом над однією ділянкою поверхні оброблюваної заготовки за один робочий хід без змінення режиму роботи верстата.

Величина елементарного переходу визначається довжиною ділянок поверхні, що обробляється з незмінною подачею, і відповідним основним часом її оброблення.

Поняттям елементарного переходу зручно користуватися, проєктуючи технологічні операції та розраховуючи основний час оброблення заготовок на верстатах з ЧПК, коли посередині технологічного переходу змінюються режими роботи верстата.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини і (або) устаткування, які не супроводжуються змінням форми, розмірів і шорсткості поверхонь предмета праці, але є необхідними для виконання технологічного переходу. Прикладами допоміжних переходів є установлення заготовки, заміна інструменту.

Робочий хід – це закінчена частина технологічного переходу, що полягає в однократному переміщенні інструменту відносно заготовки, яке супроводжується змінням форми, розмірів, якості поверхні або властивостей заготовки.

Допоміжний хід – це закінчена частина технологічного переходу, що полягає в однократному переміщенні інструменту відносно заготовки, яке не супроводжується змінням форми, якості поверхні або властивостей заготовки, але є необхідним для підготовки робочого ходу.

Прийом – це закінчена сукупність дій людини під час виконання технологічного переходу або його частини, об'єднаних одним цільовим призначенням.

Умовою завершення технологічної операції є виконання частини ТП без переходу до оброблення іншого виробу.

Наприклад, оброблення східчастого вала (рис. 1.6) на токарному верстаті є однією технологічною операцією, якщо її виконують у такій послідовності:

– установлюють заготовку, підрізають торець різцем 2, проточують найбільший діаметр вала різцем 1 (рис. 1.6, б);

– знімають, перевертають і повторно встановлюють заготовку, свердлють центральний отвір свердлом 3, обробляють вал з іншого кінця різцем 4, прорізають канавку різцем 5, знімають фаску різцем 6 (рис. 1.6, в).

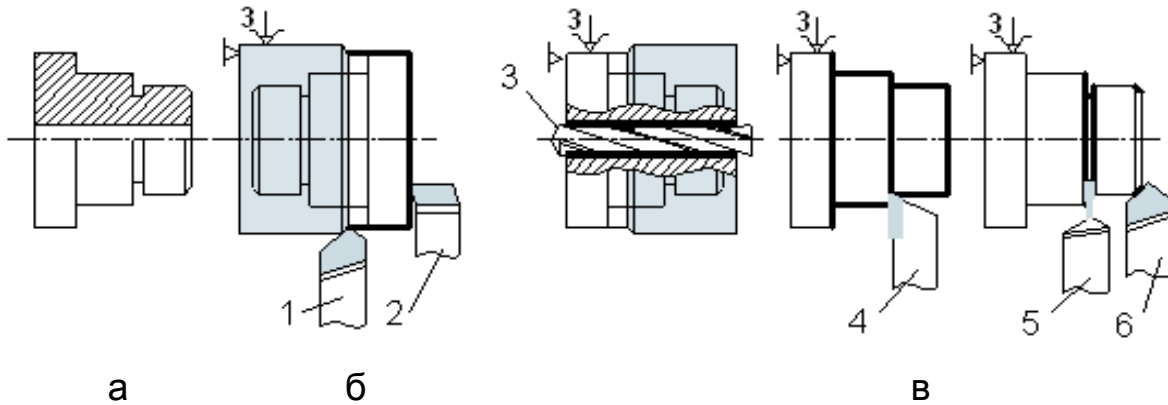


Рис. 1.6. Оброблення східчастого вала:
а – вал; б – перше встановлення, кількість переходів – 2;
в – друге встановлення, кількість переходів – 4

Аналогічне за змістом оброблення вала можна виконати й за дві однотипні токарні операції, якщо вторинне встановлення й оброблення другого кінця вала здійснити не відразу після оброблення першого кінця, а з перервою для оброблення інших заготовок партії (тобто спочатку всі заготовки обробляють з одного кінця, а потім усі – з іншого).

Наведений приклад показує, що склад операції визначають не тільки на основі суто технологічних міркувань, але й з урахуванням організаційної доцільності.

1.4. Технологічна характеристика типів виробництва

Одним із основних принципів побудови ТП є *принцип поєднання технічних, економічних та організаційних завдань*, що вирішуються в конкретних заданих виробничих умовах.

Проектований ТП повинен забезпечити виконання всіх вимог до точності та якості виробу, передбачених кресленням і технічними умовами, при якнайменших витратах праці й мінімальній собівартості, а також виготовлення виробів у кількостях і в строки, визначені програмою випуску продукції (виробничою програмою).

Наведемо терміни й визначення основних понять відповідно до ГОСТ 14.004-83.

Програма випуску продукції – це визначений для конкретного пі-

дприємства перелік виробів, що підлягають виготовленню або ремонту, із зазначенням обсягу випуску за кожним найменуванням на запланований проміжок часу.

Найменших витрат під час виготовлення виробів можна досягти, якщо побудувати ТП у повній відповідності до типу конкретного виробництва та його умов.

Тип виробництва – це класифікаційна категорія виробництва, яку виділяють за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності й обсягу випуску виробів.

Обсяг випуску – це кількість виробів певного найменування, типорозміру й виконання, які виготовляє або ремонтує підприємство або його підрозділ протягом планованого проміжку часу.

Коефіцієнт закріплення операцій ($K_{з.о}$) відповідно до державного стандарту ГОСТ 3.1108–74 визначається як відношення кількості всіх виконаних технологічних операцій або тих, що підлягають виконанню протягом місяця, до кількості робочих місць.

Розрізняють такі типи машинобудівного виробництва: одиничне, серійне й масове.

Одиничне виробництво характеризується широкою номенклатурою виробів, що виготовляються або ремонтуються, і малим обсягом їх випуску. Використовується універсальне устаткування, яке розташовують у цехах за технологічними групами. Спеціальні пристрої й інструменти, як правило, не застосовуються; необхідної точності досягають методом пробних ходів з використанням розмічування й проміжних вимірювань. Кваліфікація робітників – висока, технологічна документація – скорочена й спрощена; нормування праці – дослідно-статистичне.

Масове виробництво характеризується вузькою номенклатурою й великим обсягом випуску виробів, які безперервно виготовляються або ремонтуються протягом тривалого часу. Для масового типу виробництва $K_{з.о} = 1$, тобто на більшості робочих місць виконується одна операція, яка постійно повторюється.

Одночасно використовується спеціальне високопродуктивне устаткування, яке розташовують за потоковим принципом (тобто за ходом виконання ТП). У багатьох випадках устаткування з'єднується транспортувальними пристроями й конвеєрами з постами проміжного автоматичного контролю, а також проміжними складами-накопичувачами заготовок.

У масовому виробництві широко застосовуються:

– високопродуктивні багатопиндельні автомати й напіваавтома-

ти, багатоопераційні верстати з ЧПК, автоматичні лінії й автоматизовані виробничі системи, що керуються ЕОМ;

– високопродуктивне технологічне оснащення, інструменти із синтетичних надтвердих матеріалів та алмазів і фасонні інструменти всіх видів;

– точні індивідуальні початкові заготовки з мінімальними припусками на механічне оброблення (точності досягають методами автоматичного отримання розмірів на налагоджуваних верстатах).

Кваліфікація робітників у масовому виробництві в середньому нижча, ніж в одиничному, проте в цехах працюють висококваліфіковані наладники верстатів. Технологічну документацію масового виробництва детально розробляють, ретельно розраховують технічні норми й експериментально їх перевіряють.

Серійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, які виготовляються або ремонтуються виробничими партіями, що періодично повторюються, і порівняно великим обсягом їх випуску.

Виробнича партія – це група заготовок одного найменування й типорозміру, які подаються на оброблення одночасно або безперервно протягом певного проміжку часу.

Обсяг серії – це загальна кількість виробів певного найменування, типорозміру й виконання, які виготовляються або ремонтуються за незмінною конструкторською документацією.

Залежно від кількості виробів у партії або серії розрізняють малосерійне ($K_{з.о} = 20...40$), середньосерійне ($K_{з.о} = 10...20$) і великосерійне виробництво ($K_{з.о} = 1...10$).

Серійне виробництво є основним типом сучасного машинобудування, підприємства цього типу випускають на сьогодні від 75 до 80 % усієї продукції. Тут використовується універсальне, спеціалізоване й частково спеціальне устаткування. Широко застосовуються верстати з ЧПК, оброблювальні центри, гнучкі автоматизовані лінії з ЧПК.

Устаткування в цехах розміщують за технологічними групами, ураховуючи напрям основних вантажопотоків по предметно-замкнених ділянках. Одночасно використовуються групові поточкові й змінно-поточкові автоматичні лінії.

Широко використовується універсально-збирне і переналагоджувальне технологічне оснащення, що дає можливість суттєво підвищити коефіцієнт оснащення серійного виробництва. Як початкові заготовки використовують гарячий і холодний прокат, точне литво, поковки й точні штамповки. Необхідної точності досягають як метода-

ми автоматичного отримання розмірів, так і методами пробних ходів.

Кваліфікація робітників в середньому вища, ніж у масовому виробництві, але нижча, ніж в одиничному. Разом із працею робітників і налагодників високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах, використовується праця робітників-операторів більш низької кваліфікації, які обслуговують налагоджені верстати. Технологічну документацію й технічне нормування детально розробляють для найскладніших і відповідальних заготовок.

Залежно від розмірів партій заготовок й організації виробництва характер ТП серійного виробництва може змінюватися в широких межах, наближаючись до характеру процесів масового (у великосерійному) або одиничного (у малосерійному) типу виробництва.

1.5. Точність процесів розмірного оброблення заготовок

Вирішуючи проблеми точності, технолог повинен забезпечити точність деталей, якої вимагає конструктор, при одночасному досягненні високої продуктивності й економічності їх виготовлення. Крім того, технолог має дослідити фактичну точність призначеного ТП і проаналізувати причини виникнення похибок оброблення.

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

У виробничих умовах вирішують низку технологічних завдань, пов'язаних із різними *категоріями точності*:

– *задану (нормативну, конструкторську) точність* призначає конструктор під час розроблення креслень, спираючись на умови функціонування виробів; її можна досягти одним із двох принципово різних методів оброблення: методом пробних ходів і промірювань або методом автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах;

– *дійсну (виробничу, одержану, реальну) точність* визначають вимірюванням геометричних параметрів деталі після оброблення;

– *очікувану точність* знаходять розрахунковим шляхом для оцінювання точності розроблюваної технології та проектного або вибраного верстатного пристрою.

Граничним можливостям цієї операції відповідає *досяжна точність* оброблення, яку може одержати робітник високої кваліфікації на справному верстаті при необмежених витратах праці й часу.

Економічна точність технологічної операції – це точність, при якій витрати на оброблення поверхні конкретним способом будуть нижчими за витрати на оброблення тієї ж поверхні будь-яким іншим

способом.

Проектуючи ТП, використовують довідкові дані з робіт [15, 22], де наведено класи точності й шорсткості, що є економічно доцільними для різних методів оброблення.

1.5.1. Види похибок оброблення з видаленням припуску

Оцінюючи точність, зазвичай кажуть не про відповідність параметрів реальної й заданої деталей, а про їх відмінність.

Чисельно точність можна виразити *похибкою* оброблення за конкретним параметром $\Delta = A_{\partial} - A_H$, де A_{∂} – реальне значення параметра; A_H – задане номінальне значення параметра.

Одним із основних у технології машинобудування є положення про те, що вибрана для виготовлення деталі технологія повинна забезпечувати тільки той ступінь точності, який був заданий конструктором.

Суть і мета оброблення кожної поверхні полягають у послідовному уточненні параметрів заготовки до досягнення заданої для деталі точності.

Уточненням називають відношення похибки заготовки $\Delta_{заг}$ до похибки деталі $\Delta_{дет}$: $\varepsilon = \Delta_{заг} / \Delta_{дет}$.

Кожна операція оброблення даної поверхні повинна мати уточнення, більше за одиницю, тобто наступна операція ТП має забезпечувати більш високу точність оброблення, ніж попередня. Якщо уточнення дорівнює одиниці, або менше від неї, то така операція є зайвою.

Операційні похибки можуть бути систематичними й випадковими.

Систематичні похибки бувають двох видів:

- *постійні*, величина яких не змінюється в процесі оброблення;
- *змінні*, величина яких у процесі оброблення змінюється за певним законом, пов'язаним із механізмом дії кожного чинника.

У першому випадку похибку прийнято називати постійною систематичною похибкою, у другому – функціональною.

Основні первинні систематичні похибки оброблення:

- *Похибка верстата*. Залежить від точності виготовлення верстата, виявляється в процесі роботи верстата під навантаженням.
- *Похибка інструменту*. Впливає на точність оброблення мірним інструментом (свердлом, розверткою, мітчиком) і фасонним профільним інструментом (фасонним різцем фасону, фрезою, шліфувальним кругом), оскільки похибки їхніх розмірів безпосередньо переносяться на деталь.

- *Похибка пристрою.* Визначає точність установлення оброблюваних деталей і впливає на точність оброблення як геометрична первинна похибка. Проектуючи пристрої, необхідно передбачати більш високу їхню точність, ніж точність виконуваної операції.

- *Спрацювання інструменту.* У процесі різання залежить від шляху різання і має три характерні зони: припрацьовування (до 3% шляху), нормального спрацьовування (від 95 до 99 % шляху) і катастрофічного спрацьовування (менше 1 % шляху). Темп нормального спрацьовування до заданого критерію стійкості інструменту визначає *питоме спрацювання інструменту* (спрацювання, віднесене до шляху в 1000 м), яке є довідковою величиною [23].

- *Похибка налагоджування верстата на розмір.* Суттєво впливає на точність оброблення. За методом *пробних проходів* похибку налагоджування визначають як систематичну похибку під час оброблення однієї деталі, за методом *автоматичного отримання розміру* – як систематичну похибку під час оброблення партії деталей.

- *Пружні деформації системи ВПІД.* Система ВПІД у цілому характеризується *жорсткістю* – відношенням складової сили різання, напрямленої за нормаллю до оброблюваної поверхні, до зсуву леза інструменту відносно деталі в тому ж напрямку. Жорсткість системи ВПІД впливає на точність оброблення, з одного боку, через деформації системи, з другого – через вібрації системи, що виникають. Для зменшення впливу жорсткості системи ВПІД на точність установлюють додаткові опори (люнети, віброгасники), змінюють геометрію різального інструменту й режим різання.

- *Теплові деформації інструменту.* Суттєво впливають на точність оброблення, залежать у першу чергу від режимів різання й умов оброблення; для заданих умов оброблення їх враховують як постійні систематичні похибки.

- *Похибки базування й закріплення.* Виникають під час установлення деталі на верстаті або у верстатному пристрої. Похибка базування виникає у разі автоматичного отримання розмірів унаслідок незбіжності встановлювальної й вимірювальної (конструкторської) баз, похибка закріплення – унаслідок деформації деталі під час закріплення.

Визначаючи операційну похибку, систематичні похибки підсумовують геометрично й зводять до напрямку, нормального до оброблюваної поверхні.

Систематичні похибки лежать в основі розрахунково-аналітичного підходу до прогнозування точності, коли вивчають меха-

нізм дії конкретного чинника для того, щоб отримати аналітичні залежності для розрахунку похибок.

Випадкові похибки є результатом дії безлічі важко враховуваних випадкових чинників, що лежать в основі ймовірнісного підходу до розрахунку очікуваної точності.

1.6. Операційний припуск і методика розрахунку розмірів заготовки

Наведемо терміни й визначення основних понять для цього підрозділу згідно з ГОСТ 3.1109-82.

Припуск – це шар матеріалу, який видаляють з поверхні заготовки, щоб досягти заданих властивостей оброблюваної поверхні (розміру, форми, шорсткості). Загальний припуск визначають як різницю відповідних розмірів заготовки й деталі.

Допуск припуску – різниця між найбільшим і найменшим значеннями розміру припуску.

Операційний припуск – це шар матеріалу, який видаляють з поверхні заготовки, виконуючи одну технологічну операцію. Розмір, який витримано при цьому, називають операційним розміром.

Проміжний припуск – це припуск на окремий технологічний перехід.

Операційний припуск дорівнює сумі проміжних припусків на технологічні переходи, з яких складається конкретна операція.

Як видно зі схеми розташування припусків і допусків на оброблення вала за дві операції – точіння й шліфування (рис. 1.7), загальний номінальний припуск на оброблення дорівнює сумі номінальних припусків на окремі операції:

$$Z_{ном} = D_{заг}^{ном} - D_{дет}^{ном} = \sum_{i=1}^n Z_{i\,ном}, \quad (1.1)$$

де n – загальна кількість операцій оброблення деталі.

Зі схеми бачимо, що слід розрізняти такі припуски:

– мінімальний операційний $Z_{i\,min}$ – різниця між найменшим граничним розміром до оброблення і найбільшим граничним розміром після оброблення на конкретній операції;

– максимальний операційний $Z_{i\,max}$ – різниця між найбільшим граничним розміром до оброблення і найменшим граничним розміром

після оброблення на конкретній операції.

Мінімальний операційний односторонній припуск на виконуваний технологічний перехід у разі послідовного оброблення протилежних поверхонь обчислюють за формулою

$$Z_{i \min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma(i-1)} + \varepsilon_i, \quad (1.2)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей на попередньому технологічному переході; h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході; $\Delta_{\Sigma(i-1)}$ – сумарне відхилення розташування поверхні й форми поверхні на попередньому переході; ε_i – похибка встановлення заготовки на виконуваному переході.

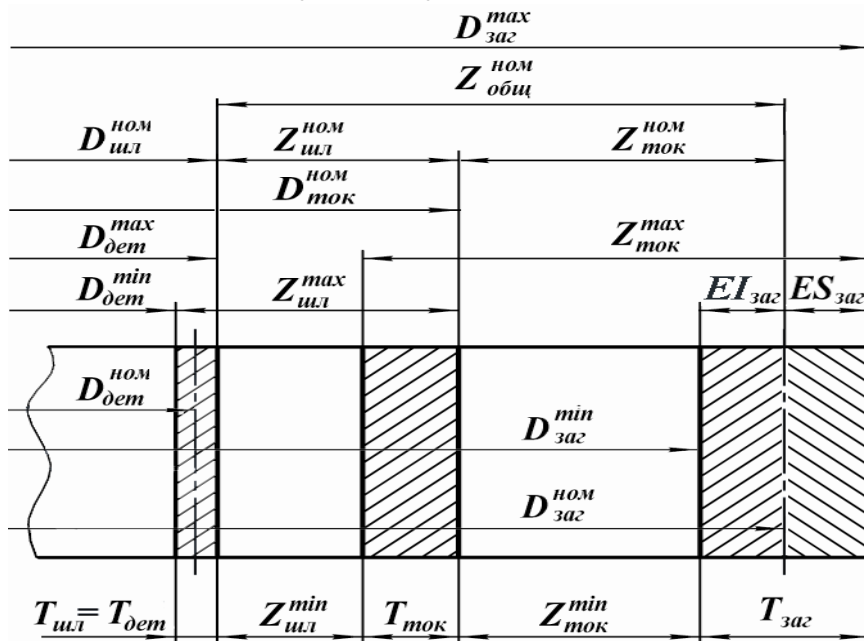


Рис. 1.7. Схема розташування припусків і допусків на операціях точіння й шліфування вала

Максимальний припуск на оброблення поверхні заготовки розраховують за формулою

$$Z_{i \max} = Z_{i \min} + T_i + T_{i-1}, \quad (1.3)$$

де T_i, T_{i-1} – допуски на операційні розміри виконаного й попереднього технологічних переходів оброблення.

Допуск припуску T_z згідно з поданим вище визначенням розраховують як різницю між максимальним і мінімальним значеннями розміру припуску:

$$T_z = Z_{i \max} - Z_{i \min} = T_i + T_{i-1}. \quad (1.4)$$

Номінальний (розрахунковий) операційний припуск $Z_{i \text{ ном}}$ роз-

раховують як різницю номінальних розмірів заготовки до і після оброблення на конкретній операції:

$$Z_{i \text{ ном}} = Z_{i \text{ min}} + T_{i-1}. \quad (1.5)$$

Визначаючи номінальний припуск на першу операцію оброблення заготовки, що має симетричне розташування поля допуску, у формулу (1.5) вводять значення не всього поля допуску, а тільки величину його нижнього відхилення (див. рис. 1.7).

У цьому випадку номінальний операційний припуск на оброблення відповідно зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовки розраховують за формулами

$$Z_{i \text{ ном}} = Z_{i \text{ min}} + EI_{i-1} + EI_i; \quad (1.6)$$

$$Z_{i \text{ ном}} = Z_{i \text{ min}} + ES_{i-1} + ES_i, \quad (1.7)$$

де EI_{i-1} , EI_i – нижні відхилення розмірів відповідно на попередньому й виконуваному переходах; ES_{i-1} , ES_i – верхні відхилення розмірів відповідно на попередньому й виконуваному переходах.

Наведені формули для розрахунку припусків показують, що припуск, по суті, компенсує всі похибки попереднього оброблення й похибки, пов'язані з виконанням конкретної операції.

Призначення надмірно великих припусків призводить до непродуктивних втрат матеріалу через його перетворення на стружку і збільшення трудомісткості обробки різанням.

Малий припуск не забезпечує видалення дефектних шарів матеріалу й досягнення необхідних параметрів точності й шорсткості оброблюваної поверхні деталі.

1.6.1. Методика розрахунку розмірів заготовки

Призначення операційних припусків на оброблення поверхні починають з вибору остаточної операції оброблення цієї поверхні відповідно до економічної точності конкретної операції.

Розміри заготовки розраховують за такими формулами:

– для зовнішніх поверхонь

$$a_{\text{min } i-1} = a_{\text{min } i} + Z_{\text{min } i}, \quad (1.8)$$

$$a_{\text{max } i-1} = a_{\text{min } i-1} + T_{i-1}; \quad (1.9)$$

– для внутрішніх поверхонь

$$a_{\text{max } i-1} = a_{\text{max } i} - Z_{\text{min } i}, \quad (1.10)$$

$$a_{\text{min } i-1} = a_{\text{max } i-1} - T_{i-1}, \quad (1.11)$$

де $a_{\text{min } i-1}$, $a_{\text{max } i-1}$ – відповідно найменший і найбільший граничні розміри заготовки, одержані на попередньому технологічному переході; $a_{\text{min } i}$, $a_{\text{max } i}$ – відповідно найменший і найбільший граничні роз-

міри заготовки, одержані на виконуваному технологічному переході.

Для технологічних переходів оброблення зовнішніх поверхонь найменший розмір одержують додаванням до найменшого граничного розміру за кресленням припуску Z_{min} .

Під час оброблення внутрішніх поверхонь розрахунковим є найбільший розмір. Розмір на попередньому технологічному переході визначають шляхом віднімання Z_{min} .

Зазначений розрахунково-аналітичний метод визначення припусків застосовують для проектування початкових заготовок й окремих операцій великосерійного й масового виробництва, а також процесів оброблення великих й особливо відповідальних деталей серійного й навіть одиничного виробництва. В умовах одиничного й серійного типів виробництва, щоб визначити загальні й операційні припуски, часто використовують нормативні таблиці припусків, які розроблено на основі вивчення великого практичного досвіду в промисловості [15, 20, 22].

1.7. Режим різання й нормування операцій оброблення з видаленням припуску

1.7.1. Режим різання операцій оброблення з видаленням припуску

Терміни, визначення й позначення загальних понять стосовно обробки різанням наведено за ГОСТ 25762-83.

Режим різання – сукупність значень швидкості різання, подачі або швидкості руху подачі й глибини різання. Ці чинники залежать від матеріалу заготовки та його властивостей на конкретній операції оброблення, матеріалу й геометрії різального інструменту, виду й характеру обробки.

Швидкість різання v розраховують за емпіричними формулами для кожного виду обробки, які мають такий загальний вигляд:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_{mv} K_{nv} K_{uv}. \quad (1.12)$$

Значення коефіцієнта C_v , і показників степеня, а також періоду стійкості T інструменту, що використовується для конкретного виду обробки, наведено в довідковій літературі [22]. Поправкові коефіцієнти є спільними для різних видів обробки: K_{mv} ураховує якість оброблюваного матеріалу, K_{nv} – стан поверхні заготовки, K_{uv} – якість матеріалу інструменту.

Подача S – відношення відстані, яку проходить конкретна точка різальної кромки або заготовка вздовж траєкторії цієї точки в русі подачі, до відповідної кількості циклів іншого руху під час різання. Під

циклом руху розуміють повний оберт, хід або подвійний хід різального інструменту.

Розрізняють такі види подач:

– подача на оберт S_0 , мм – подача, що відповідає одному обертуну інструменту або заготовки;

– подача на зуб S_z , мм – подача, що відповідає повороту інструменту або заготовки на один кутовий крок зубів інструменту;

– хвилинна подача S_m , мм/хв – величина переміщення інструменту за одиницю часу (є похідною величиною).

Хвилинну подачу для багатолезового інструменту обчислюють за формулою

$$S_m = S_z z n, \quad (1.13)$$

де z – кількість зубів інструменту; n – частота обертання, хв^{-1} .

Глибина різання t , мм – товщина шару припуску, який знімають за один робочий хід інструменту (вимірюється перпендикулярно до осі заготовки або до її поверхні).

Характеристики режиму різання залежать від конструкційного матеріалу, з якого виготовлено оброблювану заготовку.

1.7.2. Нормування операцій оброблення з видаленням припуску

Норма часу за ГОСТ 3.1109–82 – це регламентований час виконання деякого обсягу робіт у певних виробничих умовах одним або декількома виконавцями відповідної кваліфікації. У машинобудуванні зазвичай визначають норму часу на технологічну операцію.

Нормованими витратами робочого часу є оперативний час, час обслуговування робочого місця, час перерви на відпочинок і підготовчо-завершальний час.

Норма оперативного часу T_{on} – це норма часу на виконання технологічної операції, яка складається із норм основного часу T_o і допоміжного часу T_δ :

$$T_{on} = T_o + T_\delta. \quad (1.14)$$

Основний час T_o є часом, протягом якого змінюються розміри й форма заготовки, шорсткість поверхні.

Для всіх верстатних робіт основний час T_o , хв, визначають як відношення шляху, який проходить оброблювальний інструмент, до його хвилинної подачі:

$$T_o = \frac{Li}{S_m} = \frac{Li}{nS_0} = \frac{LZ}{nS_0t}, \quad (1.15)$$

де L – довжина шляху інструменту з урахуванням величини врізання й переміщення, мм; i – кількість робочих ходів; S_m – хвилинна пода-

ча, мм/хв; n – частота обертання шпінделя або інструменту, хв⁻¹; S_0 – подача на один оберт шпінделя або інструменту, мм/об; t – глибина різання на сторону, мм; Z – припуск на сторону, мм.

Розраховуючи основний час за формулою (1.15), елементи режимів різання v , n , S_0 , t визначають за відповідними формулами теорії різання або за таблицями нормативів, наведеними в довідковій технічній літературі [22, 15].

Норма допоміжного часу T_0 є нормою часу на виконання дій, які дають можливість здійснювати технологічну операцію або перехід і повторюються з кожним виробом або через певну їх кількість.

До складу допоміжного часу включають:

- час на встановлення й знімання заготовки;
- час на підведення інструменту до заготовки, ввімкнення й вимкнення подачі, відведення інструменту в початкове положення;
- час на переміщення й змінення режиму роботи механізмів верстата, на заміну інструменту, контрольні вимірювання.

Час обслуговування робочого місця $T_{обс}$ є частиною штучного часу, який витрачає виконавець на підтримання устаткування в працездатному стані й догляд за робочим місцем. Час обслуговування робочого місця поділяють на час технічного й час організаційного обслуговування.

Час технічного обслуговування $T_{тех}$ – це час, який витрачають на догляд за устаткуванням протягом конкретної роботи (заміна затупілих інструментів, регулювання інструментів і підналагодження устаткування в процесі роботи, змітання стружки тощо). Час технічного обслуговування визначають у відсотках від T_0 .

Час організаційного обслуговування $T_{орг}$ – це час, який витрачають на догляд за робочим місцем протягом робочої зміни (розкладання й прибирання інструменту на початку й наприкінці зміни, огляд і випробовування устаткування, його змащування й чищення тощо). Час організаційного обслуговування визначають у відсотках від $T_{он}$.

Час на особисті потреби $T_{відп}$ – це частина штучного часу, який витрачає робітник на особисті потреби і додатковий відпочинок під час важких робіт. Час на особисті потреби передбачено для всіх видів робіт, крім безперервних, його визначають у відсотках від $T_{он}$.

Норма штучного часу – це норма часу на виконання обсягу робіт, що дорівнює одиниці нормування.

Штучний час $T_{ш}$ – проміжок часу, що дорівнює відношенню циклу технологічної операції до кількості виробів, які одночасно виготовляються або ремонтуються.

Норму штучного часу $T_{ш}$, хв, розраховують за формулою

$$T_{ш} = T_o + T_d + T_{обс} + T_{відп} = T_{он} \left(1 + \frac{\alpha}{100} + \frac{\beta}{100} + \frac{\gamma}{100} \right), \quad (1.16)$$

де α – відношення часу на технічне обслуговування робочого місця до оперативного часу, %; β – відношення часу організаційного обслуговування робочого місця до оперативного часу, %; γ – відношення часу на відпочинок та особисті потреби до оперативного часу, %.

В одиничному й серійному типах машинобудівного виробництва час на обслуговування робочого місця не поділяють на організаційний і технічний, формула для розрахунку штучного часу спрощується і набуває вигляду

$$T_{ш} = (T_o + T_d) \left(1 + \frac{K}{100} \right), \quad (1.17)$$

де K – відсоток оперативного часу на технічне й організаційне обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби.

Значення коефіцієнтів α , β , γ , K беруть такими, що відповідають нормативам [23].

Норма підготовчо-завершального часу $T_{н.з}$ – це норма часу на підготовку робітників і засобів виробництва до виконання технологічної операції й надання засобам виробництва початкового стану після її завершення.

У нормі $T_{н.з}$ передбачено витрати часу на такі дії:

- отримання матеріалів, інструментів, пристроїв, технологічної документації й наряду на роботу;
- ознайомлення з технологічною документацією, проходження необхідного інструктажу;
- установлення інструментів, пристроїв, налагодження верстата на відповідний режим роботи, знімання пристроїв та інструменту;
- здавання готової продукції, залишків матеріалу, пристроїв, інструменту, технологічної документації й наряду.

Підготовчо-завершальний час розраховують одноразово на всю партію виробів, які обробляються без перерви за даним робочим нарядом, незалежно від кількості виробів у цій партії. Величину $T_{н.з}$ визначають за нормативами, ураховуючи типорозміри верстатного устаткування й пристроїв, розміри й масу заготовки.

Норма штучно-калькуляційного часу $T_{ш.к}$ складається з підготовчо-завершального часу на партію оброблюваних виробів $T_{н.з}$ і штучного часу $T_{ш}$:

$$T_{ш.к} = T_{ш} + \frac{T_{н.з}}{n}, \quad (1.18)$$

де n – кількість заготовок в оброблюваній партії.

Норму часу на партію заготовок $T_{нар}$ розраховують за формулою

$$T_{нар} = T_{н.з} + T_{ш}n. \quad (1.19)$$

Контрольні запитання

1. Назвіть конструктивно-технічні особливості ЛА як об'єктів машинобудівного виробництва.
2. Перелічіть типові класи деталей планера ЛА, що обробляються з видаленням зайвого матеріалу.
3. Охарактеризуйте принципову схему перетворення початкових компонентів на планер ЛА.
5. Охарактеризуйте структуру групи процесів розділення напівфабрикатів і видалення зайвого матеріалу.
7. Дайте характеристику складових елементів ТП.
8. З яких елементів складається технологічний перехід?
9. Назвіть технологічні особливості, характерні для кожного з типів машинобудівного виробництва.
10. Дайте визначення загального й операційного припусків.
11. Наведіть вирази для обчислення мінімального й максимального операційних припусків.
12. Запишіть вирази для розрахунку розмірів зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовки.
13. Зобразіть схему розташування припусків і допусків на точіння й шліфування вала.
14. Перелічіть категорії точності деталі.
15. Дайте визначення досяжної й економічної точності.
16. Назвіть види похибок під час оброблення деталей.
17. Перелічіть основні систематичні похибки оброблення з видаленням зайвого матеріалу.
18. Назвіть параметри режиму різання.
19. Перелічіть складові норми штучного часу.

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Геометричні параметри процесу оброблення різанням

Формоутворення деталі в процесі оброблення різанням відбувається шляхом видалення поверхневих шарів матеріалу заготовки.

Розглянемо основні поняття й терміни, які використовуються для процесу оброблення різанням за умови, що інструмент і заготовка знаходяться в миттєвому статичному положенні (рис. 2.1).

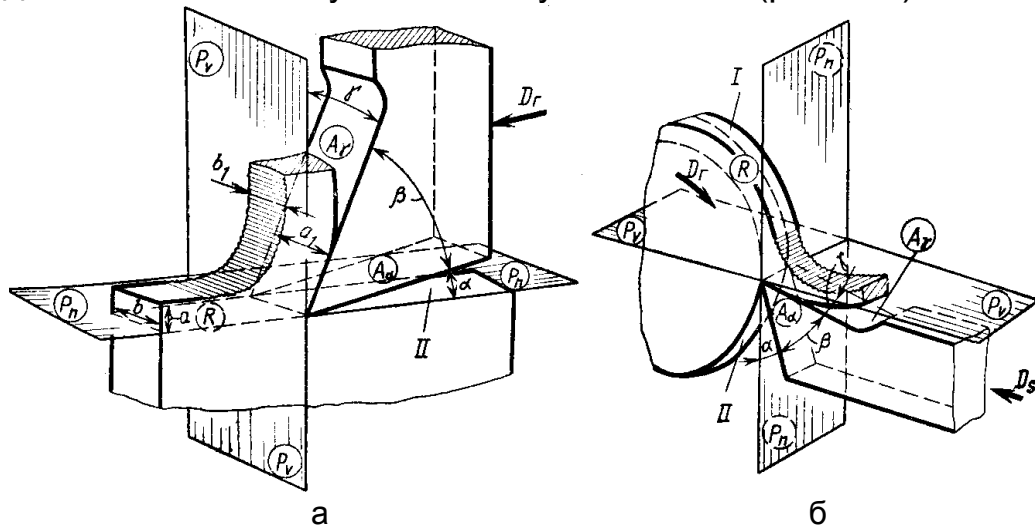


Рис. 2.1. Геометричні параметри системи різання:
а – оброблення площин; б – оброблення тіл обертання

Згідно з ГОСТ 25751–83 різальний інструмент має такі загальні конструктивні елементи:

– *лезо інструменту* – це клиноподібний елемент різального інструменту для проникнення в матеріал заготовки й відділення шару матеріалу;

– *передня поверхня* різального леза A_γ – поверхня леза інструменту, що в процесі різання контактує з шаром, що зрізається, і стружкою;

– *задня поверхня* A_α – поверхня леза інструменту, що в процесі різання контактує з поверхнями оброблюваної заготовки;

– *різальна кромка* – кромка леза інструменту, утворена перетином передньої й задньої поверхонь леза; якщо інструмент має декілька різальних кромок, то найбільш навантажену називають *головною різальною кромкою*.

Оброблювана поверхня I – поверхня зрізаного шару заготовки, яку частково або повністю видаляють під час оброблення (а і b – товщина й ширина шару, що зрізається).

Оброблена поверхня II – це нова поверхня, яка утворюється на заготовці внаслідок різання після зняття стружки (a_1 і b_1 – товщина й ширина стружки).

Поверхня різання R – це поверхня, що утворюється різальною кромкою у результуючому русі різання. Вона може бути плоскою, спіральною, гвинтовою.

У процесах оброблення розглядаються статичні й кінематичні кути різального леза, що визначають положення передньої й задньої поверхонь інструменту відносно взаємно перпендикулярних площин – основної площини й площини різання.

Основна площина P_y – це координатна площина, проведена через конкретну точку різальної кромки перпендикулярно до напрямку вектора швидкості головного або вислідного руху різання в цій точці.

Площина різання P_n – це координатна площина, дотична до різальної кромки в конкретній точці й перпендикулярна до основної площини. На рис. 2.1, а площина різання проходить через різальну кромку і збігається з поверхнею різання, а на рис. 2.1, б – є дотичною до спіральної поверхні різання.

Кінематичні кути залежать від положення площини різання і можуть відрізнитися за величиною від статичних кутів заточування інструменту. Ці кути розглядають у *головній січній площині*, що перпендикулярна до лінії перетину основної площини й площини різання.

Передній кут γ – кут у головній січній площині між передньою поверхнею леза й основною площиною. Кут γ впливає на процес стружкоутворення і міцність різального леза.

Задній кут α – кут у головній січній площині між задньою поверхнею леза й площиною різання. Для зменшення тертя задній кут беруть більшим від нуля.

Кут загострення β – кут у січній площині між передньою й задньою поверхнями леза.

У зв'язку із взаємодією різального інструменту з оброблюваним матеріалом розглядають такі схеми різання:

1. *Вільне ортогональне різання* (рис. 2.2, а). У роботі бере участь тільки одна прямолінійна різальна кромка, перпендикулярна до напрямку вектора швидкості руху інструменту D_r . Напрямок траєкторій переміщення частинок матеріалу, що оточує різальне лезо, у всіх точках однаковий.

2. *Косокутне різання* (рис. 2.2, б). У цьому разі вектор швидкості руху інструменту D_r не перпендикулярний до різальної кромки.

3. *Невільне (утруднене) різання* (рис. 2.2, в). У роботі одночасно беруть участь декілька зв'язаних різальних кромки леза, що мають різні напрями.

Як правило, окремі рухи інструменту або деталі частіше за все прості, але результуючий рух майже завжди складний (гвинтові, спіральні, циклоїдні й інші поверхні).

За характером руху інструменту й деталі всі кінематичні схеми різання можна поділити на декілька груп залежно від поєднання обертальних і поступальних рухів.

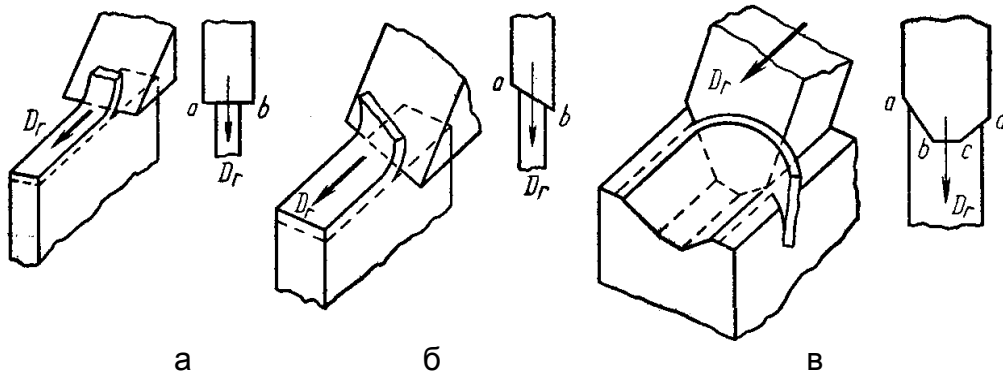


Рис. 2.2. Основні схеми різання:

а – вільного ортогонального; б – косокутного; в – невільного

2.2. Кінематичні елементи оброблення різанням

Оброблення різанням відповідно до ГОСТ 25762-83 має загальні кінематичні елементи й характеристики (рис. 2.3).

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 конкретної точки різальної кромки або заготовки в головному русі різання, яка дорівнює відношенню шляху, який пройшла точка різальної кромки, до одиниці часу (м/хв, м/с).

Рух подачі D_s – прямолінійний поступальний або обертальний рух різального інструменту або заготовки, швидкість якого менша від 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 певної точки різальної кромки в русі подачі.

Швидкості головного руху різання й руху подачі лежать у *робочій площині P_s* .

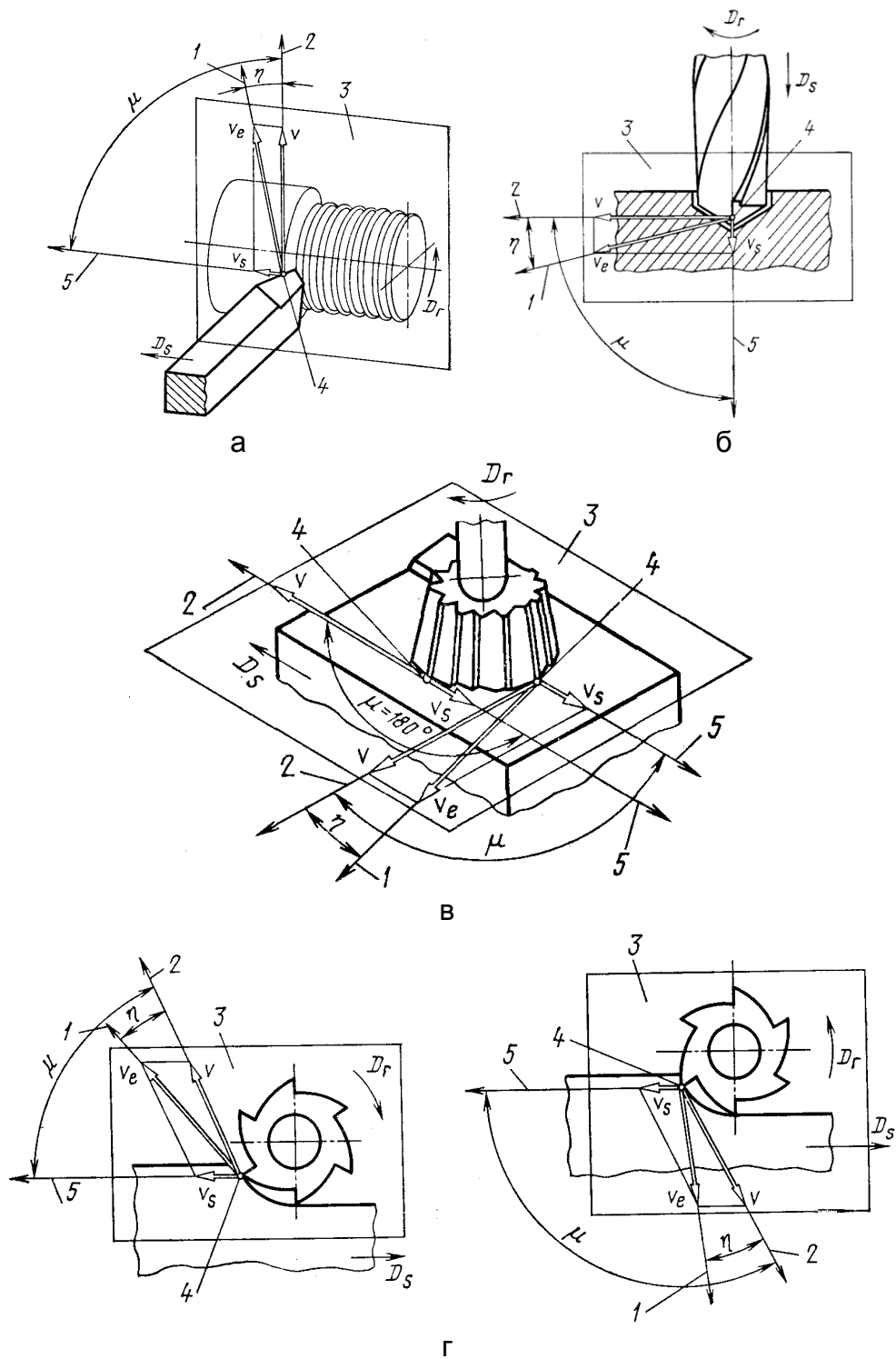


Рис. 2.3. Елементи рухів у процесі різання:
 а – точення; б – свердлення; в – фрезерування кінцевою фрезою; г – периферійне зустрічне й попутне фрезерування; 1 – напрям швидкості результуючого руху різання; 2 – напрям швидкості головного руху різання; 3 – робоча площина P_S ; 4 – конкретна точка різальної кромки; 5 – напрям швидкості руху подачі; η – кут швидкості різання; μ – кут подачі

Для здійснення різання до інструменту слід прикласти сили, які залежать від опору металу стружкоутворенню.

Сила різання P – рівнодійна трьох сил, які діють на різальний інструмент під час оброблення різанням.

Для зручності технологічних розрахунків вектор P розкладають на складові в просторовій системі координат XYZ , причому напрям осей координат вибирають з урахуванням технологічних особливостей конкретного виду обробки (рис. 2.4).

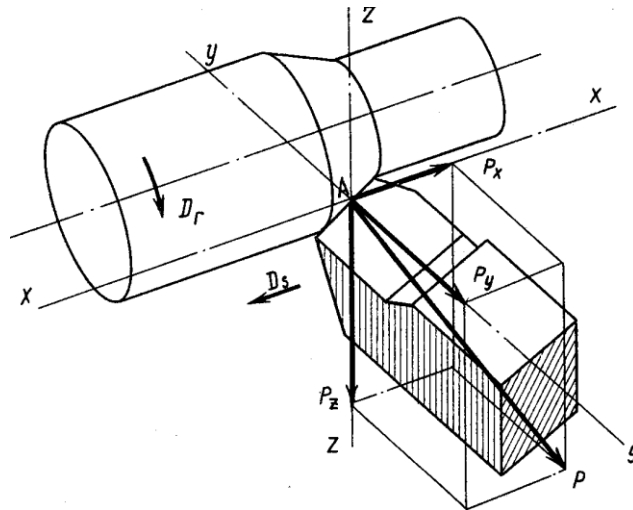


Рис. 2.4. Схема сил, що діють на різець і заготовку

Кожна зі складових сили різання має певну величину й технологічне значення:

– *головна (тангенціальна) складова* P_z напрямлена по дотичній до поверхні різання й збігається за напрямом з вектором швидкості головного руху; її враховують під час визначення потужності верстата, роботи різання й опору вигину різця в площині YZ ;

– *осьова складова* P_x паралельна до осі головного обертального руху різання; її враховують під час визначення міцності механізму поздовжньої подачі верстата й опору вигину різця в площині XY ;

– *радіальна складова* P_y напрямлена по радіусу головного обертального руху різання у вершині леза (перпендикулярно до осі заготовки); її враховують, визначаючи міцність механізму поперечної подачі верстата й опір віджиманню різця або вигину деталі.

2.3. Процес стружкоутворення

Різання є складним фізичним процесом, під час якого виникають пружні й пластичні деформації. Цей процес супроводжується тертям, тепловиділенням, наростоутворенням, усадкою стружки, наклепом оброблюваної поверхні й спрацюванням інструменту. Знання фізичної суті різання й закономірностей явищ, якими воно супроводжується,

дає можливість раціонально керувати цим процесом та якістю оброблюваної поверхні.

Уперше процес різання дослідив професор Санкт-Петербурзького політехнічного інституту І.А. Тімі, який запропонував схему стружкоутворення, ґрунтуючись на візуальному спостереженні за процесом різання (рис. 2.5).

У початковий момент, коли рухомий різець під дією сили різання торкається металу, у матеріалі виникають пружні деформації (див. рис. 2.5, а). Під час подальшого руху різець своєю кромкою вдавлюється в метал, спричиняючи його пластичне деформування (див. рис. 2.5, б).

У міру переміщення різця об'єм пластично zdeформованого металу збільшується і внутрішні напруження набувають значень, які перевищують тимчасовий опір металу. У цей момент весь пластично zdeформований матеріал під дією сил зсовується різцем у вигляді елемента стружки, що остаточно сформувався (див. рис. 2.5, в). Далі процес деформації повторюється, утворюються нові елементи 1, 2, 3 і т. д. стружки (див. рис. 2.5, г).

Об'єм металу, що піддається пластичному деформуванню, обмежений, з одного боку, передньою поверхнею леза різця, з другого – площиною О-О, по якій періодично зсовуються або сколюються сформовані елементи стружки. Цю площину називають площиною зсуву. Кут β_1 , що визначає положення площини зсуву відносно напрямку руху інструменту, називають кутом зсуву, кут β' – кутом дії.

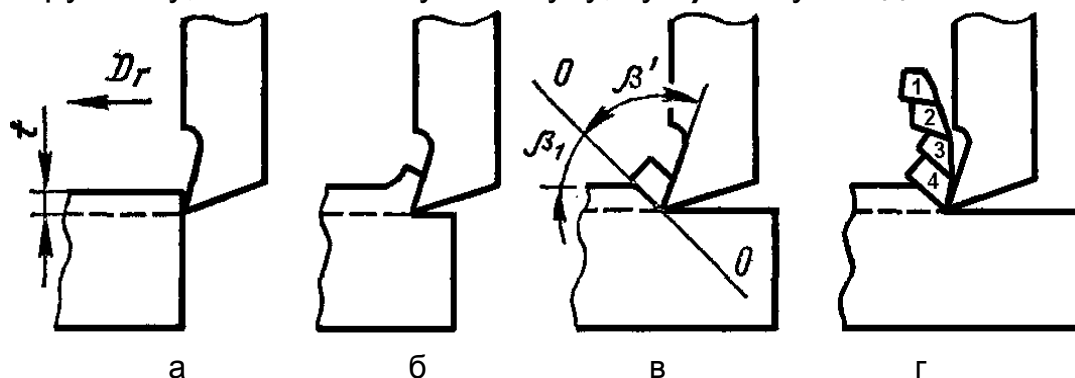


Рис. 2.5. Послідовність утворення елементів стружки

Пізніше під час досліджень було встановлено, що найбільші деформації зерен виникають не в напрямі площини О-О, а в іншому напрямі, який визначає кут θ (рис. 2.6). Шар, що зрізається, піддається додатковому деформуванню внаслідок тертя стружки об передню поверхню інструменту, і остаточно його структура формується у вигляді витягнутих зерен.

Упорядковану орієнтацію zdeформованих кристалічних зерен називають текстурою, а кут θ – кутом текстури.

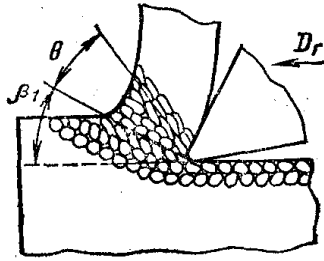


Рис. 2.6. Схема пластично здеформованої зони під час різання

Характер деформації залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, геометричних параметрів інструменту, режимів різання й умов оброблення. Для сталей середньої твердості положення площини зсуву О-О практично постійне ($\beta' = 30^\circ$). Кут θ залежить від властивостей оброблюваного матеріалу й геометричних параметрів інструменту. У разі оброблення крихких матеріалів кут θ близький до нуля, у разі оброблення пластичних матеріалів – досягає 30° .

Згідно з чинною й понині класифікацією, яку запропонував професор І. А. Тімі, унаслідок оброблення різних матеріалів можуть утворюватися такі види стружки: зливна, сколювання й надлому (рис. 2.7). Вид стружки в основному залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, режиму різання й геометричних параметрів інструменту.

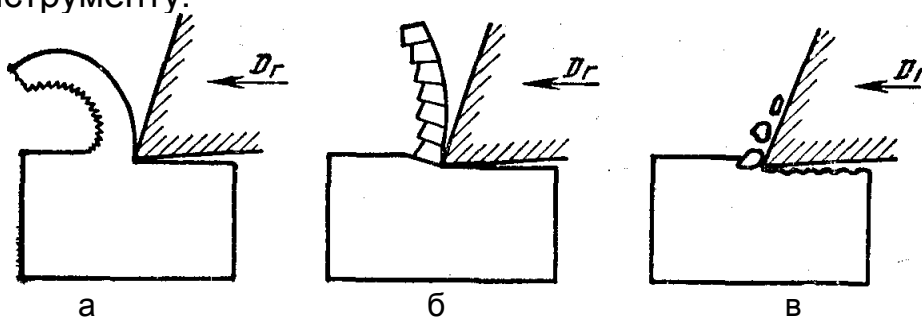


Рис. 2.7. Види стружки: а – зливна; б – сколювання; в – надлому

Зливна стружка (див. рис. 2.7, а) є суцільною стрічкою з гладким блискучим зовнішнім боком і внутрішнім матовим боком із слабо вираженими пилкоподібними щербинами. Вона утворюється в процесі різання пластичних матеріалів при великих швидкостях різання, малій товщині зрізуваного шару й великих передніх кутах інструменту.

Стружка сколювання (див. рис. 2.7, б) із зовнішнього боку гладка, а на внутрішньому має сильно виражені щербини – окремі елементи (елементна стружка) або елементи, з'єднані між собою в стрічку (суглобиста стружка). Така стружка характерна для оброблення матеріалів середньої твердості при малих швидкостях різання, великій товщині зрізуваного шару й невеликих передніх кутах інструменту.

Стружка надлому (див. рис. 2.7, в) утворюється під час оброб-

лення крихких матеріалів. Під дією сили, прикладеної до інструменту, матеріал надломлюється й руйнується. Оброблена поверхня в разі утворення такої стружки виходить шорсткою, з щербинами й вививами.

Змінюючи умови й режим різання, можна одержувати різні види стружки. Наприклад, у міру збільшення швидкості різання більшості вуглецевих і легованих конструкційних сталей стружка сколювання перетворюється на зливну.

Зливна стружка, що утворюється під час оброблення більшості сталей, сходить у вигляді довгих смуг або спіралі. Вона намотується на механізми верстата, інструмент та оброблювану заготовку. Це стає на перешкоді під час експлуатації верстата, може спричинити травмування робітника й пошкодження оброблюваної поверхні. Особливо недопустимою є така стружка в умовах автоматизованого виробництва. У масовому виробництві оптимальною вважають стружку у формі спіралі завдовжки 30...80 мм.

Розроблено низку способів дроблення стружки: регулювання режиму різання й геометричних параметрів різального інструменту; штучне дроблення з допомогою різних пристроїв.

Щоб одержати стійке стружкодроблення, на передній поверхні різця заточують спеціальні фаски (рис. 2.8, а) і канавки вздовж головної різальної кромки (рис. 2.8, б). Наявність фаски або канавки збільшує передній кут γ у місці сходження стружки, що полегшує різання. Стружка сходить крутою спіраллю або ламається на окремі кільця. Можна також використовувати накладні стружколами, які встановлюють на різці (рис. 2.8, в).

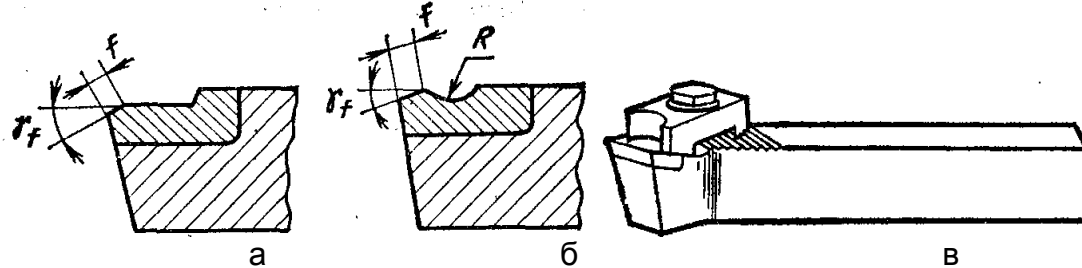


Рис. 2.8. Варіанти дроблення стружки:

а – з допомогою фаски; б – канавки; в – накладного стружколама

Штучне дроблення стружки можна здійснювати й зміненням кінематики процесу різання – накладенням на рівномірний рух подачі осьових вібрацій. Зливна стружка, яку отримують під час звичайного різання, перетворюється на стружку зі змінною товщиною, дробиться на частини й легко видаляється.

2.4. Явище наклепу під час різання

Під час оброблення різанням на інструменті завжди утворюється радіус кривизни вершини леза r_θ (рис. 2.9). Тому на стружку перетво-

рюється лише частина металу, що піддається пружнопластичному деформуванню. Інша частина металу, товщина якої сумірна з радіусом r_ϕ , утворює оброблену поверхню. Після того як різець пройшов відносно обробленої поверхні, відбувається пружне відновлення поверхневого zdeформованого шару на величину h_y – пружну післядію. Унаслідок пружнопластичного деформування підвищуються міцнісні характеристики оброблюваної поверхні (тимчасовий опір, границя плинності, твердість), знижується її пластичність.

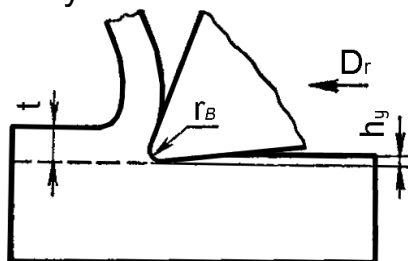


Рис. 2.9. Схема утворення поверхневого шару заготовки

Сукупність змінень зазначених властивостей матеріалу називають зміцненням, або наклепом. Наклеп характеризується глибиною й ступенем $i_H = HV_{нов} / HV_{поч}$, де $HV_{нов}$ і $HV_{поч}$ – мікротвердість відповідно поверхневого зміцненого й початкового матеріалу.

Глибина й ступінь наклепу залежать від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, геометричних параметрів інструменту, радіуса кривизни вершини леза, режиму різання.

Чим м'якішим і пластичнішим є оброблюваний матеріал, тим більшому наклепу він піддається.

Результатом пружнопластичного деформування металу є також взаємно зрівноважені залишкові напруження, що виникають унаслідок нерівномірності пластичного деформування й значного нагрівання поверхневих шарів. Залишкові напруження можуть бути розтяжними й стискальними.

Якщо залишкові напруження за величиною перевищують тимчасовий опір оброблюваного матеріалу, то це може призвести до утворення поверхневих тріщин.

Зміцнення обробленої поверхні корисне в разі чистового оброблення, якщо залишкові напруження будуть стискальними. Проте зміцнення має й негативний наслідок: підвищення твердості поверхневого шару після чорнового оброблення перешкоджає чистовому обробленню, оскільки підвищується ступінь спрацьовування інструменту й збільшується шорсткість поверхні. Зменшити глибину й ступінь наклепу можна шляхом використання мастилохолодної рідини (МОР), збільшенням швидкості різання та за рахунок термооброблення.

2.5. Спрацювання й стійкість інструменту

Спрацювання інструменту під час різання відбувається внаслідок тертя стружки об передню поверхню леза інструменту й задніх поверхонь леза об поверхню заготовки. Тертя відбувається при великому контактному тиску й високих температурах.

Абразивне спрацювання відбувається внаслідок дряпання й стирання окремих ділянок поверхонь інструменту твердими включеннями, які є в оброблюваному матеріалі.

Адгезійне спрацювання відбувається внаслідок дії сил молекулярного зчеплення – адгезії, що виявляється в зчепленні поверхневих шарів матеріалу різального інструменту з оброблюваним матеріалом. Частинки матеріалу вириваються з поверхні інструменту і виносяться зі стружкою.

Дифузійне спрацювання – результат розчинення інструментального матеріалу в оброблюваному. Взаємному дифузійному розчиненню металу інструменту й заготовки сприяють висока температура, великі пластичні деформації й скріплення в контакті. Найбільш активно дифузійному спрацюванню піддаються інструменти з твердих сплавів, що працюють за умов високих швидкостей різання.

Окислювальне спрацювання відбувається внаслідок корозування металів в умовах активного охолодження зони різання й газонасичення; поверхневі шари інструменту руйнуються через утворення оксидів і розтравлення зерен разом зі стиранням.

Усі ці види спрацювання тісно пов'язані між собою й впливають загалом на сумарне спрацювання інструменту. Питома вага кожного із цих видів зносу залежить від властивостей контактних матеріалів та умов взаємодії (насамперед від швидкості різання).

Унаслідок спрацювання (рис. 2.10) на передній поверхні леза інструменту утворюється лунка завглибшки h_d , а на задній поверхні – площадка заввишки h_z , радіальне спрацювання леза інструменту визначається величиною h_p .

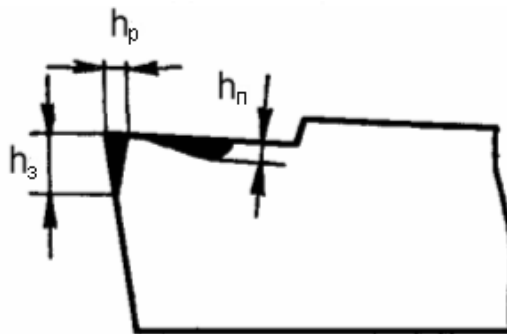


Рис. 2.10. Загальний характер спрацювання різального інструменту

Спрацювання по задніх поверхнях переважає під час оброблення твердих крихких матеріалів, а також пластичних матеріалів з товщиною зрізаного шару, меншою від 0,1 мм, і при низьких швидкостях різання.

Спрацювання по передній поверхні переважає під час оброблення пластичних матеріалів з товщиною зрізаного шару, більшою від 0,5 мм, і при високих швидкостях різання без охолодження.

Спрацювання по задній поверхні токарного різця h_3 відбувається за певною закономірністю (рис. 2.11).

На початку роботи різальна кромка інструменту припрацьовується й дещо скруглюється (*I* – зона початкового спрацювання $h_3 = 0,05...0,1$ мм). Поступово величина спрацювання набуває певного допустимого значення без погіршення чистоти й точності обробки (*II* – зона нормального спрацювання $h_3 = 0,3...0,5$ мм).

Під час подальшої роботи відбувається різке зростання величини спрацювання по задній і передній поверхнях і руйнування різального леза (*III* – зона «катастрофічного» спрацювання).

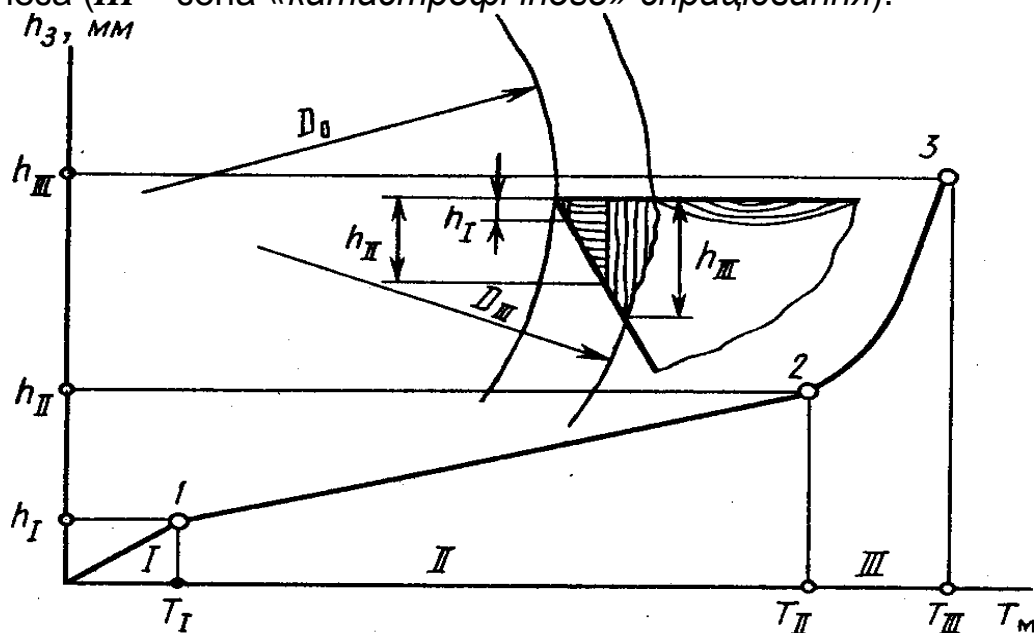


Рис. 2.11. Закономірність спрацювання токарного різця

Зносостійкість інструменту залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного й інструментального матеріалів, геометричних параметрів інструменту, режиму різання. Найбільший вплив на інтенсивність спрацювання має швидкість різання.

У ГОСТ 25751–83 наведено такі поняття й визначення, пов'язані з надійністю різальних інструментів:

– критерій затуплення – це критерій відмови, що характеризується максимально допустимим значенням спрацювання різального

інструменту, після досягнення якого він відмовляє;

– стійкісна відмова – це поступова відмова різального інструменту, що настає після того, як буде досягнутий критерій затуплення;

– точнісна відмова – це поступова відмова різального інструменту, що настає після досягнення розміром, формою або розташуванням обробленої поверхні межі поля допуску;

– період стійкості – це час різання новим або відновленим різальним інструментом від початку різання до відмови.

Зносостійкість інструменту характеризується періодом стійкості T , хв, протягом якого спрацювання досягає максимального допустимого значення, яке визначається як критерій затуплення. Якщо спрацювання інструменту за значенням дорівнює критерію затуплення, інструмент необхідно переточити.

За *критерій затуплення* беруть таке: під час точіння й фрезерування заготовок – спрацювання по задній поверхні різального леза різця або фрези; під час відрізання й прорізання канавок – спрацювання по кутах різця; під час оброблення отворів і нарізування різи – спрацювання різальної частини інструменту по перемичці, кутах, задній поверхні та стрічці.

Для чистової обробки визначено так званий *технологічний критерій затуплення*. Інструмент вважають спрацьованим, коли шорсткість обробленої поверхні й точність її розмірів перестають відповідати заданим технічним умовам.

Контрольні запитання

1. Назвіть конструктивні елементи різального інструменту.
2. Які поверхні характеризують процес оброблення різальним інструментом?
3. Які кути інструменту розглядають у головній січній площині?
4. Назвіть кінематичні елементи інструменту під час оброблення різанням.
5. Які складові має сила різання?
6. Назвіть основні види стружки й способи, які забезпечують стійке дроблення стружки.
7. Від чого залежить глибина й ступінь наклепу під час різання?
8. Які види спрацювання інструменту є наявними під час оброблення різанням?
9. Який параметр беруть за критерій спрацювання інструменту?

3. БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК І ВЕРСТАТНІ ПРИСТРОЇ

3.1. Базування заготовок під час оброблення

Терміни й означення основних понять базування і баз викладено в ГОСТ 21495-76 і ДСТУ 2232-93.

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

База – поверхня, вісь, точка, що належать заготовці або виробу й 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 й допоміжні. Основна конструкторська база призначена для визначення положення даної деталі, а допоміжна – для визначення положення деталі, що приєднується до цієї деталі.

Технологічною називається база, що використовується для задання положення заготовки або виробу під час виготовлення або ремонту.

Вимірювальні бази використовуються для знаходження відносного положення заготовки або виробу й засобів вимірювання.

Незалежно від призначення бази класифікуються також за характером прояву на приховані і явні і за позбавленням ступенів вільності базової деталі або складальної одиниці заготовки на напрямні, опорні, подвійні напрямні й подвійні опорні.

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

3.1.1. Комплект баз призматичної й циліндричної заготовок

Спрощено вважають, що контакт стичних тіл відбувається в опорних точках, які символізують кожний 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* називають сукупність трьох баз, які утворюють систему координат заготовки.

Деталі літаків, вертольотів і ЛА, які виготовляються з використанням розмірної обробки різанням, переважно мають складну геометричну форму. Однак на деталях можна виділити характерні геомет-

ричні поверхні – плоскі, циліндричні, конічні та ін. Для прикладу розглянемо комплект баз призматичної (рис. 3.1) і циліндричної заготовок (рис. 3.2).

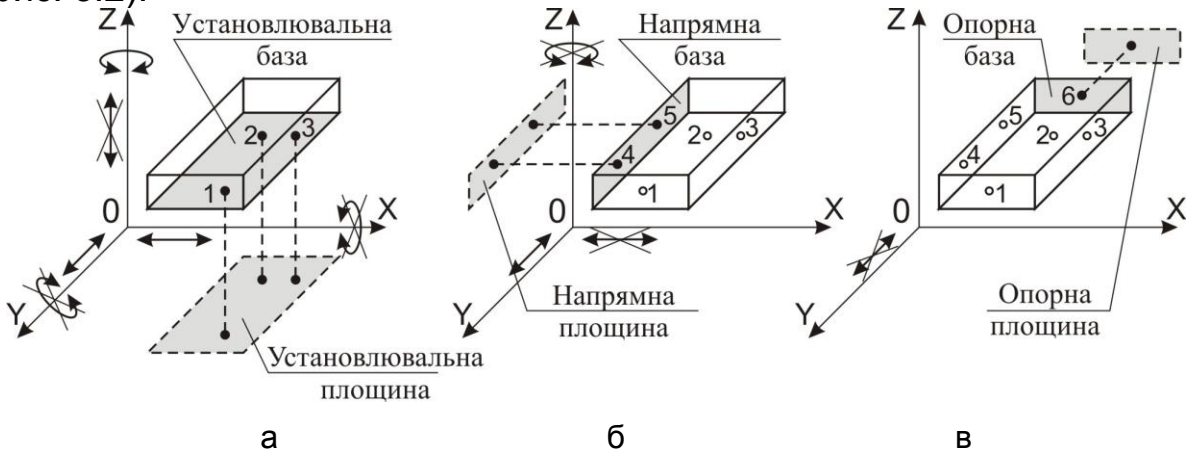


Рис. 3.1. Комплект баз призматичної заготовки:
а – установлювальна; б – напрямна; в – опорна

Щоб позбавити призматичну заготовку трьох ступенів вільності (можливості переміщення вздовж 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 (див. рис. 3.1, а).

Базу, яка використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її трьох ступенів вільності (можливості переміщення вздовж однієї координатної осі й обертання навколо двох інших осей), називають *установлювальною*.

Для позбавлення заготовки ще двох ступенів вільності (можливості переміщення вздовж осі X й обертання навколо осі Z) необхідно зв'язати її бічну поверхню з площиною YOZ двома жорсткими двосторонніми зв'язками 4, 5 (див. рис. 3.1, б).

База, яка використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її двох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі й обертання навколо іншої), має назву *напрямної*.

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 (див. рис. 3.1, в).

Базу, що використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її одного ступеня вільності (можливості переміщення вздовж однієї координатної осі або обертання навколо цієї самої осі), називають *опорною*.

Як установлювальну базу для призматичних заготовок рекомендується вибирати поверхню з максимальними габаритними розміра-

ми, як напрямну – поверхню з найбільшою довжиною, а як опорну базу – найкоротшу поверхню заготовки.

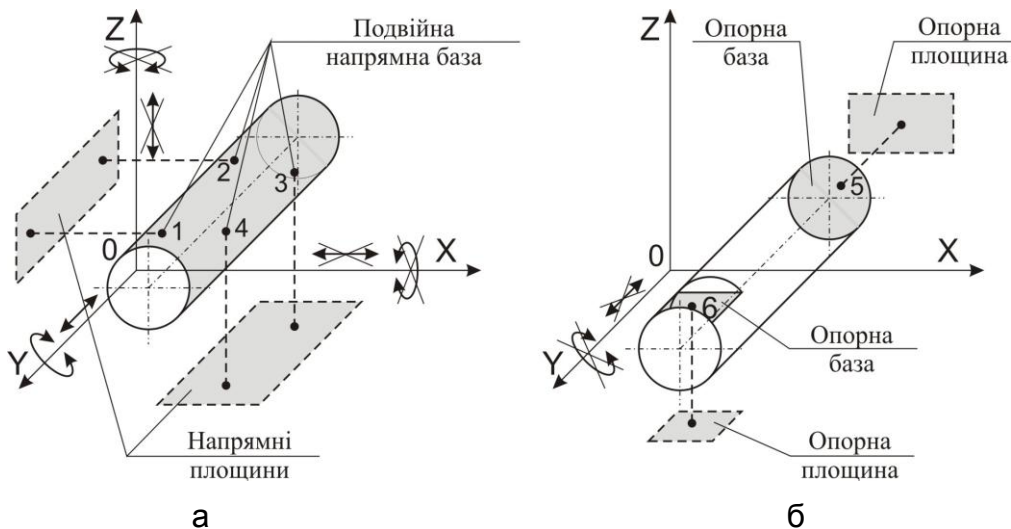


Рис. 3.2. Комплект баз циліндричної заготовки:
а – подвійна напрямна; б – опорні

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 обертання навколо цих осей (див. рис. 3.2, а).

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

Щоб позбавити циліндричну заготовку можливості переміщатися вздовж осі Y , необхідно з'єднати її торець зв'язком 5 із площиною XOZ (див. рис. 3.2, б). Для забезпечення певного положення заготовки відносно власної осі має бути передбачений зв'язок 6 у вигляді опорної точки, що розташовується на поверхні, наприклад, шпонкової лиски. Площини заготовки, що мають по одній опорній точці, відповідно до раніше наведеного означення є опорними базами.

3.2. Класифікація верстатних пристроїв

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

Призначення верстатних пристроїв:

- установлення оброблюваних заготовок під час виконання операцій відповідно до вимог технологічного процесу;
- підвищення точності та якості обробки поверхонь, що забезпечується шляхом правильного базування, надійного закріплення заготовки й надання їй більшої жорсткості в процесі обробки;

– підвищення продуктивності праці, що досягається за рахунок усунення розмітки заготовок перед обробкою, вивіряння заготовок під час встановлення та скорочення штучного часу на всіх технологічних операціях механічної обробки.

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

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

Універсальними називають пристрої для встановлення заготовок різної конструкції в 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 заготовок одного типорозміру. Вони застосовуються для встановлення конкретної заготовки під час виконання 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, у яких закріплення й розкріплення заготовки виконуються вручну;

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

– напівавтоматичні, у яких заданий алгоритм функціонування частково виконується за участю людини;

– автоматичні, у яких заданий алгоритм функціонування виконується без участі людини.

За типами верстатів пристрої поділяють на токарні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні тощо.

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

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

Усі елементи можна об'єднати в такі основні групи: установлювальні, затискні, напрямні, корпуси. Елементи групи відрізняються один від одного не тільки розмірами, а й конструктивним виконанням. Залежно від призначення конструкція пристрою може складатися з усього комплексу елементів або тільки з окремих груп елементів.

Проектують елементи з урахуванням вимог, що ставлять до них залежно від функції, що ними виконується. Це дає можливість застосовувати загальні методи проектування для кожної окремої групи елементів.

3.2.1. Установлювальні елементи пристроїв

Під час установлення заготовка має бути правильно зорієнтована відносно робочих органів верстата. Орієнтування заготовки здійснюється шляхом її базування відповідно до правила шести точок.

Для базування заготовок використовуються встановлювальні елементи пристроїв, що жорстко з'єднані з корпусом пристрою. Установлювальні елементи – це опорні штирі, пластини, кільця, втулки, пальці, призми.

Конструкції опорних штирів стандартизовані й мають назву «опори постійні». Опори з плоскою головкою (рис. 3.3, а) застосовують для чистового базування попередньо оброблених плоских поверхонь, зі сферичною й нарізною головками – для чорнового базування.

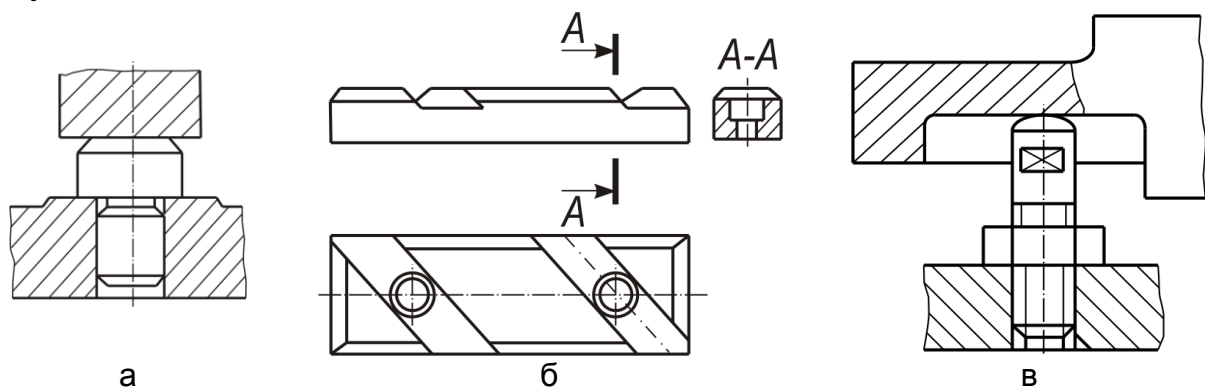


Рис. 3.3. Установлювальні елементи для призматичних заготовок

Базування за допомогою *опорних пластин* – найбільш поширений спосіб орієнтування оброблюваних площин заготовки. Опорні пластини виготовляють двох типів: плоскі та з косими пазами (рис. 3.3, б). В останніх опорні поверхні легше очищуються від стружки, тому їх слід застосовувати для встановлення в горизонтальній площині, а плоскі – на бічних поверхнях.

Базування заготовки в пристрої забезпечується основними встановлювальними елементами, що ж стосується застосування до-

даткових елементів, то вони не беруть участі в базуванні, але дають можливість надати заготовці більшої стійкості й жорсткості. Це *рухомі опори*, які підводяться до заготовки після базування її на основних опорах (рис. 3.3, в). Установлення *на пальці* за двома отворами й площиною застосовується для оброблення заготовок типу корпусів, плит. Перевагами цієї схеми базування є простота конструкції пристрою, можливість додержання принципу сталості баз для більшості операцій.

Конструктивно розрізняють такі способи базування: установлення на два циліндричних пальці; установлення на один циліндричний і один зрізаний палець (рис. 3.4). Межі застосовності цих сполучень визначаються точністю діаметрів базових отворів та їх взаємного розташування, точністю відносних відстаней, що витримуються під час виконання операції, та кутів повороту оброблюваних поверхонь.

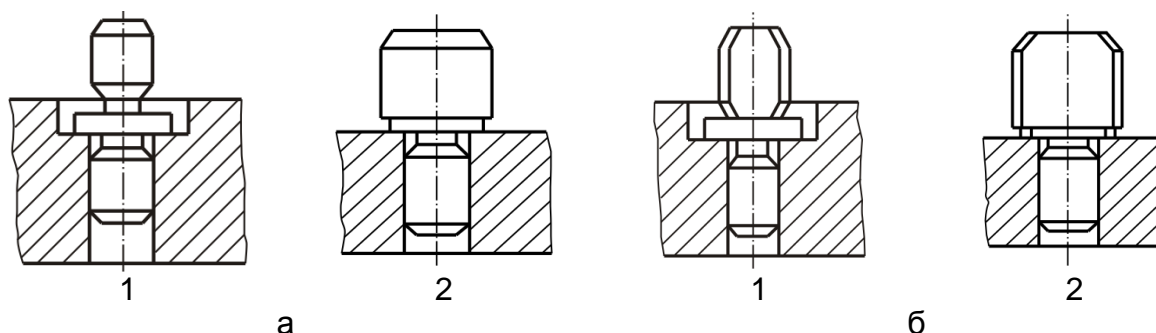


Рис. 3.4. Установлювальні елементи для циліндричних заготовок:

а – циліндричний палець; б – зрізаний палець; (1 – $D < 10$ мм; 2 – $D = 10 \dots 16$ мм)

Для базування циліндричних заготовок переважно застосовують *призми* – установлювальні 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 суміщення її з віссю кутового паза. Віссю кутового паза вважають вісь, проведену через точку перетинання робочих площин перпендикулярно до площини основи призми.

У верстатних пристроях використовуються призми з кутами α , такими, що дорівнюють 60° , 90° і 120° . Найбільшого поширення набули призми з $\alpha = 90^\circ$. Для встановлення заготовок з чисто обробленими базами застосовують призми з широкими опорними поверхнями, а для чорнових баз – з вузькими.

3.2.2. Методика проектування верстатних пристроїв

Для проектування верстатного пристрою конструктор повинен мати такі вихідні матеріали:

- робочі креслення деталі й початкової заготовки;
- операційну карту з ескізом оброблюваної заготовки для даної операції зі схемою базування й закріплення;

- операційні карти попередніх операцій оброблення базових поверхонь, використання яких передбачено в даній операції;
- річний обсяг випуску деталей;
- паспортні дані верстата, для якого проектується пристрій.

Проектування верстатного пристрою здійснюється в такій послідовності:

- вивчають вихідні матеріали й розробляють варіанти конструктивних схем пристрою;
- виконують техніко-економічні розрахунки з обґрунтуванням оптимального варіанта пристрою;
- розробляють конструкції оптимального варіанта пристрою.

До технічних належать розрахунки на точність виконуваних геометричних параметрів заготовок і на надійність їх закріплення в пристрої. Економічні розрахунки полягають в оцінюванні доцільності застосування даного пристрою й визначенні його продуктивності.

Технічні розрахунки починають з оцінювання пристрою на точність. Якщо пристрій не відповідає вимогам щодо точності обробки, то цей варіант для виробництва є непридатним.

Наступним етапом є розрахунок надійності закріплення заготовки. Після визначення потрібної сили закріплення заготовки остаточно вибирають конструкції затискного пристрою й приводу.

Розроблення конструкції верстатного пристрою здійснюється в певній послідовності. Спочатку тонкими лініями креслять контур оброблюваної заготовки в проекційному зв'язку. Проекції розташовують на такій відстані одна від одної, щоб було достатньо місця для розміщення відповідних елементів пристрою.

Потім на проекціях заготовки креслять установлювальні й затискні елементи, а якщо пристрій має напрямні елементи, то їх теж наносять на креслення. Після цього оформляють конструкцію корпусу пристрою.

Загальний вигляд пристрою зображують у робочому положенні з усіма необхідними проекціями, перерізами й розрізами, що дає можливість уявити конструкцію всіх елементів пристрою в цілому, а також їхній взаємозв'язок. Загальний вигляд пристрою креслять переважно в масштабі 1:1. На складальному кресленні верстатного пристрою проставляють габаритні, установлювальні (посадкові) та приєднувальні розміри, а також розміри напрямних елементів. Приєднувальні розміри визначають поверхні, що зв'язують пристрій з верстатом.

3.3. Система універсально-збірних пристроїв

Універсально-збірними (УЗП) називають пристрої, які збирають з комплекту стандартизованих елементів – деталей, вузлів, механізмів. Елементи УЗП – універсальні, а зібраний пристрій стає спеціальним,

оскільки він призначений для встановлення конкретної заготовки на виконуваний операції. Після оброблення заданої кількості заготовок пристрій розбирають і його елементи використовують для компонування інших пристроїв. Таким чином, елементи УЗП використовуються багаторазово для збирання пристроїв. Цей клас пристроїв широко застосовується в одиничному й дрібносерійному виробництві.

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

Номенклатуру комплексу елементів УЗП поділено на п'ять груп:

1. *Базові деталі* – квадратні, прямокутні й круглі плити, конусні оправки, косинці, кільця. Конструктивною особливістю цих деталей є наявність на їхніх робочих поверхнях сітки із Т-подібних і шпонкових пазів.

2. *Корпусні деталі* – косинки, підкладки, клини, планки. Деталі цієї групи призначені для утворення корпусу пристрою, можуть виконувати функції базових деталей або використовуватися як з'єднувальні елементи. Вони також мають Т-подібні пази.

3. *Установлювально-напрямні деталі* – шпонки, штирі, пальці, призми, кондукторні втулки, центри. Призначені для виставлення та фіксації корпусних деталей УЗП відносно базових, а також для регулювання виконавчих розмірів пристрою, базування заготовок і напямлення різального інструменту.

4. *Кріпильно-притискні деталі* – прихоплювачі та планки, болти, гвинти, шпильки, гайки, шайби. Використовуються для з'єднання елементів пристрою й закріплення в пристрої заготовок.

5. *Складальні одиниці* – поворотні головки, опори, кронштейни, центрові бабки, затискачі. Застосовуються для монтажу більш раціональних і компактних УЗП з мінімальною кількістю корпусних, кріпильно-притискних та інших деталей.

Номенклатурний і кількісний склад комплексу УЗП залежить від обсягу продукції, що випускається, і становить 4–20 тис. елементів.

На практиці виявлено, що в процентному відношенні склад деталей комплексу УЗП приблизно має такий вигляд: базові – 1 %; корпусні – 15 %; установлювальні – 22 %; напрямні – 4 %; притискні – 5 %; кріпильні – 53 %.

На відміну від спеціальних пристроїв система УЗП виключає додаткове допрацьовування в процесі збирання пристроїв, оскільки елементи УЗП виготовляють з підвищеною точністю лінійних і кутових розмірів та міжцентрових відстаней. Основні лінійні й кутові розміри

базових і корпусних деталей виконують за квалітетом точності *IT 6*. Допуски на відхилення від паралельності та перпендикулярності робочих площин, осей отворів, Т-подібних і шпонкових пазів відповідають квалітету точності *IT 5*. Елементи УЗП розраховані на тривалий термін експлуатації – до 15 років.

Вихідними даними для конструювання УЗП є метод обробки, креслення деталі, операційний ескіз обробки заготовки, тип верстата й кількість деталей, що одночасно оброблюються в пристрої.

Процес створення УЗП складається з розроблення монтажної схеми пристрою відповідно до вимог ТП, збирання пристрою зі стандартизованих елементів, подальшого регулювання виконавчих розмірів напрямних елементів.

Процес збирання УЗП починають з вибору базової плити, розміри якої мають забезпечити встановлення на її робочій поверхні деталей і складальних одиниць, що беруть на себе основне навантаження від сил різання. Потім на базовій плиті встановлюють елементи базування й затискання заготовки, прямокутні опори, на яких закріплюють напрямні планки з кондукторними втулками. Наявність заготовки деталі істотно спрощує збирання УЗП.

З метою накопичення досвіду й полегшення повторного збирання компоновку УЗП, що пройшла експлуатаційну перевірку, фотографують та оформляють альбом.

Порівняно з циклом виготовлення спеціальних верстатних пристроїв цикл збирання УЗП у 40–50 разів коротший і має в 10–15 разів нижчу трудомісткість.

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію баз за призначенням.
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 покладено в основу конструкції прихоплювачів?
7. Назвіть функції, які виконуються кондукторними втулками верстатних пристроїв.
8. Які конструктивні елементи розміщують на корпусі верстатного пристрою?
9. Чому система УЗП виключає додаткове допрацьовування в процесі збирання верстатних пристроїв?
10. У чому полягають переваги й недоліки використання УЗП?

4. ПІДГОТОВЧІ ОПЕРАЦІЇ ОБРОБЛЕННЯ

У заготовочному відділенні або цеху прокат у вигляді прутків піддають правленню, обдиранню, розрізанню, центруванню. Поковки й штамповки також проходять підготовчі операції: фрезерування й центрування торців, обдирання й попереднє обточування отворів. Підготовчі операції оброблення для прутків зазвичай виконують у такому порядку: правлення; безцентрове обдирання; розрізання; центрування.

4.1. Правлення монолітних заготовок

Монолітні заготовки у вигляді поковок і штамповок зі значними розмірами правлять у нагрітому стані під молотами, прутки – у холодному стані на пресах з допомогою призм. Заготовки заздалегідь перевіряють у центрах і визначають місця, що підлягають правленню.

Прутки круглого перерізу правлять на спеціальних правильних верстатах (рис. 4.1).

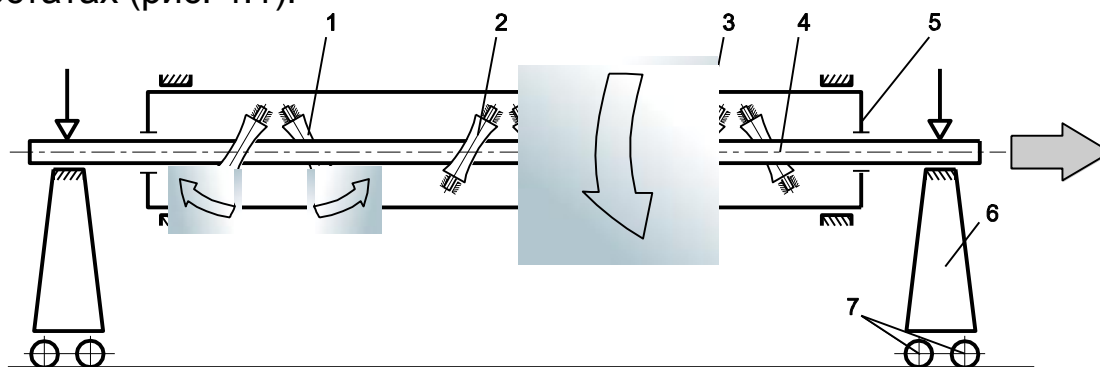


Рис. 4.1. Схема правильного верстата

Правлення здійснюється трьома парами роликів 1, 2, 3 з увігнутою поверхнею. Ролики 1 подають пруток 4, установлений на спеціальних стояках 6 з роликами 7. Усі три пари роликів розташовані в барабані 5 під кутом 70° до його осі. Під час обертання барабана ролики обкочуються навколо прутка і здійснюють процес його правлення. Швидкість подачі прутка становить від 5 до 30 м/хв залежно від швидкості обертання барабана, точність правлення – від 0,1 до 0,2 мм на 1 м довжини прутка.

4.2. Обдирання прутків

Для обдирання прутків діаметром 15...80 мм і завдовжки до 7 м застосовують безцентрово-обдирні верстата. Процес оброблення на таких верстатах відбувається таким чином. Центральне зубчасте колесо, що приводиться в рух електродвигуном, обертає дві різцеві головки. Одна головка з різцем здійснює чорнове обдирання, друга – напівчистове. Пруток подають два ролики, що мають велику насічку. Залежно від частоти обертання роликів швидкість руху подачі прутка становить 175...600 мм/хв.

4.3. Розрізання прутків, валів, труб

Прутки й вали розрізають на привідних ножівках, пилках (дискових, стрічкових, фрикційних), токарно-відрізних верстатах або абразивним кругом.

На *привідних ножівках* прутковий матеріал розрізається ножівковим полотном, яке здійснює під деяким тиском зворотно-поступальний рух від механічного приводу.

Різальні кромки зубів ножівкового полотна спрямовані у бік розрізання. Полотно притискається до розрізуваного матеріалу тільки під час робочого ходу, а під час зворотного ходу піднімається гідравлічним механізмом. Унаслідок цього тертя зубів об матеріал під час зворотного ходу виключене, спрацювання полотна зменшується, а продуктивність ножівки збільшується.

Дискові пилки виготовляють збірними. Конструктивно дискова пилка – це диск з вуглецевої сталі зі вставними зубцями або приклепанними зубчастими сегментами з швидкорізальної сталі. Дисковою пилкою прутки розрізають по одному або пакетом.

У міру заглиблення пилки в матеріал площа перерізу заготовки постійно змінюється, унаслідок чого в разі рівномірного подання пилки відбувається змінення сили різання. Змінне значення величини подачі в кожний момент часу відповідає величині площі розрізуваного перерізу, так що верстат завжди працює при однаковій силі різання.

Стрічкові пилки мають форму стрічки завтовшки 1,0...1,5 мм. Стрічкові пилки застосовуються головним чином для розрізання прутків з кольорових металів.

Фрикційна пилка є тонким сталевим диском, який під час подання й обертання внаслідок тертя, що виникає, нагріває частинки металу в прорізі до температури плавлення. Розплавлений метал видаляється з прорізу диском, який охолоджується повітрям і водою. Для збільшення тертя на поверхні диска передбачено густу насічку.

Електрична фрикційна пилка розрізає матеріал шляхом одночасної роботи фрикційної пилки й вольтової дуги. Обертовий диск під'єднано до одного полюса генератора, а розрізуваний матеріал – до іншого, при цьому утворюється вольтова дуга. Метал у прорізі плавиться, а обертовий диск тільки видаляє розплавлений метал.

Відрізні верстати призначені для розрізання в довжину круглих і шестигранних прутків, а також труб.

Серійно випускаються відрізні верстати, забезпечені двома супортами – переднім і заднім. У цих верстатах працюють одночасно два різці, завдяки чому їхня продуктивність підвищується.

Продуктивність відрізних верстатів підвищується також завдяки пристрою, який регулює швидкість різання й підтримує її постійною. У верстатах з постійною швидкістю різання в міру наближення різців до осі прутка частота обертання шпинделя верстата збільшується, що прискорює виконання операції.

4.3.1. Розрізання заготовок абразивними кругами

Розрізання заготовок абразивними кругами доцільне, якщо потрібно розділити матеріали з важкооброблюваних жароміцних і титанових сплавів, дисперсійно-тверднучих сталей, коли використання стрічкових або дискових пилок неможливе.

Розрізняють такі схеми роботи абразивно-відрізних верстатів (рис. 4.2):

1. *Маятникова* (див. рис. 4.2, а). Шпиндель з кругом установлюють на одному кінці важеля (качалки), а двигун з приводом шпинделя – на іншому. Важіль повертають відносно нерухомої осі на кут, необхідний для розрізання прутка, профілю або труби. Максимальний діаметр заготовки – 100 мм.

2. *З коливним рухом круга* (див. рис. 4.2, б). Крім обертання й поступального руху подачі на розрізуваний матеріал відрізний круг здійснює зворотно-поступальний рух. За рахунок зменшення довжини дуги контакту круга з розрізуваною заготовкою знижується температура в зоні різання, і якість торців відрізуваних заготовок підвищується.

3. *З обертанням круга й відрізуваної заготовки* (див. рис. 4.2, в). Відрізний круг подають тільки до центра заготовки з прокату й на товщину стінки під час відрізання заготовки з труби, тому максимальний діаметр заготовки збільшується до 700 мм.

4. *З обертанням і поздовжнім переміщенням круга* (див. рис. 4.2, г). Тонкі листи й плити відрізають за один робочий хід, товсті – за декілька робочих ходів з глибиною різання від 3 до 6 мм. Довжина розрізуваних плит – до 6000 мм, товщина – до 200 мм. Відрізання заготовок можливе як поштучно, так і пакетом. Продуктивність абразивного відрізування становить від 0,8 до 15 см²/с. Режим різання: швидкість різання кругів – 50...80 м/с, швидкість подачі – 60...2500 мм/хв.

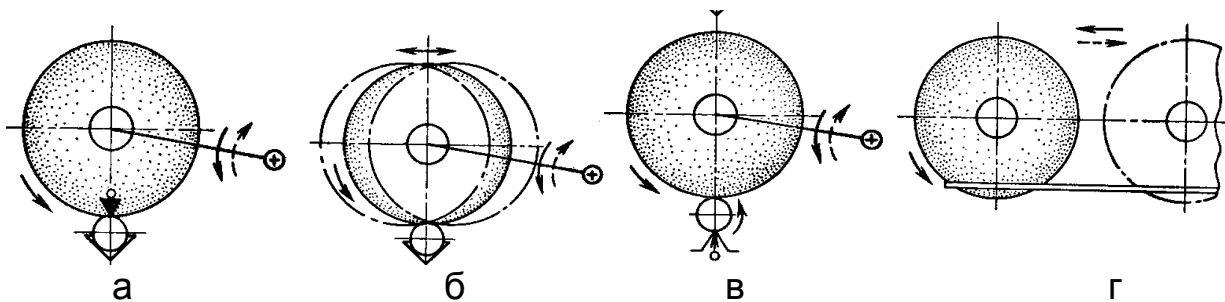


Рис. 4.2. Схеми роботи абразивно-відрізних верстатів

Круги з електрокорунду застосовують для відрізання сталевих заготовок, круги з карбіду кремнію – для відрізання заготовок з титанових сплавів і неметалічних матеріалів.

Розрізання листів, плит, прутків, труб та інших заготовок з високоміцних сплавів здійснюється електрофізичними методами – анодно-механічним, лазерним і плазмовим.

4.4. Центрування заготовок

Центрові отвори в деталях на зразок валів є базою для низки операцій: обточування, нарізування різі, шліфування, нарізування шліців, а також для перевірки виготовлюваних деталей.

Для центрування заготовок застосовуються спеціальні комбіновані (свердлення й зенкування) центрувальні свердла діаметром від 1 до 10 мм з кутом конуса 60° , а також свердла, що мають подвійний конус (свердлення, зенкування й утворення фаски) з кутами 60° і 120° .

Заготовки центрують на свердлильних, токарних і револьверних верстатах, а в серійному і масовому виробництві – на спеціальних двосторонніх центрувальних верстатах, а також на фрезерно-центрувальних верстатах (рис. 4.3). Центрування великих заготовок здійснюють на горизонтально-свердлильних верстатах.

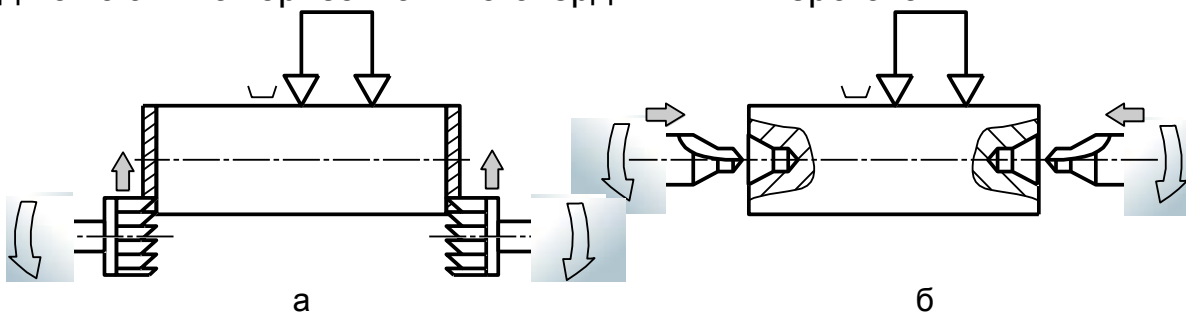


Рис. 4.3. Схема роботи фрезерно-центрувального верстата

Фрезерно-центрувальні верстати працюють за такою схемою:

– на позиції «завантаження – вивантаження» заготовку встановлюють в лещата з самоцентрувальними призматичними губками;

– на першій позиції фрезерують одночасно обидва торці заготовки (рис. 4.3, а);

– на другій позиції свердлять центрові отвори (рис. 4.3, б).

Контрольні запитання

1. Назвіть види підготовчих операцій.
2. Перелічіть методи розрізання прутків, валів, труб.
3. Наведіть схеми розрізання заготовок абразивними кругами.
4. На якому устаткуванні центрують заготовки?
5. Опишіть принцип роботи фрезерно-центрувальних верстатів.

5. ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ТОЧІННЯМ

5.1. Призначення й основні види точіння

Токарна обробка широко застосовується під час виготовлення тіл обертання складної форми й підвищеної точності з різних конструкційних матеріалів.

За характером обробки розрізняють такі *види точіння*:

– чорнове – видалення дефектних шарів заготовок, розрізання, відрізання й підрізування торців заготовок, зрізання поверхневої «ірки» й основної (до 70 %) частини припуску на обробку;

– напівчистове – знімання від 20 до 25 % припуску; шорсткість $R_z = 40 \dots 20$, точність 10 – 11-го квалітетів; заготовка набуває форми, близької до форми деталі;

– чистове – шорсткість $R_z = 20 \dots 1,25$, точність 7 – 9-го квалітетів; деталь набуває остаточної форми й розмірів;

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

Точіння можна здійснювати за різними схемами різання (див. рис. 2.2): вільне ортогональне – наприклад, для обточування заготовок на зразок дисків з поперечною подачею; косокутне – найпоширеніша схема точіння; невольне – відрізання, проточування канавок, фасонне точіння.

Для точіння важкооброблюваних матеріалів застосовують *спеціальні технологічні* методи: точіння зі штучним підігріванням або глибоким охолодженням заготовки; віброточіння з наведенням високочастотних або ультразвукових коливань на різець; точіння в різних технологічних середовищах і вакуумі.

5.1.1. Способи токарного оброблення

Точіння здійснюється токарними різцями на різних токарних верстатах.

Різець за ГОСТ 25751–83 – це однолезовий інструмент для оброблення з поступальним або обертальним головним рухом різання й можливістю руху подачі в будь-якому напрямі.

Основні операції токарного оброблення: обточування, відрізання, підрізування торців, проточування зовнішніх канавок, фасонне обточування, розточування внутрішніх поверхонь і проточування канавок, знімання фасок, нарізування зовнішньої й внутрішньої різі різцем та ін.

Схему точіння циліндричних поверхонь й основні елементи рухів

під час токарного оброблення показано на рис. 2.3, а.

Способи точіння конічних поверхонь. Для утворення конічної поверхні різець має переміщатися під заданим кутом до осі обертання заготовки. Невеликий кут конусності α можна одержати, якщо зсунути центр 3 закріплення заднього кінця заготовки 1 на токарному верстаті (рис. 5.1, а). Величину зсуву визначають шляхом розрахунку.

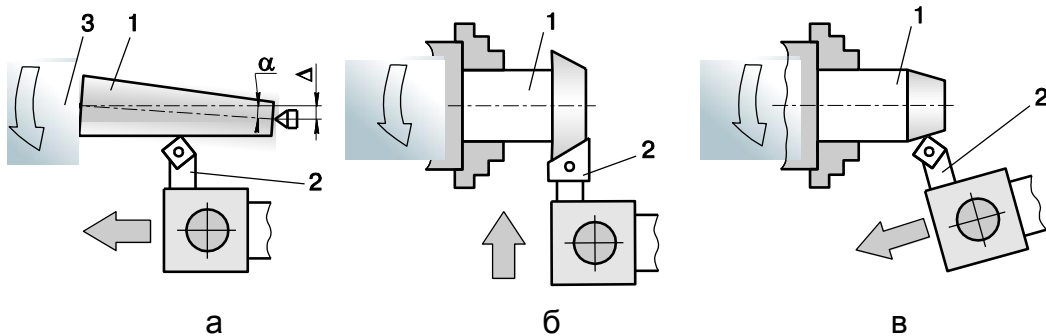


Рис. 5.1. Способи точіння конічних поверхонь

Короткі конічні поверхні можна обробляти широким різцем з поперечною подачею (рис. 5.1, б).

Під час оброблення конічних поверхонь з великим кутом напрям руху різця 2 змінюють, повертаючи верхню частину супорта (рис. 5.1, в).

Способи точіння фасонних поверхонь. Один із поширених способів – точіння з поперечною подачею фасонного різця 2, що має профіль контуру деталі 1 (рис. 5.2, а).

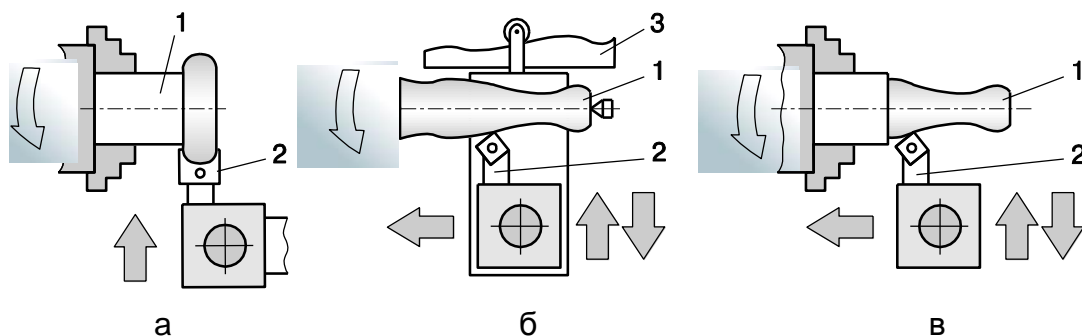


Рис. 5.2. Способи точіння фасонних поверхонь

Фасонні поверхні великої довжини обробляють з допомогою копіра 3, який при постійній поздовжній подачі інструменту 2 переміщується в поперечному напрямі відповідно до профілю копіра (рис. 5.2, б). Верстати з ЧПК дозволяють задавати траєкторію інструменту, змінюючи величину подач по двох осях – поздовжній і поперечній одночасно (рис. 5.2, в).

Способи токарного оброблення внутрішніх поверхонь зображено на рис. 5.3:

- розточування циліндричної поверхні 1 з поздовжньою подачею різця 2 (див. рис. 5.3, а);
- прорізання канавки 1 прямокутного або фасонного профілю з поперечною подачею різця (див. рис. 5.3, б);
- свердлення отвору 1 інструментом 2 з поздовжньою подачею (див. рис. 5.3, в);
- нарізування різі 1 різцем 2 (див. рис. 5.3, г) і мітчиком 2 (див. рис. 5.3, д).

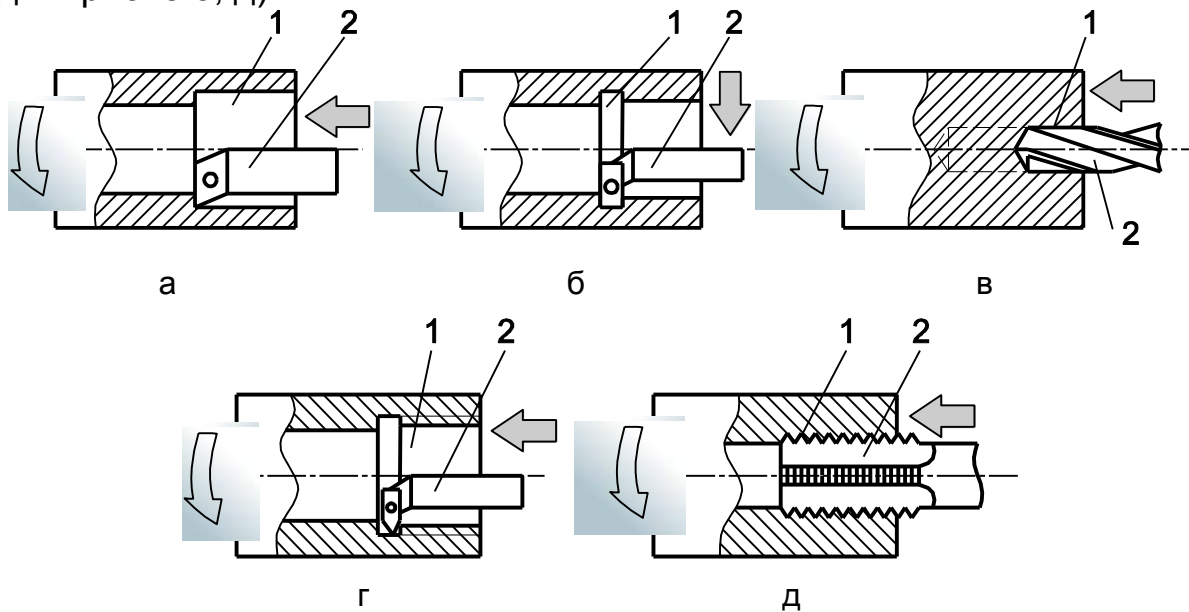


Рис. 5.3. Способи токарного оброблення внутрішніх поверхонь

Щоб одержати задану точність різі, необхідно забезпечити жорсткий кінематичний зв'язок шпинделя з різцем. Щоб прорізати западину різі на повну глибину, потрібно виконати декілька робочих ходів, заглиблюючи з кожним ходом різець у заготовку.

Інші види токарного оброблення. Використовуються такі види токарного оброблення за рахунок пластичного деформування поверхневих шарів заготовки: накатування рифлень спеціальним роликком (рис. 5.4, а) і обкочування поверхні деталі гладким роликком (рис. 5.4, б) для її зміцнення й зменшення шорсткості.

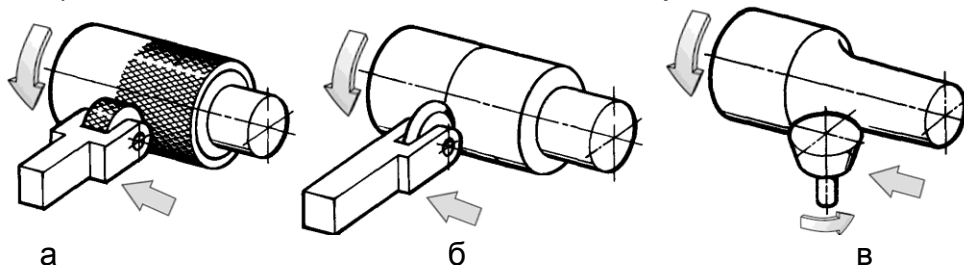


Рис. 5.4. Токарне оброблення: а, б – поверхневим пластичним деформуванням; в – обертним інструментом

На токарних верстатах можна також обробляти поверхні за рахунок складних кінематичних зв'язків робочих органів верстата.

Точіння обертним інструментом (рис. 5.4, в) здійснюється шляхом трьох узгоджених між собою рухів: обертання шпинделя із заготовкою, поздовжнього переміщення супорта з інструментом й обертання інструменту. У процесі обертання фасонний інструмент ніби ковтається по оброблюваній поверхні.

5.2. Типи токарних різців

Велика кількість різних технологічних операцій, які виконуються на токарних верстатах, зумовлює різноманіття конструкцій використовуваних різців.

За конструктивно-технологічними ознаками токарні різці поділяють на такі типи (рис. 5.5):

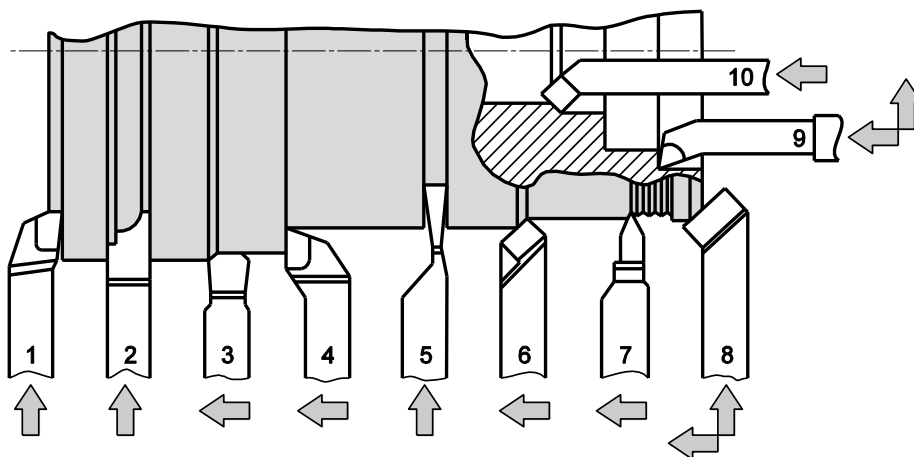


Рис. 5.5. Основні типи токарних різців

– за *призначенням* – прохідні 6, 8 і прохідні упорні 4, подрізні 1, відрізні й прорізні 5, розточувальні 10, 9, фасонні 2, різьбові 7, різці для чистового оброблення 3;

– за *напрямом руху* – праві 6 і ліві, радіальні й тангенціальні;

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

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

Тип конструкції різця вибирають, ураховуючи комплекс технологічних та економічних показників (характер операції, властивості матеріалів, геометричні параметри інструменту).

5.2.1. Геометричні параметри токарного різця

Токарний різець (рис. 5.6, а) складається з робочої частини Г і корпусу К (стрижень, державка, хвостовик) для закріплення на верс-

таті й 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 й головної задньої поверхонь різця. Перетин передньої й задньої допоміжної поверхонь утворює допоміжну різальну кромку.

Місце перетину головної й допоміжної різальних кромок є вершиною різця.

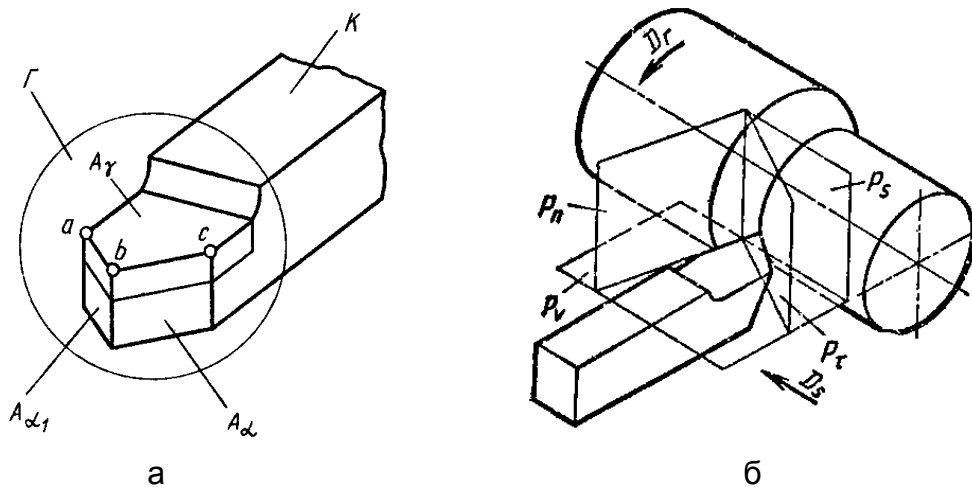


Рис. 5.6. Елементи та координатні площини токарного різця

Сукупність кутів, що визначають положення граней різця відносно координатних площин, називають *геометрією інструменту*. Величину кутів вибирають залежно від типу різця, матеріалів різця й оброблюваної заготовки, урахуваючи умови роботи інструменту.

Для відліку кутів токарного різця використовують такі початкові площини (рис. 5.6, б): основна площина P_v , площина різання P_n (визначення для яких наведено в підрозд. 2.1), а також головна P_s і допоміжна P_τ січні площини.

Основна площина P_v паралельна до векторів поздовжньої й поперечної подач. Біля токарних різців основна площина P_v збігається з опорною площиною корпусу різця.

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

Головна січна площина P_s перпендикулярна до проекції головної різальної кромки на основну площину, а допоміжна січна площина

P_τ перпендикулярна до проекції допоміжної різальної кромки на основну площину.

На рис. 5.7 показано токарний різець і заготовку в проекції на основну площину: P_n – слід площини різання; P_v – слід площини, паралельної до основної площини; I – оброблювана поверхня; II – оброблена поверхня; R – поверхня різання. Головні кути різця (γ, α, β) розглядають у головній січній площині $N-N$, а допоміжні кути ($\gamma_I, \alpha_I, \beta_I$) – у допоміжній січній площині N_I-N_I .

Щоб визначити 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 й площиною різання (його вимірюють у головній січній площині, на рис. 4.7 це площина $N-N$);

– *допоміжний задній кут* α_I – кут між допоміжною задньою гранню й площиною, що проходить через допоміжну різальну кромку перпендикулярно до основної площині P_v , (його вимірюють у допоміжній січній площині, на рис. 5.7 це площина N_I-N_I);

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

– *головний кут у плані* φ – кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину й напрямом руху подачі;

– *допоміжний кут у плані* φ_I – кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину й напрямом, протилежним руху подачі (ці кути вимірюють в основній площині P_v).

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

Найбільш суттєво на процес різання впливає передній кут γ . За умов додатного переднього кута різець має гострий кут різання. Одночасно пластична деформація металу й сили різання зменшуються, проте утруднюється тепловідведення й знижується міцність різальної частини, оскільки вона працює на вигин, і вірогідність її зламу зростає. При від'ємних значеннях γ кут різання стає тупим, пластична деформація й сили різання збільшуються, проте поліпшується тепловідведення й зростає міцність різальної частини, оскільки вона працює на

стиснення, що є більш сприятливим видом навантаження. Під час оброблення кольорових металів і сплавів беруть $\gamma = 15...30^\circ$; під час точіння важкооброблюваних матеріалів і загартованих вуглецевих сталей, а також за наявності ливарної кірки на поверхні заготовки – $\gamma = 0...10^\circ$.

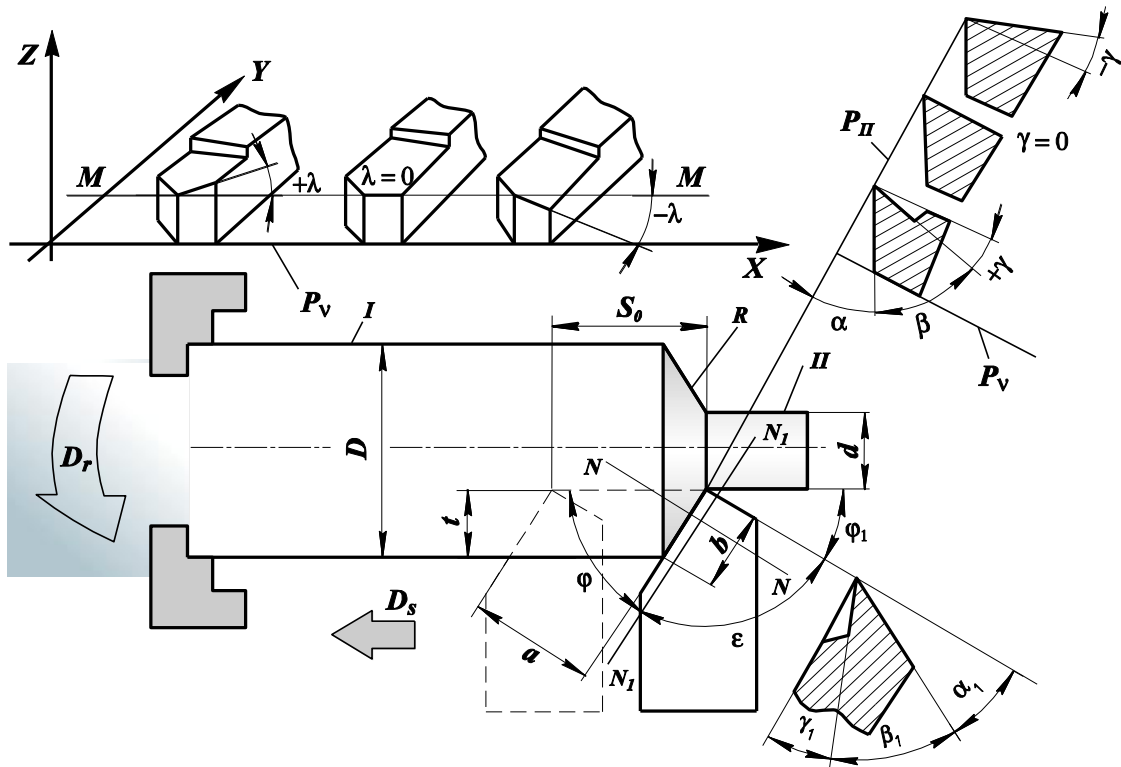


Рис. 5.7. Геометричні параметри токарного різця

Задній кут α призначений для зменшення тертя між задніми гранями різця і оброблюваною поверхнею, його вибирають у межах від 6 до 10° .

Суттєво на процес точіння впливає кут нахилу головної різальної кромки λ (на рис. 5.7 – кут між головною різальною кромкою й площиною $M-M$, проведеною через вершину різальної частини різця паралельно до основної площини P_v). Прийнято вважати кут λ додатним, якщо вершина різця – найнижча точка різальної кромки. Величина й знак кута λ впливають на напрям сходження стружки й розподіл навантаження по довжині різальної кромки. Для обдирних робіт застосовуються додатні кути λ . Одночасно стружка прямує до оброблюваної поверхні, вона може намотуватися на деталь і дряпати поверхні деталі. Тому для чистового оброблення використовують різці з від'ємними кутами λ (до -5°), коли стружка прямує до оброблюваної поверхні.

Головний кут у плані ϕ суттєво впливає на стійкість різця й шо-

рсткість оброблюваної поверхні. Зі зменшенням головного кута в плані шорсткість оброблюваної поверхні зменшується. Проте при малих значеннях кута φ можуть виникнути вібрації, унаслідок чого погіршується якість обробленої поверхні й прискорюється спрацьовування інструменту. Кут φ має діапазон значень від 30 до 90° залежно від виду оброблення, типу різця, жорсткості заготовки й інструменту.

Товщину зрізаного шару a вимірюють у напрямі, перпендикулярному до різальної кромки, між положеннями площини різання за один оберт заготовки (див. рис. 5.7): $a = S_0 \sin \varphi$.

Ширина зрізаного шару b – відстань між точками на поверхні заготовки, виміряна вздовж різальної кромки (по ширині поверхні різання): $b = t / \sin \varphi$.

5.3. Елементи контуру токарного оброблення

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

З технологічного погляду ці геометричні елементи й поверхні, що їм відповідають, поділяють на основні й додаткові (рис. 5.8).

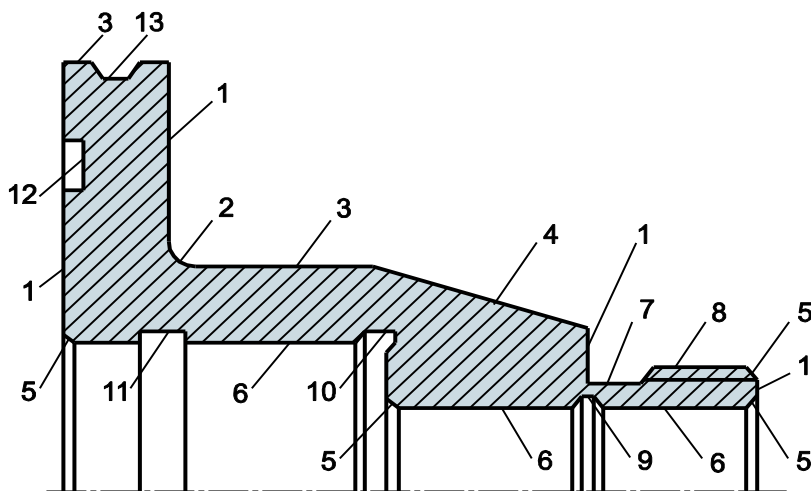


Рис. 5.8. Поверхні, що утворюють контур деталі:

основні: 1 – торцева, 2 – радіусна торцева, 3 – циліндрична зовнішня, 4 – конусна, 5 – фаска, 6 – циліндричний отвір; *додаткові:* 7 – нарізкова канавка, 8 – нарізкова поверхня, 9 – внутрішня трапецеїдальна канавка, 10 – кутова канавка, 11 – внутрішня прямокутна канавка, 12 – торцева канавка; 13 – жолоб

Основними елементами контуру деталі є твірні поверхонь, які можна обробляти різцем для контурної обробки з головним кутом у

плані $\varphi = 95^\circ$ і допоміжним кутом у плані $\varphi_1 = 30^\circ$.

Для оброблення зовнішніх і торцевих поверхонь застосовують прохідний різець, а для внутрішніх – розточувальний.

Додатковими елементами контуру деталі є твірні поверхонь, формоутворення яких не можна виконати вказаним різцем. До додаткових елементів контуру належать торцеві й кутові канавки для виходу шліфувального круга, канавки на зовнішній, внутрішній і торцевій поверхнях, нарізкові поверхні, жолоби під ремені тощо.

5.3.1. Зони токарного оброблення

Кожна зона токарного оброблення на верстатах з ЧПК відповідає одному технологічному переходу й формується залежно від конфігурації чорнового або чистового контуру деталі та технологічних можливостей різального інструменту, що виконує цей перехід. Для токарних різців ці технологічні можливості залежать від основних і допоміжних кутів у плані.

Зони токарного оброблення поділяють на відкриті, напіввідкриті, закриті й комбіновані (рис. 5.9).

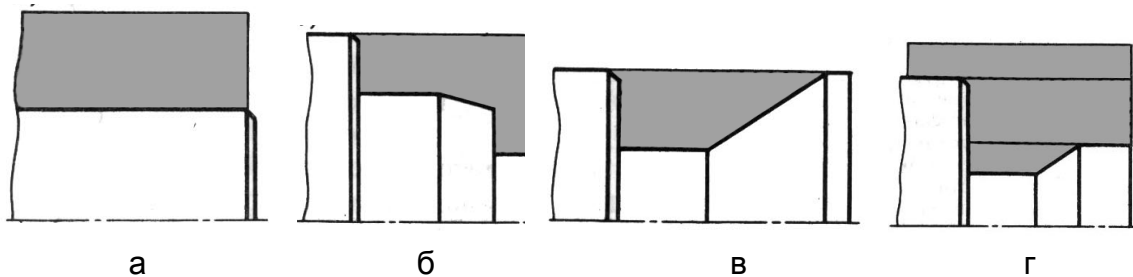


Рис. 5.9. Зони токарного оброблення:

а – відкрита; б – напіввідкрита; в – закрита; г – комбінована

Відкрита зона (див. рис. 5.9, а) формується під час знімання припуску з циліндричної, а в деяких випадках конічної поверхонь. Під час вибору різця для оброблення цієї зони обмеження на головний і допоміжний кути в плані не накладають.

Найтиповішою є *напіввідкрита зона* (див. рис. 5.9, б), конфігурація якої накладає обмеження на величину головного кута різця в плані.

Закри́ту зону (див. рис. 5.9, в) маємо переважно під час оброблення додаткових поверхонь, її конфігурація накладає обмеження на величину як головного, так і допоміжного кутів різця в плані.

Комбінована зона (див. рис. 5.8, г) є об'єднанням двох або трьох зон, описаних вище.

Згідно з ГОСТ 25762-83 під ходом розуміють рух в один бік в разі зворотно-поступального руху. Типові схеми ходів під час чорнового токарного оброблення для видалення припуску з напіввідкритих зон зображено на рис. 5.10.

Еквідистантну схему ходів точіння (див. рис. 5.10, а) використовують для оброблення фасонних деталей. Інструмент після завершення кожного робочого ходу виводять із зони й подають на глибину наступного ходу (допоміжний хід).

Контурна схема (див. рис. 5.10, б) формується шляхом повторення робочих ходів інструменту вздовж контуру оброблюваної деталі. Кожний робочий хід разом з допоміжним утворює траєкторію у вигляді замкнутого циклу, початкова точка якого зміщується вздовж деякої прямої, наближаючись до контуру заготовки.

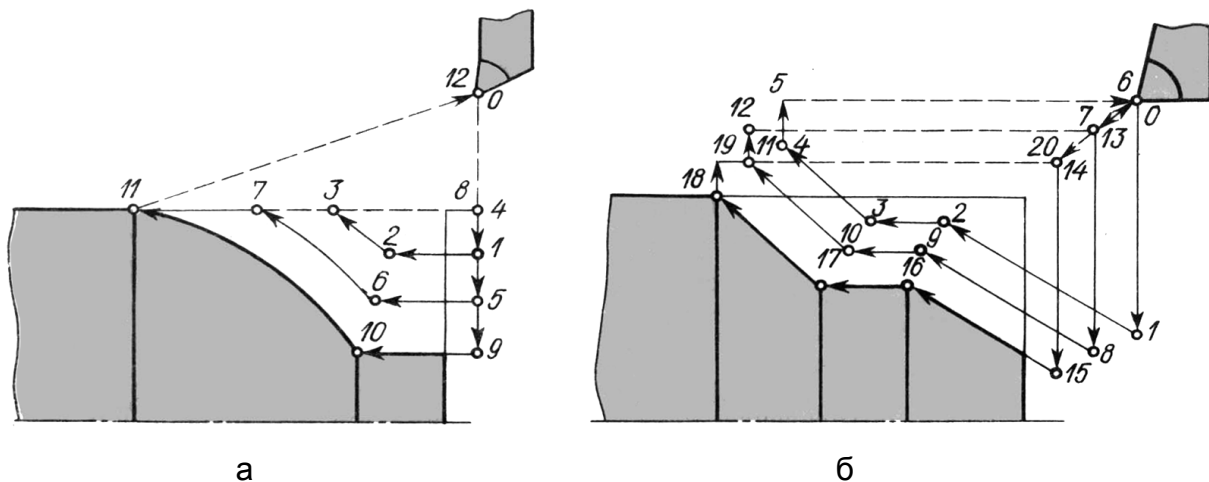


Рис. 5.10. Типові схеми ходів точіння напіввідкритих зон:
а – еквідистантна; б – контурна

Найбільш ефективними є траєкторії токарного оброблення з найменшою кількістю робочих ходів інструменту. Стандартному циклу програмного оброблення найбільше відповідає контурна схема ходів точіння.

5.3.2. Послідовність переходів токарного оброблення

Призначивши припуски на чистове оброблення основних поверхонь деталі, загальний припуск на токарну обробку розбивають на декілька проміжних.

Для оброблення із закріпленням заготовки в *центрах* рекомендується така загальна послідовність переходів:

- чорнове оброблення основних поверхонь, причому першими обробляють поверхні, що потребують робочих переміщень різального інструменту в напрямку до передньої бабки;

- чорнове (за необхідності) і чистове оброблення додаткових елементів, крім канавок для виходу різі й шліфувального круга;

- чистове оброблення основних поверхонь, зокрема підрізування торця й оброблення зовнішніх поверхонь;

- оброблення додаткових елементів.

Переходи під час оброблення з закріпленням заготовок у *патроні* виконують у такій послідовності:

- центрування (під час свердлення отворів діаметром до 20 мм);

- свердлення;

- чорнове оброблення основних поверхонь – підрізування зовнішнього торця (для штампованих заготовок – зрізування припуску на всіх торцях), обточування зовнішніх поверхонь, розточування внутрішніх поверхонь;

- чорнове й чистове оброблення додаткових поверхонь (у тих випадках, коли чорнове й чистове оброблення основних поверхонь виконують одним різцем, усі додаткові поверхні формують після чистового оброблення);

- чистове токарне оброблення внутрішніх і зовнішніх основних поверхонь;

- оброблення внутрішніх і зовнішніх, зокрема торцевих, додаткових поверхонь, що не потребують чорнового оброблення.

Надійність роботи інструменту зменшується в 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 паралельно до 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.

Під час оброблення вузьких заготовок великого діаметра (рис. 5.11, а) різець слід переміщати перпендикулярно до осі обертання заготовки, а під час оброблення широких заготовок (рис. 5.11, б)

– паралельно до осі обертання.

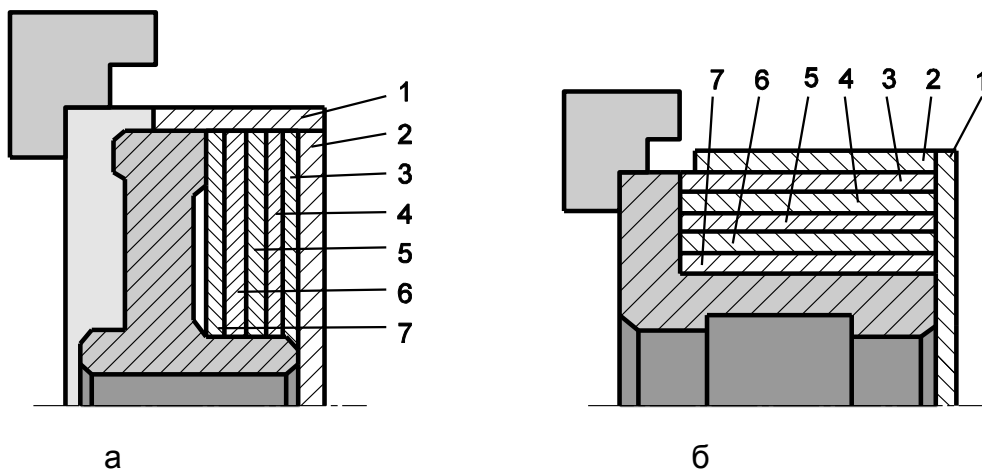


Рис. 5.11. Оброблення в патроні заготовок з прокату:
а – вузьких великого діаметра; б – широких;
1 – 7 – послідовність оброблення

Приклади послідовності переміщення інструменту під час оброблення в патроні сідчастих штамповок показано на рис. 5.12.

Залежно від значень припусків вибирають потрібну кількість робочих ходів для оброблення зовнішніх поверхонь, а також торцевих внутрішніх поверхонь.

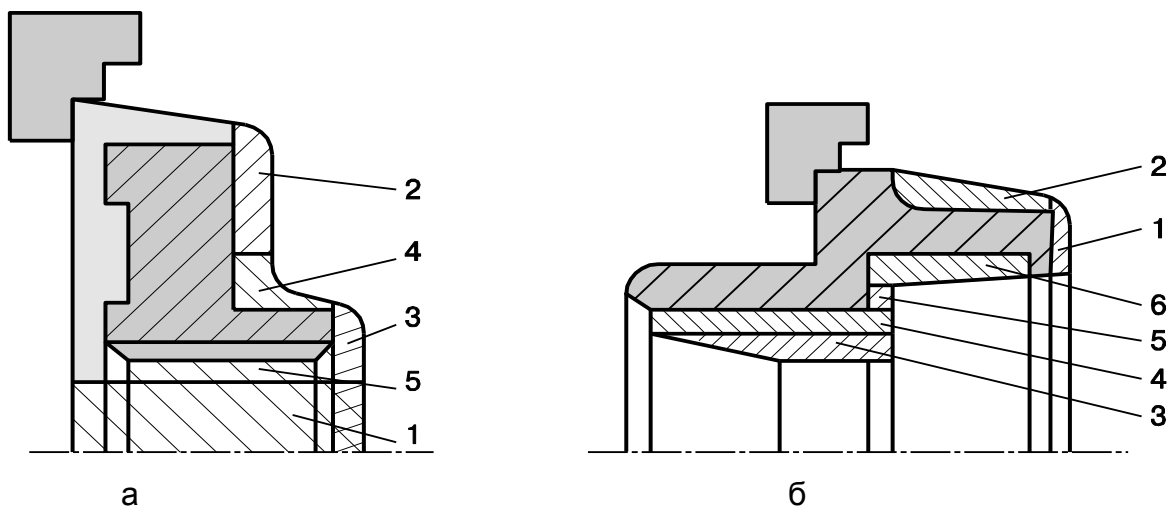


Рис. 5.12. Оброблення штампованих заготовок: а – з напуском під отвір;
б – з технологічним отвором; 1 – 6 – послідовність оброблення

У разі чорнового розточування заготовок припуск видаляють різцем, який переміщається паралельно до осі обертання заготовки. Припуск на чорнове оброблення штампованих заготовок зрізають за

один робочий хід.

Під час чорнового оброблення штамповок східчастої форми спочатку видаляють припуск на всіх торцях заготовки, потім точать зовнішні поверхні заготовки. За відсутності отвору в заготовці основні внутрішні поверхні починають обробляти зі свердлення.

5.4. Характеристики режиму різання під час точіння

У процесі точіння здійснюються обертальний рух заготовки й поступальний рух подачі різця. Кожний рух відбувається з певною швидкістю (див. рис. 1.7, а).

Швидкість різання v під час токарного оброблення є коловою швидкістю точки, яку взято на найбільшому діаметрі заготовки, м/хв:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (5.1)$$

де D – діаметр заготовки, мм; n – частота обертання, хв⁻¹.

У разі поздовжнього точіння заготовок швидкість різання є постійною, в разі поперечної подачі (підрізування торця, відрізання) колова швидкість зменшується до центра деталі. Під час розточування швидкість різання також вибирають за найбільшим внутрішнім діаметром.

Подача S – величина переміщення різальної кромки різця в напрямку руху подачі D_s в одиницю часу або за один оберт заготовки. Для точіння розрізняють такі подачі: поздовжню, поперечну й похилу – під кутом до осі заготовки (застосовують для обточування конічних поверхонь). Чисельно подачу можна виразити в міліметрах за хвилину (хвилину S_m) і міліметрах за оберт (подачу на оберт S_o).

Глибина різання t під час обточування (див. рис. 5.7) – розмір зрізаного шару, який визначають у напрямку радіуса заготовки як напіврізницю діаметра заготовки D і діаметра обробленої поверхні d . Глибину різання вибирають залежно від виду токарної обробки (чорнової, напівчистої, чистої).

Призначаючи режим різання для токарного оброблення, швидкість різання розраховують за такою формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} k_v, \quad (5.2)$$

де C_v , x , y , k_v , m – коефіцієнти, що враховують властивості матеріалів та умови оброблення в конкретних випадках точіння при певному періоді стійкості інструменту T , хв.

5.4.1. Послідовність вибору режиму різання під час точіння

Під час точіння за початкові дані беруть фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, припуск і характер оброблення (чорнове або чистове).

Далі вибір режиму різання під час точіння виконують у такій послідовності:

- призначають вид інструментального матеріалу та його марку;
- вибирають геометричні елементи різальної частини інструменту, ураховуючи форму оброблюваної поверхні;
- призначають глибину різання t ;
- розраховують за емпіричними формулами подачу на оберт S_o ;
- призначають період стійкості T токарного інструменту;
- розраховують швидкість різання v за формулою (5.2);
- розраховують номінальну частоту обертання n шпинделя верстата $n = 1000v/\pi D$ та уточнюють частоту обертання за паспортом верстата;
- за взятою частотою обертання шпинделя уточнюють швидкість різання й перевіряють вибраний режим за потужністю різання;
- розраховують технологічний час оброблення деталі.

Контрольні запитання

1. Перелічіть основні види токарної обробки.
2. Опишіть способи точіння зовнішніх поверхонь.
3. Назвіть способи точіння внутрішніх поверхонь.
4. Зобразіть основні типи токарних різців.
5. Перелічіть геометричні параметри токарного різця.
6. Назвіть основні й додаткові елементи контурів деталі під час точіння.
7. Опишіть відкриті, закриті й напіввідкриті зони під час токарного оброблення.
8. Що таке еквідистантна й контурна схеми ходів точіння?
9. Опишіть послідовність технологічних переходів токарного оброблення.
10. Назвіть параметри режиму різання під час точіння.
11. Опишіть послідовність вибору режиму різання під час токарного оброблення.

6. ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ СВЕРДЛІННЯМ, ЗЕНКЕРУВАННЯМ І РОЗГОРТАННЯМ

Свердлення, зенкерування і розгортання – поширені процеси оброблення глухих і наскрізних отворів з широким діапазоном діаметрів. Під час цих процесів здійснюється одночасно два рухи: обертальний рух інструменту або деталі (головний рух) і поступальний рух уздовж осі (рух подачі). Інструменти для цих процесів згідно з ГОСТ 25781–83 називають осьовими.

Свердлення – один із поширених способів утворення отворів у суцільному матеріалі з допомогою свердел. Свердлення забезпечує економічну точність обробки в межах 11 – 13-го квалітетів і параметр шорсткості $R_a = 5 \dots 10$ мкм (рис. 6.1, а).

Розсвердлювання – процес збільшення свердлом діаметрів наявних отворів.

Зенкерування – оброблення циліндричних литих, штампованих або заздалегідь просвердлених отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, необхідних розмірів і шорсткості поверхні. Забезпечує економічну точність у межах 8 – 9-го квалітетів і параметр шорсткості $R_a = 3,2 \dots 6,4$ мкм (рис. 6.1, б).

Розгортання – чистове оброблення отворів для отримання точних розмірів у межах 5 – 7-го квалітетів і параметра шорсткості $R_a = 0,5 \dots 1,6$ мкм (рис. 6.1, в).

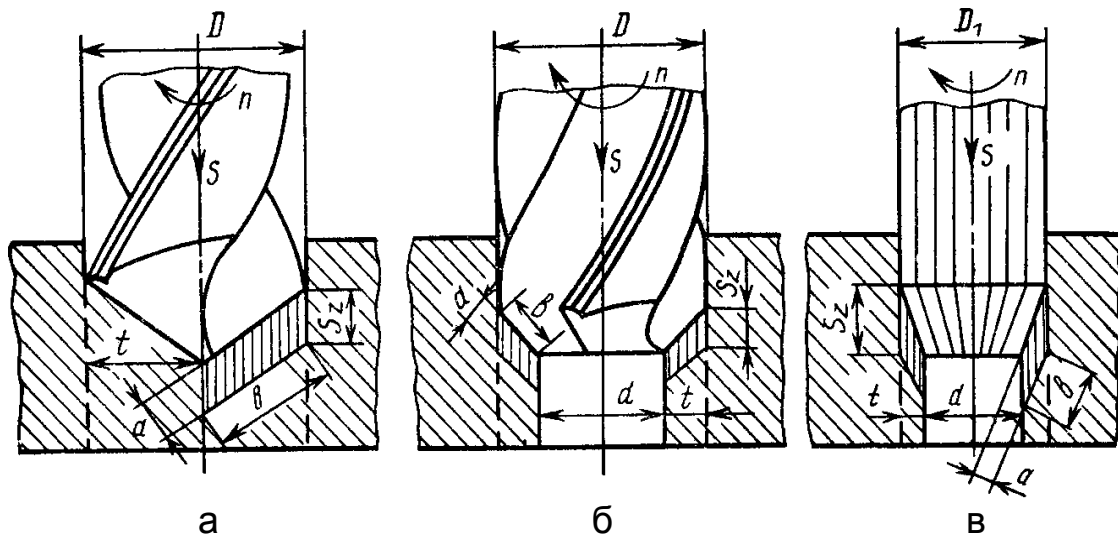


Рис. 6.1. Схеми свердлення (а), зенкерування (б) і розгортання (в)

Глибина різання t , мм, під час свердлення дорівнює $D/2$, а під час розсвердлювання заготовки діаметром d до діаметра D $t = (D - d)/2$, під час зенкерування $t = (0,05 \dots 0,1)D$ (D – діаметр отво-

ру, обробленого зенкеруванням), під час розгортання $t = 0,05...0,5$ мм.

Подача на оберт S_0 , мм/об, під час оброблення отворів дорівнює переміщенню інструменту або деталі в напрямку осі обертання за один оберт.

Подача на зуб одну різальну кромку осьового інструменту $S_z = S_0 / z$, мм/зуб, а хвилинна подача $S_m = S_0 n = S_z z n$, де z – кількість зубів інструменту (свердла мають два зуби, зенкери – тричотири, розвертки – до восьми зубів).

6.1. Призначення й основні типи свердел

У технології виготовлення деталей ЛА оброблення отворів здійснюється у широкому діапазоні діаметрів D (від 0,1 до 100 мм) і глибин різання t (до $100D$).

Існує близько 30 типів свердел різних конструкцій і призначення: спіральні (з гвинтовими канавками), перові (з прямими канавками), центрувальні для оброблення центрових отворів, кільцеві для глибокого свердлення, спеціальні.

Найбільш поширеними є спіральні (або гвинтові) свердла. Їх застосовують для оброблення отворів завглибшки до $(5...10) D$.

6.1.1. Конструкції й геометрія спіральних свердел

Спіральні свердла (рис. 6.2) застосовують для свердлення й розсвердлювання отворів діаметром до 80 мм: з циліндричним хвостовиком $D = 0,10...20$ мм і конічним хвостовиком $D = 6...80$ мм. Робоча частина свердла складається з різальної й прямої частин.

Малорозмірні свердла діаметрами $D = 0,1...1,0$ мм (див. рис. 6.2, а) виготовляють з інструментальних сталей марок Р6М3 і Р6М5К5, діаметрами $D = 0,6...1,0$ мм – із твердих сплавів марок ВК10М і ВК15М (див. рис. 6.2, б). Для діаметрів $D = 1,5...10,0$ мм випускають свердла цілісні (див. рис. 6.2, в) і складені – з твердосплавною гвинтовою робочою частиною завдовжки l_0 і сталеву хвостову частину (див. рис. 6.2, г). Свердла діаметром $D = 6...80$ мм виготовляють з конічним хвостовиком (див. рис. 6.2, д). Для свердлення важкооброблюваних матеріалів використовують спіральні свердла діаметрами від 18 до 32 мм з внутрішньою подачею МОР (див. рис. 6.2, е).

На відміну від різця передні поверхні свердла гвинтові, головні задні поверхні зазвичай конічні, а допоміжні задні поверхні – гвинтові стрічки, що забезпечують спрямування свердла в процесі різання.

У результаті складання обертального й поступального рухів свердла (див. рис. 1.7, б) траєкторія кожної точки різальної кромки –

гвинтова лінія, а траєкторія кромки – гвинтова поверхня з кроком, що дорівнює подачі на оберт S_0 .

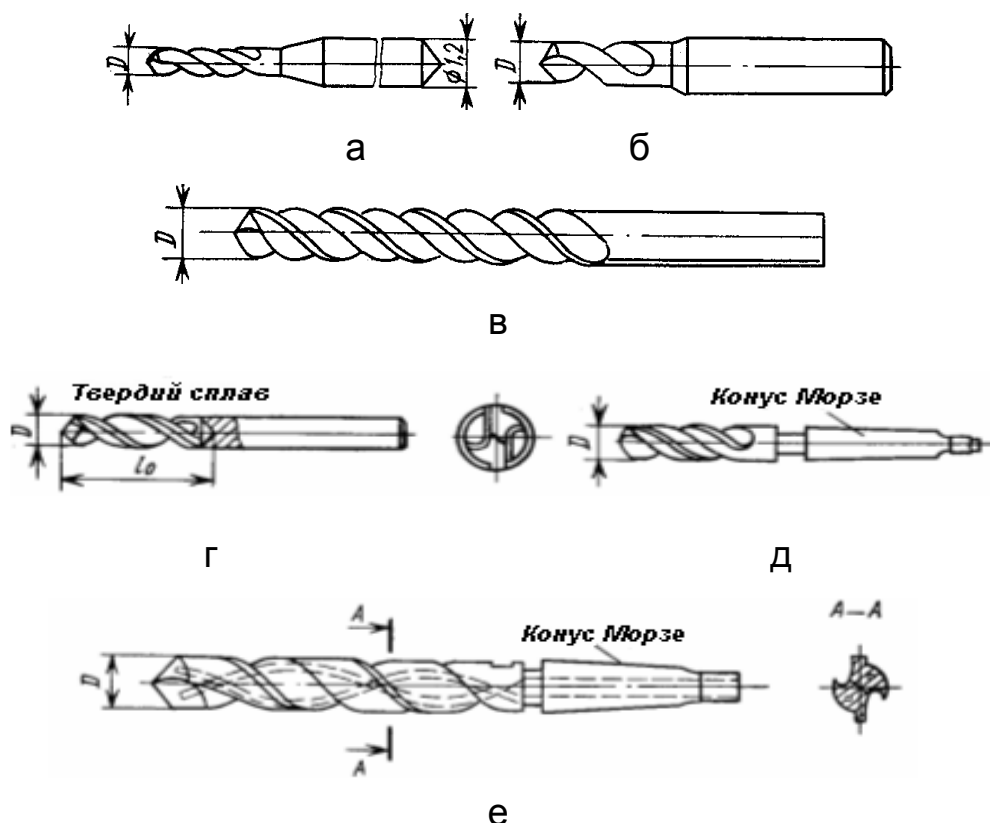


Рис. 6.2. Спіральні свердла

Спіральне свердло має дві головні різальні кромки 4 (рис. 6.3, а), утворені перетином передніх гвинтових поверхонь 2 канавок, по яких сходять стружка, із задніми поверхнями 6, поверненими до поверхні різання. Поперечна різальна кромка – перемичка 5 – розташована на перетині обох задніх поверхонь. Дві допоміжні різальні кромки утворені перетином передніх поверхонь з поверхнею стрічки 3. Стрічка свердла забезпечує спрямування свердла по оброблюваному отвору під час різання і є вузькою смужкою на його циліндричній поверхні, розташованою вздовж гвинтової канавки.

Геометрія заточування свердел характеризується подвійним кутом у плані 2ϕ , переднім γ і заднім α кутами, а також кутами нахилу гвинтової канавки ω і поперечної різальної кромки-перемички ψ . Стандартні свердла мають кут 2ϕ величиною від 116 до 118° .

Для свердлення високоміцних матеріалів кут свердла 2ϕ рекомендується збільшувати до 140° .

Передній кут γ вимірюють у головній січній площині N – N, перпендикулярній до проекції головної різальної кромки на основну (діа-

метральну) площину, що проходить через вершину й вісь свердла (рис. 6.3, б). Кут γ у цій точці утворюють дотична 1 – 1 до передньої поверхні різальної кромки й нормаль 1 – 2 у тій самій точці до поверхні, утвореної обертанням різальної кромки навколо осі свердла.

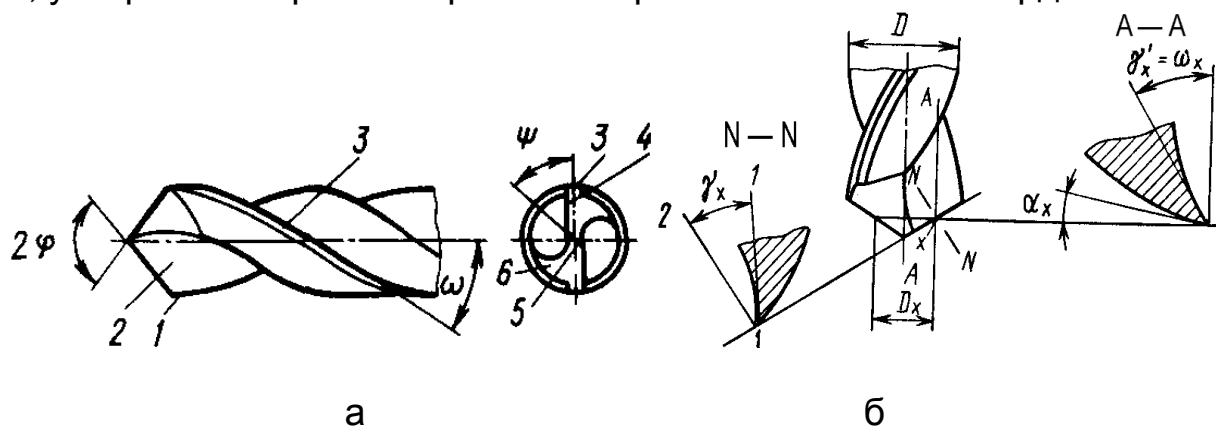


Рис. 6.3. Геометрія спірального свердла

Кут γ залежить від кута нахилу гвинтової канавки ω . Точки різальної кромки лежать на гвинтових лініях передньої поверхні свердла, що мають різні кути ω , тому кут γ у різних точках кромки є змінним і змінюється аналогічно куту ω .

Задній кут α_x у заданій точці – кут між дотичною до задньої поверхні в цій точці різальної кромки й дотичною в тій же точці до кола, утвореного різальною кромкою внаслідок її обертання навколо осі свердла. Задні кути свердла також змінні: на периферії $\alpha = 8...14^\circ$, поблизу поперечної кромки $\alpha = 20...25^\circ$.

Щоб зменшити тертя стрічок об стінки отвору, діаметр свердла зменшують у напрямку до хвостовика, тобто формують протилежну конусність. Протилежна конусність φ_1 визначається різницею Δ діаметрів свердла на відстані $l_0 = 100$ мм довжини робочої частини ($\varphi_1 = \arctg \Delta/2l_0$). Величина протилежної конусності під час оброблення отворів у конструкційних сталях свердлами діаметрами від 1,0 до 20 мм лежить у діапазоні 0,03...0,1 мм. Під час свердлення нержавіючих і жароміцних матеріалів протилежну конусність свердел рекомендується збільшувати до 0,1...0,15 мм.

Кут ω – це кут між віссю свердла й дотичною до гвинтової лінії стрічки. Уздовж різальних кромок кут нахилу гвинтової лінії є змінним і зменшується до осі свердла. Кут ω вибирають залежно від діаметра свердла D і властивостей оброблюваного матеріалу: чим менший D , тим менший ω . Для стандартних свердел $\omega = 18...30^\circ$. Для свердлення в'язких матеріалів (алюмінієвих сплавів, маловуглецевих сталей,

міді) застосовують свердла з кутом $\omega = 35...45^\circ$.

Для оброблення отворів у високоміцних матеріалах свердла піддають спеціальному заточуванню, метою якого є укорочення поперечної кромки й утворення більш сприятливих кутів поблизу неї (рис. 6.4). Подвійне заточування, підточування перемичок і стрічок застосовують для швидкорізальних свердел діаметром понад 12 мм і твердосплавних діаметром понад 5 мм.

Використовують різні форми заточування різальних кромek свердла для оброблення звичайних (див. рис. 6.4, а) і важкооброблюваних матеріалів (див. рис. 6.4, б – д).

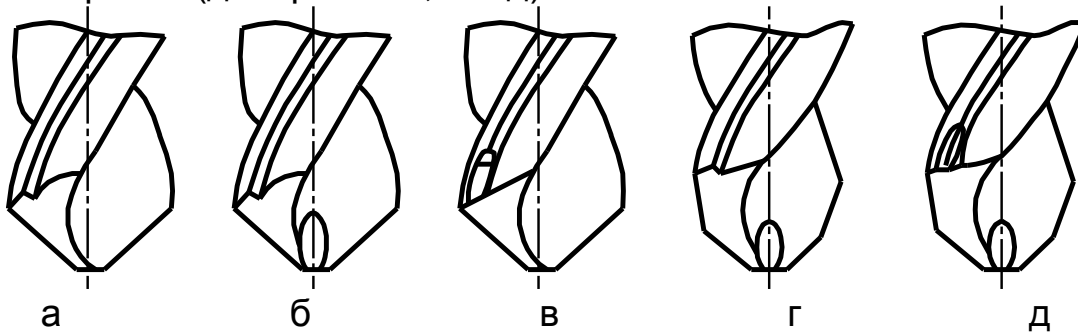


Рис. 6.4. Форми заточування різальної частини свердла:

- а – одинарна нормальна (Н); б – одинарна нормальна з підточуванням перемички (НП); в – одинарна нормальна з підточуванням перемички й стрічки (НПС);
- г – подвійна з підточуванням перемички (ПП);
- д – подвійна з підточуванням перемички й стрічки (ППС)

Для свердлення заготовок із високоміцних матеріалів ($\sigma_b \geq 1200$ МПа) необхідно застосовувати цілісні свердла з твердих сплавів марок ВК6М, ВК10М, ВК60М. Жорсткість свердел можна підвищити, якщо зменшити довжину робочої частини, збільшити товщину стрижня до $0,4D$, виготовити чотири напрямні стрічки, вибрати раціональну форму стружковідвідних канавок.

Для оброблення отворів у високоміцних матеріалах доцільно використовувати спіральні свердла підвищеної жорсткості – з потовщеним до $(0,3...0,35) D$ стрижнем і підгостреними перемичками.

Спіральні свердла виготовляють головним чином з правим напрямом гвинтової канавки для правого різання.

Як МОР під час свердлення отворів малих діаметрів ($D < 3$ мм) застосовують рідини на масляній основі, під час свердлення отворів великих діаметрів – водяні емульсії.

6.1.2. Конструкції й геометрія спеціальних свердел

Перові або плоскі свердла прості за конструкцією, але через погані умови відведення стружки й важкі умови різання їх застосовують

здебільшого для оброблення отворів завглибшки $l \leq D$.

Центрувальні комбіновані свердла призначені для оброблення центрових отворів діаметром від 1 до 10 мм. Бувають двох видів: з кутом конуса 60° і з кутами конусів 60 і 120° (рис. 6.5, а).

Кільцевими свердлами обробляють наскрізні отвори великих діаметрів. Кільцеве свердло (рис. 6.5, б) являє собою трубчастий корпус 3 із закріпленими на торці ножами 1 і кулачками 2 для спрямування свердла.

Свердла для глибокого свердлення. Глибокі отвори ($l > 10D$) звичайно обробляють за 6 – 8-м квалітетами точності з жорсткими вимогами до прямолінійності осі отвору, співвісності отвору й зовнішньої поверхні.

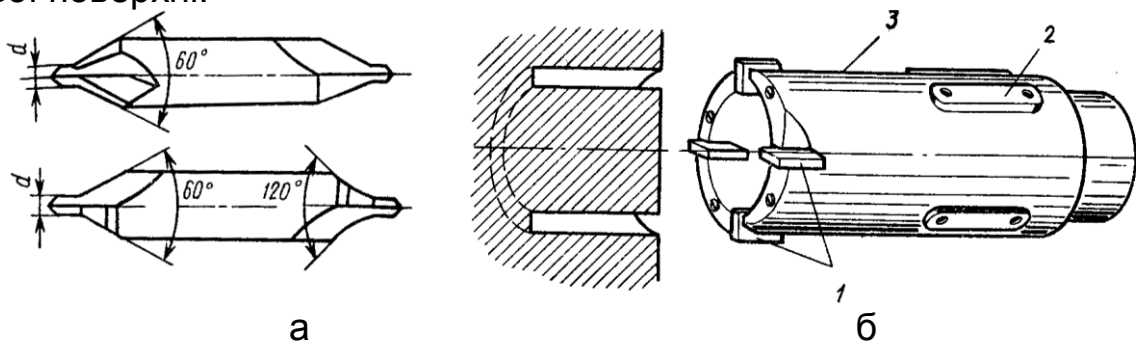


Рис. 6.5. Свердла: а – центрувальні; б – кільцеве

Оброблення потребує використання спеціальних свердел й верстатів. Оброблювана деталь обертається, а свердло здійснює тільки поступальний рух.

Для глибокого свердлення застосовують звичайні гвинтові свердла двостороннього різання й спеціальні свердла одностороннього різання. Конструкція свердла повинна забезпечити примусове подання мастилоохолодної рідини (МОР) до різальних кромки, вільне відведення стружки, достатню жорсткість, добре базування на стінках отвору.

Звичайні свердла двостороннього різання є подовженими гвинтовими свердлами з двома канавками (див. рис. 6.2, е), на які розділяється центральний канал хвостової частини свердла. МОР під високим тиском надходить у центральний канал і потім разом зі стружкою відводиться по гвинтових канавках свердла.

Для глибокого свердлення найчастіше застосовують спеціальні свердла:

- двостороннього різання (двокромкові) – шнекові й ежекторні;
- одностороннього різання (однокромкові) – рушничні й гарматні.

Шнекові свердла (рис. 6.6) використовують для оброблення отворів діаметром 3...30 мм і завдовжки понад $10D$ без періодичного

виведення інструменту з заготовки. Вони мають великі кути нахилу гвинтових канавок ($\omega = 60^\circ$), що полегшує відведення стружки із зони різання. Канавки в осьовому перерізі А – А мають трикутний профіль.

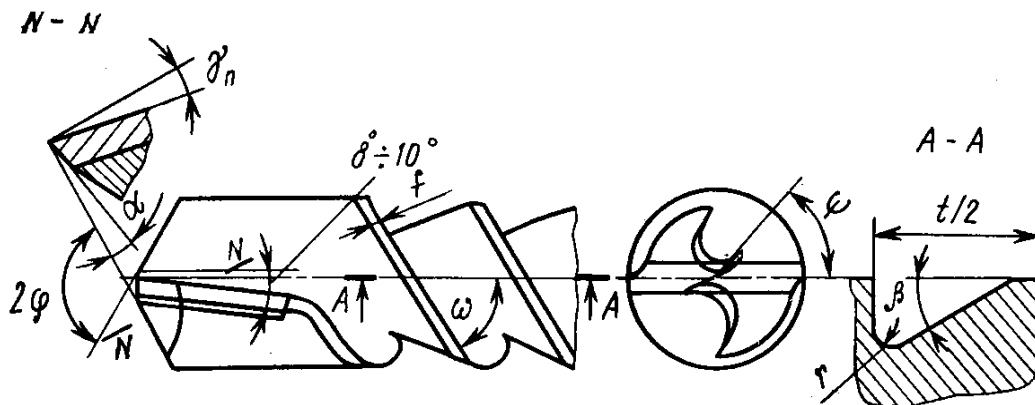


Рис. 6.6. Шнекове свердло

Щоб підвищити жорсткість, шнекові свердла виготовляють з потовщеним до $(0,3 \dots 0,35) D$ стрижнем й підточеною поперечною кромкою до $0,1 D$.

Ежекторні свердла (рис. 6.7) призначені для глибокого свердлення отворів діаметром $D = 20 \dots 65$ мм. Головку 2 нагвинчено на зовнішню трубку 3, яка є корпусом-носієм. Різальна частина 1 оснащена твердосплавними пластинами, розташованими в шаховому порядку, тому стружка зрізається у вигляді окремих стрічок, дробиться стружколамними уступами й легко видаляється.

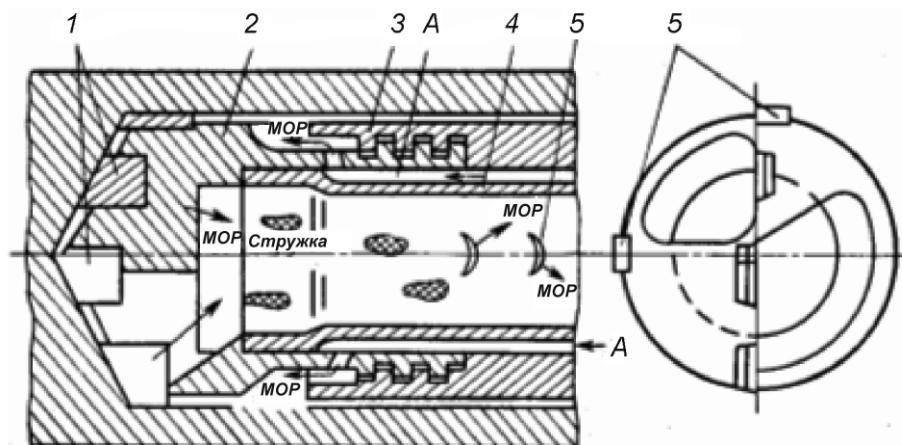


Рис. 6.7. Ежекторне свердло

Особливістю ежекторних свердел є ефект підсмоктування МОР, що видаляється разом зі стружкою внаслідок розрідження всередині свердла. Розрідження виникає через розділення прямого потоку А рідини під тиском $2 \dots 3$ МПа на два: основна частина рідини прямує до зони різання, а близько 30 % рідини через прорізи Б попадає назад у

внутрішній канал труби 4. Це розрідження, що виникає між потоком рідини зі стружкою й потоком через щілини *Б*, покращує умови відведення стружки. Для підвищення точності обробки призначені твердосплавні напрямні 5.

Ежекторні свердла працюють на швидкостях різання $v = 25...200$ м/хв і при подачах $S_0 = 0,15...0,7$ мм/об, забезпечують економічну точність 9 – 11-го квалітетів і параметр шорсткості $R_a = 1,25...0,63$ мкм.

Рушничні свердла (рис. 6.8) діаметром $D = 8...30$ мм складаються з робочої частини 1 і трубчастого корпусу – стебла 2.

Щоб створити сприятливі умови різання, головну різальну кромку зміщують на $0,2D$ від осі свердла.

Свердло має внутрішній канал круглого або серпоподібного поперечного перерізу для підведення МОР під тиском від 2 до 4 МПа. МОР разом зі стружкою вимивається по зовнішній прямій канавці.

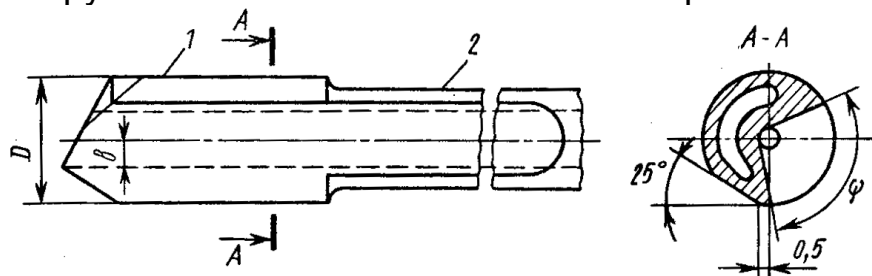


Рис. 6.8. Рушничне свердло

Свердла для вібраційного свердлення. Оброблення отворів у жароміцних і титанових сплавах спричиняє утруднення через недостатню жорсткість інструменту, високі значення сил різання, погані умови відведення стружки й підведення МОР до зони різання.

Для глибокого свердлення отворів діаметром від 2 до 10 мм у жароміцних і титанових сплавах ефективним є вібраційне свердлення. Інструмент – твердосплавні свердла з прямими канавками й внутрішнім підведенням МОР під тиском близько 10 МПа (рис. 6.9).

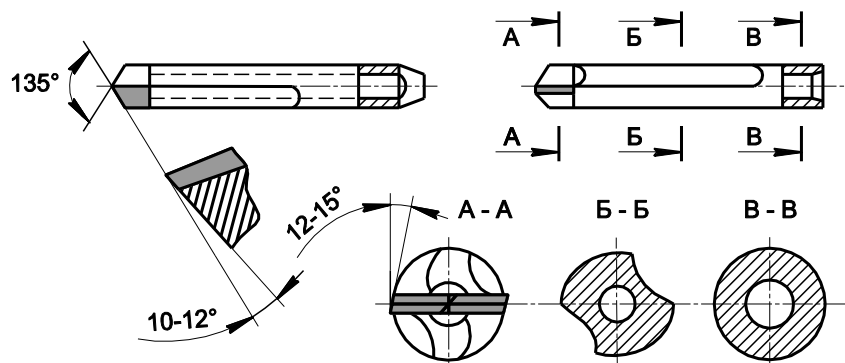


Рис. 6.9. Свердло для вібраційного свердлення

Оброблення проводять на віброствердливих верстатах, інструмент разом з обертальним рухом і рухом подачі здійснює коливальний рух уздовж осі з амплітудою від 0,01 до 0,04 мм і частотою 100...200 Гц. Одночасно відбувається надійне дроблення стружки й підвищується ефективність дії МОР.

6.1.3. Спрацювання свердел

Спрацювання свердел відбувається внаслідок тертя задніх поверхонь об поверхню різання, стружки об передню поверхню, напрямних стрічок об оброблювану поверхню.

Свердла спрацьовуються (рис. 6.10):

– одночасно по задній А і передній Г поверхнях під час оброблення сталей;

– по кутах В під час свердлення крихких матеріалів;

– по стрічці Б під час свердлення в'язких матеріалів;

– по лезу перемички Д у разі неправильного заточування свердла.

Під час свердлення жароміцних сплавів здебільшого спрацьовуються поверхня й стрічка інструменту. У цьому випадку характерною ознакою спрацювання є округлення лез по кутах і поява кільцевих рисок на стрічках через налипання на них оброблюваного матеріалу.

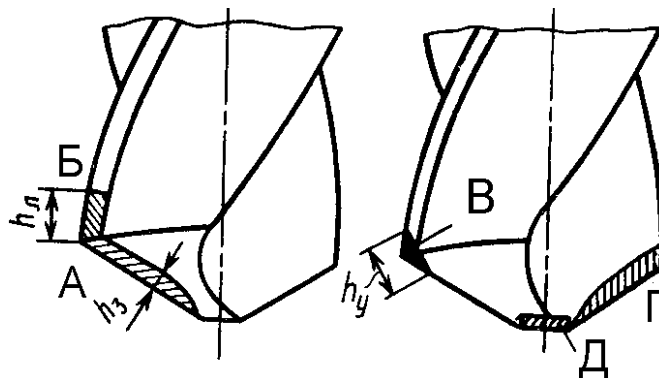


Рис. 6.10. Характерні ділянки спрацювання свердел

Найбільш небезпечним є спрацювання по кутах і стрічці, оскільки у разі значного спрацювання для того, щоб відновити свердло, треба сточити значну його частину. Значне спрацювання по перемичці приводить до інтенсивного зростання осьової сили P_0 , а спрацювання по стрічці спричиняє значне збільшення крутного моменту $M_{кр}$. У разі спрацювання по кутах одночасно збільшуються $M_{кр}$ і P_0 .

На величину фаски спрацювання по задній грані h_z більшою мірою впливає швидкість різання й значно меншою – подача, тому вигідніше виконувати свердлення з більшою подачею й меншою швидкістю різання.

Допустимі значення спрацювання залежать від властивостей

оброблюваних матеріалів, матеріалу свердла та його діаметра: під час оброблення конструкційних сталей швидкорізальними свердлами $h_z = 1...1,5$ мм, жароміцних і титанових сплавів – $h_z = 0,4...0,8$ мм. Для твердосплавних свердел $h_z = 0,4...0,8$ мм. Великі значення спрацювання характерні для свердел великих діаметрів.

Коли спрацювання інструменту досягає заданої величини, його заточують для того, щоб відновити його різальні властивості. Свердла, зенкери й різальну частину розверток заточують по головних задніх поверхнях на спеціальних заточувальних верстатах.

6.1.4. Вибір режиму різання під час свердлення

Процес різання під час свердлення відбувається у важчих умовах, ніж під час точіння. Це зумовлено такими причинами: різною деформацією зрізаного шару вздовж різальних кромки через змінення передніх кутів γ і швидкостей різання v ; дуже великою деформацією матеріалу біля поперечної різальної кромки.

Виходячи з перевірки на поздовжню стійкість свердла як стисненого стрижня, максимально допустимою довжиною робочої частини свердла є довжина в десять діаметрів, у разі більшої довжини робочої частини стійкість свердла різко знижується.

Осьова сила P_0 визначає потужність подачі. За умов великих значень сили P_0 і вилітання свердла можна спостерігати поздовжній вигин інструменту і втрату його стійкості.

Основна частина сили P_0 (до 60 %) припадає на перемичку. Підточування перемички (див. рис. 5.4) дає можливість значно зменшити осьову силу P_0 .

За максимальною величиною крутного моменту $M_{кр}$ розраховують на міцність і жорсткість шпиндель і деталі механізму головного руху свердлильного верстата.

Величини P_0 і $M_{кр}$ залежать від міцності оброблюваних матеріалів, умов оброблення, діаметра інструменту D , параметрів режиму різання (v , S , t), геометрії інструменту (ω , ϕ , α), глибини оброблення й спрацювання інструменту.

Щоб визначити $M_{кр}$ і P_0 , застосовують розрахунок за емпіричними формулами:

$$M_{кр} = c_m D^{x_m} S_0^{y_m} k_m; P_0 = c_p D^{x_p} S_0^{y_p} k_p. \quad (6.1)$$

Значення сталих c_m , c_p , k_m , k_p і показників степеня беруть із довідників [23].

Під час оброблення осьовим інструментом величину подачі роз-

раховують за формулою $S_0 = c_x D^q$, де c_x – коефіцієнт, який залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, q – показник степеня.

Найбільші подачі (*I* група) назначають, коли свердлять отвори в жорстких заготовках, середні (*II* група) – коли свердлять отвори в заготовках малої жорсткості або для подальшого нарізування різи мітчиками, найменші (*III* група) – коли свердлять точні отвори з подальшим обробленням зенкером і розверткою.

Допустиму швидкість різання розраховують за формулою

$$v = \frac{C_v D^{x_v}}{T^m S_0^{y_v}} k_v, \quad (6.2)$$

де $k_v = k_m k_0 k_u k_l$; k_m, k_0, k_u, k_l – коефіцієнти, що враховують відповідно властивості оброблюваного матеріалу, хімічний склад МОР, спрацювання свердла й глибину свердлення.

Порядок розрахунку режиму різання під час свердлення:

– вибір за глибиною й діаметром оброблюваного отвору серії свердла, форми й геометричних параметрів заточки різальної частини свердла, марки інструментального матеріалу залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу;

– визначення максимально допустимої подачі за низкою обмежувальних чинників, а саме: за міцністю механізму подачі верстата, міцністю свердла, стійкістю свердла до стиснення;

– розрахунок за формулою (6.2) швидкості різання v і частоти обертання n відповідно до взятого періоду стійкості інструменту T ($T = 10 \dots 40$ хв);

– коректування вибраних значень S_0 і n за паспортними даними верстата;

– розрахунок крутного моменту $M_{кр}$ та осьової сили P_0 за формулами (6.1), перевірка режиму різання за паспортною потужністю верстата;

– розрахунок машинного часу свердлення, хв: $T_{маш} = L/nS_0$, де $L = l + l_1 + l_2$; l – глибина отвору; l_1 – довжина ділянки урізування; l_2 – довжина перебігу (зазвичай $l_1 + l_2 \approx 0,3D$, у разі оброблення глухих отворів $l_2 = 0$).

У разі оброблення отворів у високоміцних матеріалах на верстатах з ЧПК передбачено періодичне виведення свердла з отвору, а значення швидкостей різання й хвилинних подач зменшують на 12...15 %, щоб забезпечити надійне видалення стружки й запобігти ламанню свердел.

6.2. Зенкерування

Зенкерування є проміжною операцією перед розгортанням та остаточною операцією під час оброблення конусних і циліндричних заглибин з плоским дном, а також торцевих поверхонь бобишок.

Порівняно зі свердленням зенкерування забезпечує більш високу точність обробки отворів. Це пояснюється більшою кількістю зубів (три або чотири), що одночасно працюють, меншими кутами в плані ($\varphi = 45 \dots 60^\circ$), меншими припусками на обробку (див. рис. 6.1, б), більшою жорсткістю інструменту. На відміну від свердла зенкер має багато зубів і збільшений діаметр стрижня, завдяки чому підвищується жорсткість інструменту й забезпечується краще спрямування його в отворі.

6.2.1. Конструкції й геометрія зенкерів

Зенкери можна класифікувати таким чином:

– за призначенням: *циліндричні* (див. рис. 6.1, б) – для напівчистового оброблення циліндричних отворів; *цеківки* (рис. 6.11, а) – для оброблення циліндричних отворів з плоским дном; *зенківки* (рис. 6.11, б) – для оброблення конічної ділянки отворів; *цеківки торцеві* (рис. 6.11, в, г) – для оброблення торцевих поверхонь, що прилягають до отвору; *східчасті* – для оброблення циліндричних отворів декількох діаметрів; *комбіновані* – свердла-зенкери, зенкери-зенківки й ін.;

– за способом кріплення: *хвостові* діаметром 12...35 мм і *насадні* діаметром 25...80 мм;

– за конструкцією: *цілісні*, *насадні*, *збірні* (зі вставними зубами і багатограними пластинами).

Робочу частину зенкерів виготовляють зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів.

Для оброблення деталей зі звичайних конструкційних сталей і титанових сплавів застосовують зенкери, оснащені твердим сплавом. Швидкорізальну сталь використовують тільки для виготовлення зенкерів невеликих розмірів.

Аналогічно вибирають матеріал різальної частини зенкера у разі оброблення деталей із титанових сплавів. Зенкери діаметром понад 10 мм виготовляють із твердих сплавів марки ВК8, зенкери менших діаметрів – із швидкорізальних сталей.

Зенкерування довгих наскрізних отворів здійснюють за схемою розтягування, тобто зенкер протягують через отвір. Це різко зменшує відведення осі оброблюваного отвору, знижує вібрації, дає можливість зняти великі припуски. Конструкції зенкерів дозволяють обробляти торцеві, конічні й фасонні поверхні.

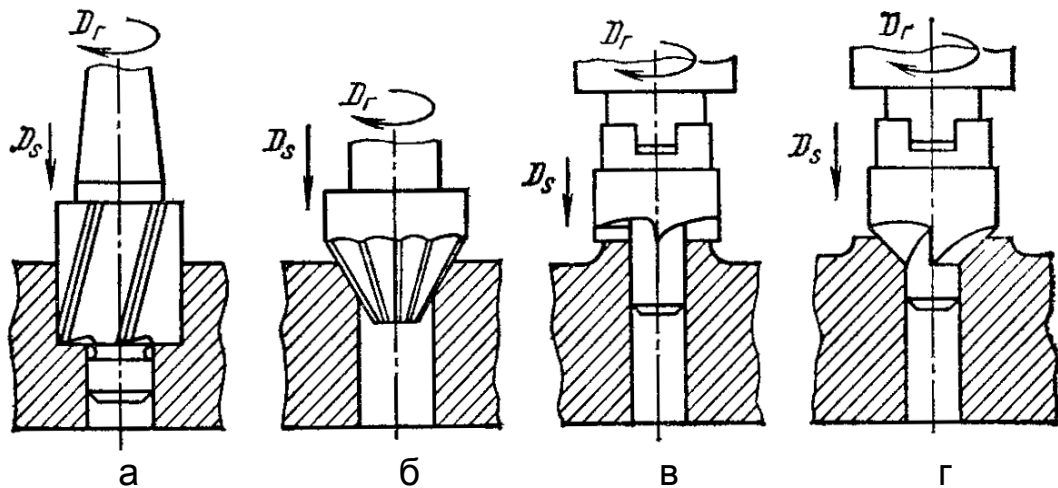


Рис. 6.11. Різновиди зенкерів

Циліндричні зенкери діаметром 10...40 мм найбільш широко використовуються у промисловості. Цілісний циліндричний зенкер (рис. 6.12) складається з різальної частини 1, напрямної 2, шийки 3 і хвостовика 4 з конусом Морзе.

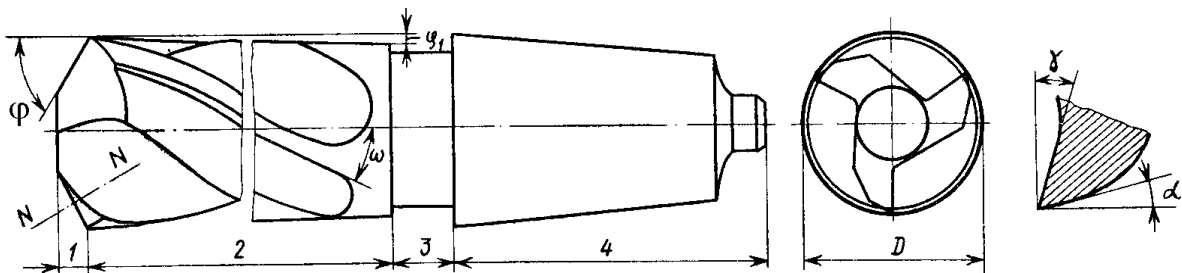


Рис. 6.12. Цілісний циліндричний зенкер

Геометричні параметри різальної частини зенкера вибирають залежно від виду оброблюваного матеріалу й призначення обробки, вони визначаються насамперед кутами заточування головних різальних кромки.

Зенкери зі швидкорізальних сталей мають головний кут у плані $\varphi = 45...60^\circ$, а твердосплавні – $\varphi = 60...75^\circ$.

Зенкери зі швидкорізальних сталей з переднім кутом $\gamma = 0...8^\circ$ застосовують для оброблення високоміцних матеріалів, з $\gamma = 25...30^\circ$ – для оброблення кольорових сплавів.

Задній кут $\alpha = 8...10^\circ$, а кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 10...25^\circ$.

Цеківка (рис. 6.13) – різновид зенкера – призначена для оброблення циліндричних отворів з плоским дном.

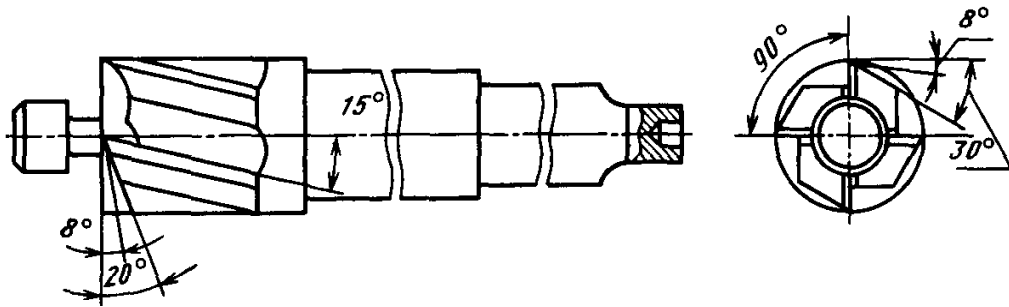


Рис. 6.13. Цеківка

Насадні зенкери, як цілісні, так і збірні (рис. 6.14), мають чотири різальні кромки. Їх використовують для напівчистового оброблення отворів великих діаметрів ($D = 32 \dots 100$ мм).

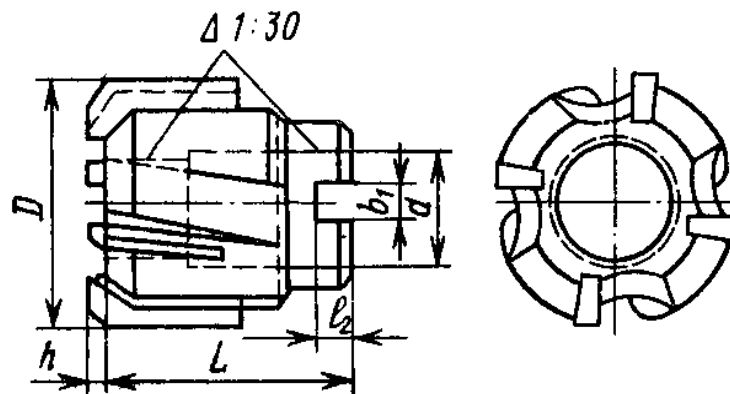


Рис. 6.14. Насадний зенкер збірної конструкції

На зенкер, як і на свердло, діють крутний момент $M_{кр}$ і осьова сила P_0 , які визначаються формулами

$$M_{кр} = c_m D^{x_m} S_0^{y_m} t^{z_m} k_m; P_0 = c_p D^{x_p} S_0^{y_p} t^{z_p} k_p. \quad (6.3)$$

Сталі величини c_m, c_p, k_m, k_p і показники степеня беруть із довідників [23].

Допустиму швидкість різання під час зенкерування розраховують за формулою

$$v = \frac{C_v D^{x_v}}{T^m t^{z_v} S_0^{y_v}} k_v. \quad (6.4)$$

Значення сталих C_v, k_v і показників степеня x_v, z_v, y_v, m знаходять у довідниках залежно від періоду стійкості інструменту T (для зенкерів період стійкості становить 15...80 хв).

Порядок розрахунку режиму різання під час зенкерування:

– вибір матеріалу зенкера та його геометричних параметрів з урахуванням конкретних умов оброблення;

- визначення групи подач, розрахунок або вибір за нормативами величини подачі на оберт S_0 , мм/об;
- розрахунок за формулою (6.4) швидкості різання v і частоти обертання n відповідно до взятого періоду стійкості T ;
- коригування значень подачі S_0 і частоти обертання n за паспортними даними верстата;
- розрахунок осьової сили P_0 і крутного моменту $M_{кр}$ за формулами (5.3), перевірка режиму різання за паспортною потужністю верстата;
- розрахунок машинного (основного) часу зенкерування, хв: $T_{маш} = L/nS_0$, де $L = l + l_1 + l_2$; l – глибина отвору; l_1 – довжина ділянки врізання; l_2 – довжина перебігу (у разі оброблення глухих отворів $l_2 = 0$).

6.3. Розгортання

Розгортання відрізняється від зенкерування порівняно малою глибиною різання t та особливою конструкцією інструменту – наявністю циліндричної калібрувальної частини, великою кількістю зубів z (не менше ніж шість), високою точністю виготовлення. Тому розгортання забезпечує високу точність обробки отворів.

За формою оброблюваних отворів розрізняють циліндричні, конічні й східчасті розвертки, за способом використання – машинні й ручні.

Робоча ділянка 5 циліндричних ручних розверток (рис. 6.15) складається з напрямного конуса 1, різальної 2 і калібрувальної 3 частин і ділянки протилежної конусності 4.

Кут забірного конуса 2φ ручних розверток ($\varphi = 0,5...1,5^\circ$) значно менший, ніж машинних ($\varphi = 15...30^\circ$).

На задній поверхні калібрувальних зубів розміщено циліндричну стрічку завширшки $f = 0,03...0,25$ мм, що дає можливість під час заточування по передній поверхні зберегти незмінним діаметр калібрувальної частини.

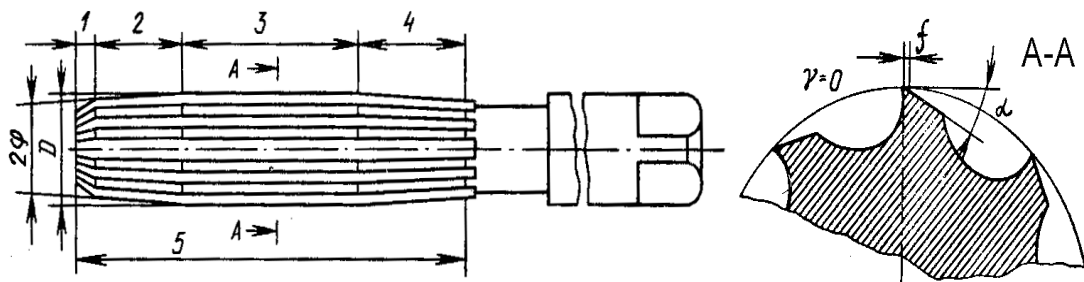


Рис. 6.15. Циліндрична ручна розвертка

Протилежна конусність становить близько 0,01 мм для ручних і близько 0,07 мм для машинних розверток.

Як і зенкери, за *способом кріплення* розвертки поділяють на хвостові й насадні. Останні бувають цілісними й збірними – із вставними зубами (рис. 6.16, а).

Щоб підвищити якість процесу розгортання важкооброблюваних матеріалів, застосовують розвертки з нерівномірним кроком і спіральним розташуванням зубів.

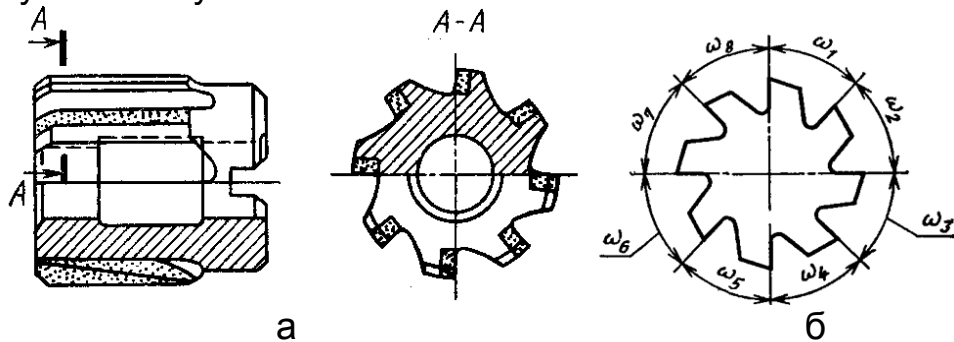


Рис. 6.16. Насадна розвертка збірної конструкції

Завдяки нерівномірному кроку розташування зубів (рис. 6.16, б) зменшуються вібрації й знижується шорсткість обробленої поверхні. Кутівий крок зубів ω вибирають так, щоб кожна пара різальних кромок лежала на одному діаметрі. Наприклад, якщо кількість зубів розвертки $z = 8$, то при середньому значенні кутівого кроку $\omega = 45^\circ$ беруть: $\omega_1 = 42^\circ$, $\omega_2 = 44^\circ$, $\omega_3 = 46^\circ$, $\omega_4 = 48^\circ$, $\omega_5 = 42^\circ$, $\omega_6 = 44^\circ$, $\omega_7 = 46^\circ$, $\omega_8 = 48^\circ$.

Розвертка зрізає шари дуже малої товщини, тому вона спрацювується здебільшого по задній поверхні.

Під час розгортання застосовують *технологічний критерій* спрацювання – таку величину спрацювання h_z , коли розвертка не забезпечує потрібний квалітет точності й необхідну якість поверхневого шару. Для різних умов різання h_z відповідає фасці по задній грані збірної частини від 0,3 до 0,8 мм.

Середній період стійкості розверток T , який відповідає технологічному спрацюванню, лежить у межах 20...90 хв, причому розвертки великих діаметрів мають більший період стійкості, ніж розвертки малих діаметрів.

Розгортання здійснюють у два переходи, припуск на чорнове розгортання становить 0,15...0,5 мм, на чистове – 0,05...0,2 мм залежно від діаметра отвору й матеріалу заготовки. Перед розгортанням отвір зенкують.

Найкращого центрування й зменшення величини розбивання отвору досягають у разі розгортання на витяжку, коли стрижень розвертки працює на розтягування.

Для розгортання визначено дві групи подач: перша – для чорнового розгортання під подальше чистове, друга – для чистового розгортання після чорнового або однократного розгортання.

Порядок розрахунку режиму різання під час розгортання, структурний вигляд емпіричних формул для визначення подачі, швидкості різання, осьової сили й крутного моменту такі самі, як і для свердлення або зенкерування. Відмінність полягає тільки в різних значеннях констант і степеневих показників.

6.4. Комбіновані інструменти

Комбіновані інструменти використовують для поєднання декількох операцій або технологічних переходів. Такі інструменти призначені або для оброблення однотипними інструментами, що різняться тільки розмірами (східчасті свердла або зенкери), або для оброблення інструментами різних типів (свердло-зенкер, зенкер-розвертка, свердло-мітчик і т. ін.).

Залежно від умов оброблення й конструкції комбінованих інструментів оброблення здійснюється за паралельною або послідовною схемою.

Під час оброблення за *паралельною схемою* (рис. 6.17, в) усі різальні леза комбінованого інструменту одночасно беруть участь у різанні, а під час оброблення за послідовною схемою різальні леза інструменту беруть участь у роботі послідовно групами (рис. 6.17, а, б, г).

Наприклад, під час оброблення свердлом-мітчиком (див. рис. 6.17, г) спочатку працюють різальні леза свердла, а потім – мітчик. Інструменти, що працюють за паралельною схемою (див. рис. 5.17, в), забезпечують менше відхилення взаємного положення оброблюваних поверхонь і більш високу продуктивність обробки.

Залежно від конкретних умов (типу інструменту, особливостей заточування, розташування різальних лез у просторі) комбіновані інструменти виготовляють цілісними або збірними (див. рис. 6.17, б).

Як цілісні, так і збірні інструменти виготовляють на базі стандартних інструментів або оснащують змінними непереточуваними пластинами, що значно здешевлює комбіновані інструменти й розширює сферу їх використання.

Основну увагу під час експлуатації комбінованих інструментів приділяють їх правильному заточуванню, складанню, ефективному відведенню стружки й раціональному охолодженню. Під час заточування й складання інструментів необхідно стежити за тим, щоб різальні кромки перекривали одна одну в місцях стику, інакше буде мож-

ливим затиснення стружки або неякісне оброблення поверхні.

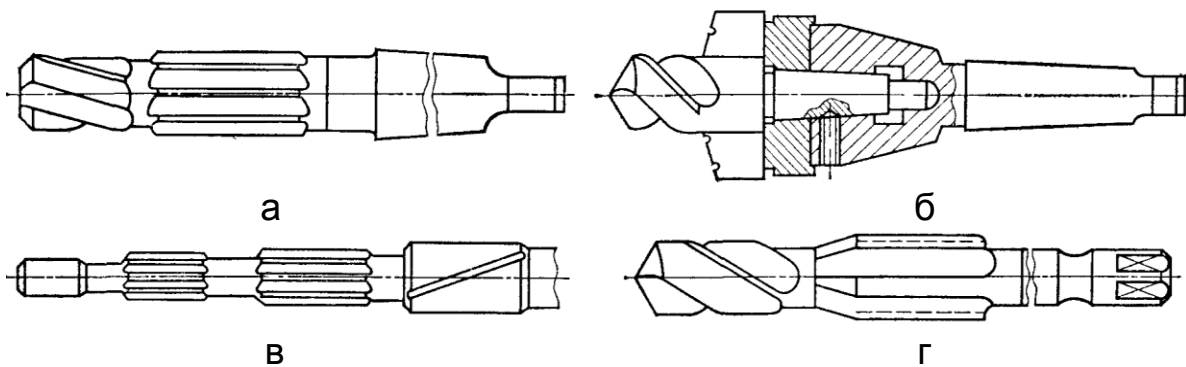


Рис. 6.17. Комбіновані інструменти: а – зенкер-розвертка; б – свердло-свердло; в – розвертка-розвертка; г – свердло-мітчик

Ефективному відведенню стружки сприяють стружкороздільні канавки на різальних лезах (див. рис. 6.17, б). У всіх випадках, організовуючи відведення стружки, необхідно уникати появи зустрічних і зштовхувальних потоків стружки.

Конструктивна складність і висока вартість комбінованих інструментів оправдовуються тільки у випадку їх використання у великoserійному й масовому виробництві.

Контрольні запитання

1. Які показники економічної точності мають свердлення, зенкування, розгортання як процеси оброблення отворів?
2. Наведіть основні геометричні параметри спірального свердла.
3. Які форми заточування різальної частини свердла застосовують під час свердлення високоміцних матеріалів?
4. Назвіть основні види спеціальних свердел та їхні геометричні параметри.
5. Які характерні ділянки свердла спрацьовуються, від чого залежить допустиме спрацювання?
6. Який порядок розрахунку режиму різання під час свердлення?
7. Які різновиди зенкерів застосовують для оброблення отворів?
8. Які геометричні параметри має різальна частина зенкера?
9. Який порядок розрахунку режиму різання під час зенкування?
10. Назвіть складові робочої ділянки циліндричної розвертки.
11. За рахунок чого можна підвищити якість процесу розгортання важкооброблюваних матеріалів?
12. У чому полягає суть технологічного критерію спрацювання розверток?
13. Наведіть приклади комбінованих інструментів для паралельної й послідовної схем оброблення отворів.

7. ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ФРЕЗЕРУВАННЯМ

7.1. Призначення й основні види фрезерування

Фрезерування – поширений у технології виробництва деталей ЛА процес оброблення плоских і фасонних поверхонь багатозубчастим різальним інструментом – фрезою.

Як свідчить практика, 55 – 60 % від обсягу фрезерних робіт доцільно виконувати на верстатах з ЧПК. Щоб поліпшити обслуговування й підвищити ефективність, ці верстати зазвичай групують у спеціалізовані цехи.

Кінематика процесу фрезерування характеризується двома рухами (див. рис. 2.3, в): швидке обертання інструменту навколо своєї осі – різання; поступальне переміщення заготовки, закріпленої на столі верстата, – подача. Під час обертання фрези зубці послідовно врізаються в заготовку й видаляють припуск оброблюваного матеріалу.

У процесі фрезерування розрізняють такі види обробки:

– *груба* – оброблення з великим і нерівномірним припуском понад 8 мм, а також оброблення по кірці гарячештапованих заготовок і поковок;

– *чорнова* – оброблення з відносно рівномірним припуском, без кірки, з глибиною різання від 3 до 8 мм;

– *напівчистова* – оброблення з рівномірним припуском і глибиною різання від 1,5 до 3 мм, висотою мікронерівностей обробленої поверхні не більше, ніж $R_z = 40$ мкм;

– *чистова* – обробка з рівномірним припуском і глибиною різання до 1,5 мм, висотою мікронерівностей обробленої поверхні не більшою за $R_z = 20$ мкм.

З точки зору специфіки програмування фрезерні операції прийнято класифікувати за кількістю осей верстата з ЧПК, що одночасно використовуються для виконання цієї операції.

Під час так званого *2,5-координатного (2,5D)*, або плоского, оброблення одночасно використовується не більше двох осей. Третя вісь править за установлювальну для підведення й відведення інструменту. 2,5-координатне фрезерування призначене для оброблення циліндричних і плоских поверхонь (контурів), напрямні й твірні яких паралельні до осі інструменту. У цьому разі оброблення здійснюється бічною поверхнею циліндричних або конічних фрез. Інше призначення 2,5-координатного фрезерування – оброблення площин, перпендикулярних до осі інструменту.

3-координатне (3D) фрезерування з використанням одночасно

трьох осей верстата призначене для об'ємного оброблення поверхонь при незмінному напрямі осі інструменту в просторі. Решту різновидів багатокординатної фрезерної обробки прийнято вважати спеціалізованими.

7.2. Різновиди фрез та їх геометрія

Лезовим інструментом згідно з ГОСТ 25751–83 називають різальний інструмент із заданою кількістю лез певної форми. Різальні зуби лезового інструменту призначені для видалення із заготовки заданого шару припуску. Серед усіх видів лезового інструменту фрези виділяються найбільшою різноманітністю.

За формою різальних зубів фрези бувають двох типів:

– незатіловані (гострозаточені) – фрези з зубами, твірна задньої поверхні яких – пряма лінія (рис. 7.1, а);

– затіловані – фрези з зубами, твірна задньої поверхні яких – спіраль Архімеда; форма задньої поверхні леза забезпечує незмінність профілю різальної кромки під час повторного заточування по передній поверхні (рис. 7.1, б).

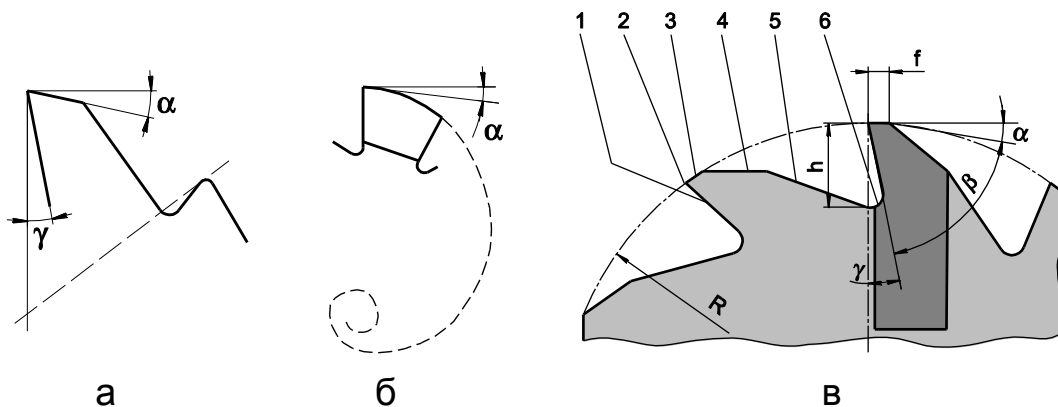


Рис. 7.1. Елементи зуба фрези: а, б – форми зубів; в – порівняння елементів токарного різця й зуба фрези

Фрези першого типу простіші у виготовленні, забезпечують вищу стійкість і меншу висоту мікронерівностей. Однак під час заточування таких фрез по передній поверхні змінюється профіль різальної кромки зуба. Тому їх використовують для фрезерування площин.

У затілованих фрезах у разі заточування зубів по передній поверхні зберігається незмінним профіль різальної кромки зуба. Їх застосовують для фрезерування фасонних криволінійних поверхонь.

За аналогією з токарними різцями поверхні й різальні кромки зубів фрези (рис. 7.1, в) мають такі назви: 1 – передня поверхня леза A_γ ; 2 – головна різальна кромка; 3 – головна задня поверхня леза A_α ; 4 – допоміжна задня поверхня A'_α ; 5 – спинка зуба; 6 – радіус

заокруглення дна канавки.

Конфігурація оброблюваної поверхні й вид устаткування визначають тип використовуваної фрези. Для скорочення основного технологічного часу й витрат інструментального матеріалу діаметр фрези вибирають, якщо можна, найменшим, враховуючи при цьому жорсткість технологічної системи, схему різання, форму й розміри оброблюваної заготовки.

Існують такі типи фрез:

– за *місцем розташування різальних зубів* на корпусі – циліндричні (рис. 7.2, а), дискові – односторонні (відрізні), дво- й тристоронні (рис. 7.2, б), кінцеві (рис. 7.2, в), торцеві (рис. 7.2, г, д), фасонні з опуклим і ввігнутих профілями (рис. 7.2, е);

– за *напрямом різальних зубів відносно осі* – прямозубі (рис. 7.2, б, д), із спіральним розташуванням зубів $\omega > 0$ (рис. 7.2, а, в, г);

– за *способом установлення на верстаті* – насадні (рис. 7.2, а, б, е), хвостові (рис. 7.2, в, г, д) – із конічним або циліндричним хвостовиком, що закріплюються безпосередньо в шпинделі верстата або з допомогою цанги;

– за *видом інструментального матеріалу* – швидкорізальні, твердосплавні, алмазні, ельборові;

– за *конструкцією* – цілісні (зазвичай зі швидкорізальних сталей), з напайними пластинами (твердосплавні), із круглими й багатогранними непереточуваними пластинами, зі вставними (див. рис. 7.2, г, д) зубами.

Насадні фрези (див. рис. 7.2, а, б, е) установлюють на оправці, причому для оброблення декількох поверхонь на одній оправці може бути закріплений набір фрез.

Для всіх видів фрезерування (див. рис. 7.2) глибина фрезерування t – відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями, ширина фрезерування B – розмір обробленої за один робочий хід поверхні.

У разі оброблення циліндричними, торцевими, дисковими, кінцевими, фасонними й фрезами інших типів параметр, що вимірюється за напрямом, паралельним до осі фрези, є шириною фрезерування B , а параметр, що вимірюється за напрямом, перпендикулярним до осі фрези, є глибиною фрезерування t .

Фрези виготовляють з дрібними (тип *I*) і великими (тип *II*) зубами. У випадку використання фрез із дрібними зубами зменшується об'єм стружкової канавки й знижується допустиме навантаження на зуб. Тому для чорнової обробки застосовують фрези із зубами типу *II*, а для чистової й напівчистової – фрези з зубами типу *I*.

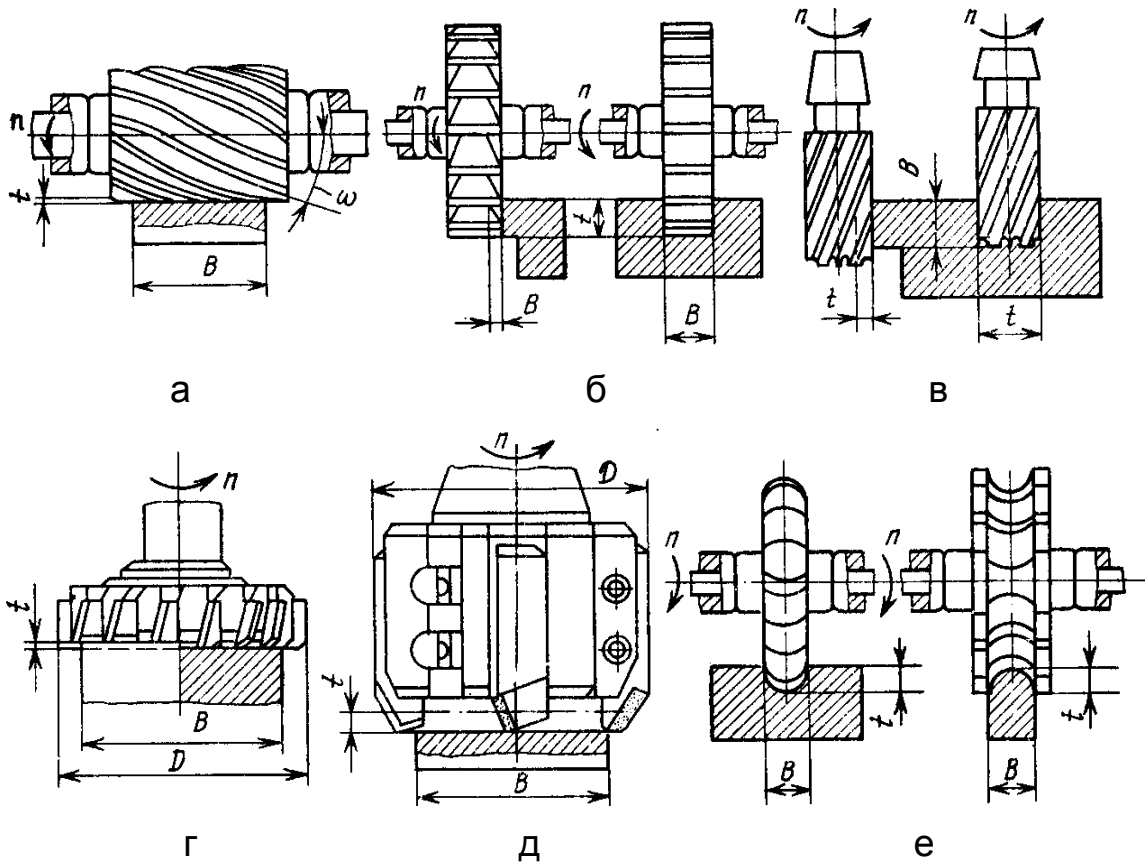


Рис. 7.2. Різновиди фрез: а – циліндричні; б – дискові; в – кінцеві; г, д – торцеві, е – фасонні

Згідно з ГОСТ 25751–83 фрези за напрямом обертання поділяють на право- й ліворізальні. *Праворізальні* – такі фрези, які під час оброблення обертаються за годинниковою стрілкою, якщо на фрезу дивитися з боку кріпильної частини. *Ліворізальні* фрези під час оброблення обертаються проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку кріпильної частини. Вибір типу й розміру фрези залежить від конкретних умов оброблення (розміру оброблюваної заготовки, марки оброблюваного матеріалу, величини припуску на обробки та ін.).

7.2.1. Типи й зони фрезерного оброблення

Усі численні операції фрезерування можна поділити на два основні типи обробки:

- *торцеве фрезерування*, що здійснюється зубами, розташованими на торцевій частині фрези (рис. 7.3, а);
- *циліндричне фрезерування*, коли різання здійснюється зубами, розташованими на твірній циліндра (рис. 7.3, б).

Інші різновиди фрезерування є комбінаціями цих двох типів.

Торцеві фрези. Застосовуються для оброблення плоских поверхонь на вертикальних і горизонтально-фрезерних верстатах і забез-

печують вищу продуктивність, ніж циліндричні. Діаметр фрези D має бути приблизно на 20 % більшим від ширини фрезерування B (див. рис. 7.2, г, д). Кожний зуб торцевої фрези (рис. 7.3, а) можна розглядати як прохідний токарний різець, який має головну різальну кромку з головним кутом у плані $\varphi = 30...90^\circ$ і допоміжну різальну кромку з кутом φ_1 . З'єднання головної і допоміжної кромки має вигляд перехідної різальної кромки з кутом $\varphi_0 = 0,5\varphi$.

Цілісні торцеві фрези виготовляють діаметром $D = 40...100$ мм, а збірні – діаметром $D = 80...630$ мм із зубами зі швидкорізальних сталей або твердих сплавів.

У промисловості широко застосовуються торцеві фрези з багатогранними твердосплавними пластинами, а також із зубами з надтвердих матеріалів (НТМ).

Зуби фрез виготовляють із швидкорізальних сталей марок Р6М3, Р6М5К5, Р9К10, Р14К5Ф5, а також із твердих сплавів марок ВК8, ВК10, Т14К8.

Для підвищення стійкості проти спрацювання на робочі поверхні зубів фрез наносять багат шарові зносостійкі покриття. Освоєно серійний випуск торцевих фрез діаметром 125...800 мм з механічним кріпленням круглих і багатогранних пластин із НТМ на основі нітриду бору, що мають зменшене торцеве биття зубів – від 0,002 до 0,012 мм.

Циліндричні фрези. Застосовуються для оброблення поверхонь на горизонтально-фрезерних верстатах. Виготовляють їх діаметром 40...250 мм і завдовжки до 160 мм цілісними або збірними.

Геометричні параметри різального клина циліндричної фрези (рис. 7.3, б):

– *передній кут γ* – кут у головній січній площині А – А між дотичною до передньої поверхні у заданій точці x леза й радіусом фрези в тій самій точці;

– *кут нахилу гвинтової лінії $\omega = 20...45^\circ$* ;

– *задній кут α* – кут у торцевій площині між дотичною до задньої поверхні й дотичною до кола, утвореного обертанням точки x навколо осі фрези ($\alpha = 15...25^\circ$).

Головна різальна кромка циліндричних фрез може бути прямолінійною (за твірною циліндра), похилою до твірної циліндра або гвинтовою. Допоміжної різальної кромки циліндричні фрези не мають.

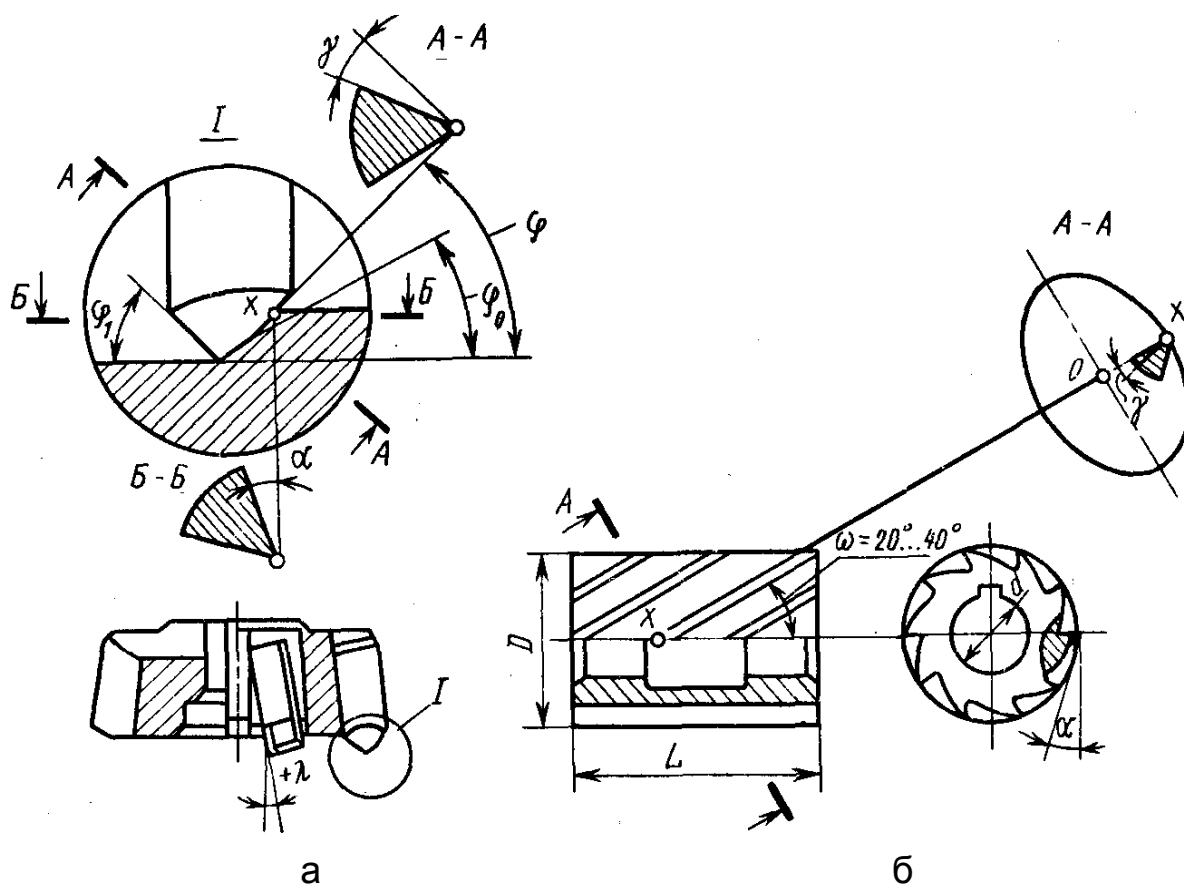


Рис. 7.3. Геометрія торцевої (а) і циліндричної (б) фрез

Під час фрезерування виділяють певні зони оброблення (рис. 7.4) – відкриті, напіввідкриті, закриті й комбіновані.

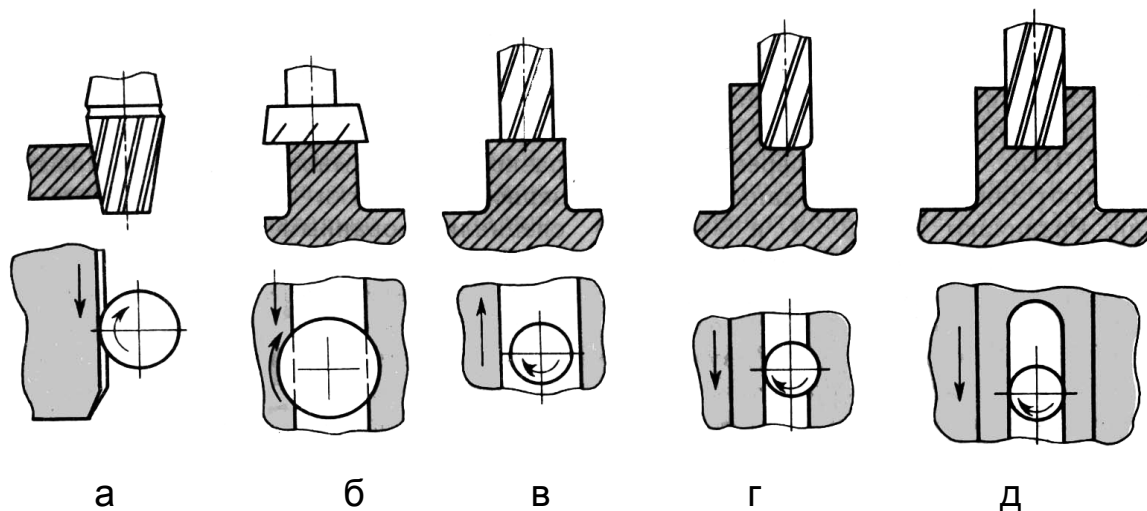


Рис. 7.4. Зони оброблення під час фрезерування:
а – в – відкриті; г – напіввідкрита; д – закрита

До відкритих зон (див. рис. 7.4, а – в) відносять ділянки оброблення, які не накладають обмежень на переміщення фрезерного ін-

струменту вздовж його осі або в площині, перпендикулярній до цієї осі. У напіввідкритих зонах (див. рис. 7.4, г) переміщення фрезерного інструменту обмежені як уздовж осі інструменту, так і в площині, перпендикулярній до неї. У закритих зонах (рис. 7.4, д) переміщення фрезерного інструменту обмежене у всіх напрямках. Комбіновані зони формуються з описаних вище внаслідок з'єднання декількох оброблюваних поверхонь різних типів.

У випадку плоского оброблення внутрішні з'єднання з постійним радіусом формуються за рахунок відповідної конфігурації фрезерного інструменту. Щоб забезпечити технологічність під час виготовлення деталі, такі з'єднання слід виконувати з однаковим, типовим для конкретного контуру або заготовки радіусом.

7.2.2. Схеми формування траєкторії фрези

Для програмування фрезерного оброблення використовують типові схеми формування траєкторії фрези.

Існують дві основні схеми формування траєкторії фрези: зигзагоподібна й спіралеподібна [4].

У разі *зигзагоподібної* схеми інструмент у процесі оброблення здійснює рухи в протилежних напрямках уздовж паралельних рядків.

Зигзагоподібна схема має декілька різновидів залежно від порядку обходу меж оброблення:

- без обходу меж оброблення (рис. 7.5, а);
- із проходом уздовж меж наприкінці оброблення (рис. 7.5, б);
- з попереднім проходом уздовж меж (рис. 7.5, в).

Попереднє прорізування меж (див. рис. 7.5, в) забезпечує симетрію різання для інструменту в процесі виконання цього робочого ходу, а також полегшує умови роботи інструменту під час подальшого оброблення на початку та в кінці кожного рядка.

Основний недолік зигзагоподібної схеми – змінний характер фрезерування: уздовж одного рядка оброблення виконується у напрямі подачі, уздовж наступного – у протилежному напрямі, що негативно впливає на точність та якість обробки.

У випадку *спіралеподібної* схеми оброблення здійснюється коловими рухами інструменту вздовж зовнішньої межі області на різних відстанях від неї.

Спіралеподібна схема забезпечує найкращу обробку за рахунок незмінного напрямку фрезерування.

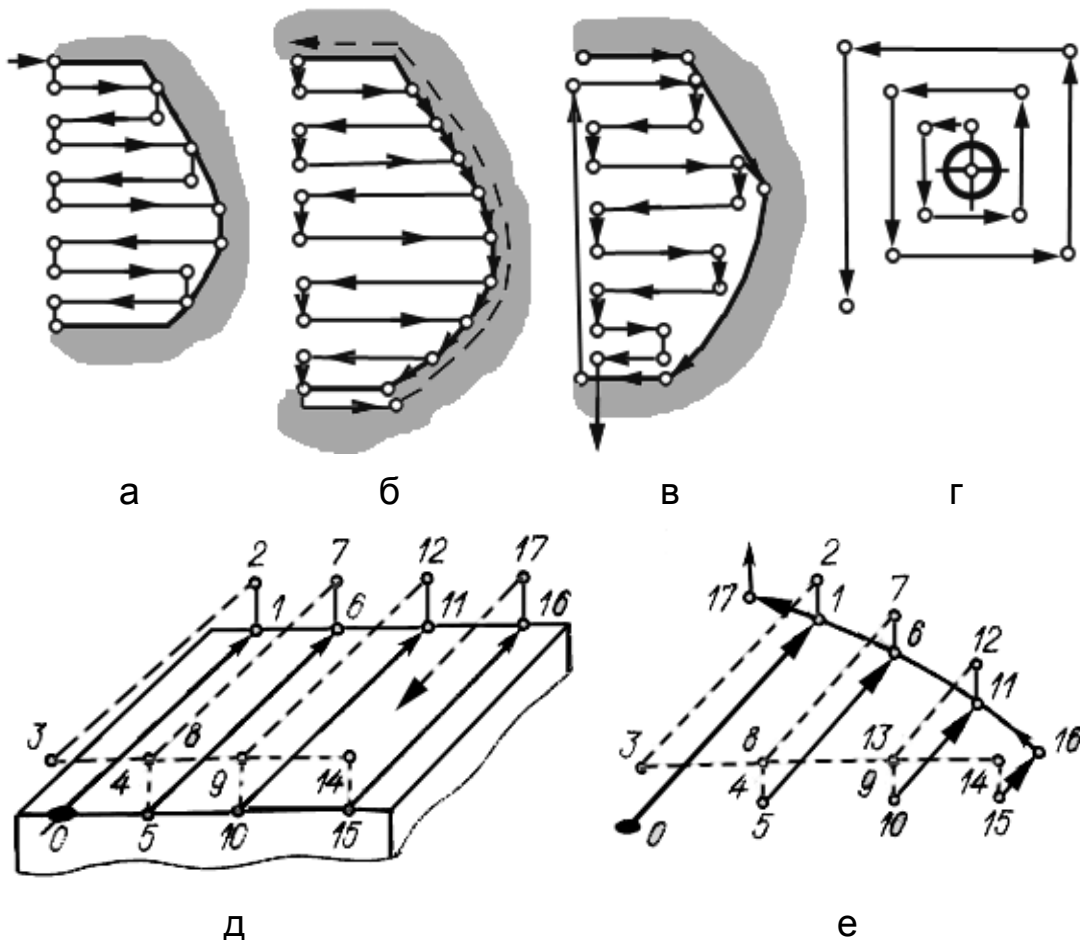


Рис. 7.5. Типові схеми формування траєкторії:
а, б, в – зигзагоподібні; г – спіралеподібна; д, е – Ш-подібні

Спіралеподібна схема має два основні види, один з яких характеризується рухом інструменту від центра області до периферії (рис. 7.5, г), а другий, навпаки, – від межі області до її центра. Використовуючи ці схеми, слід мати на увазі, що під час оброблення колодязів з тонким дном у деталях з алюмінієвих сплавів може статися підривання дна наприкінці оброблення за схемою "від периферії до центра".

Витримати незмінним характер фрезерування можна також з допомогою схем Ш-подібного типу. Інструмент після виконання робочого ходу вздовж рядка відводять на невелику відстань від оброблюваної поверхні й на прискореній подачі допоміжного ходу повертають назад. Ш-подібна схема може мати такі ж різновиди, що й зигзагоподібна: без обходу меж (рис. 7.5, д); із проходом уздовж меж наприкінці оброблення області (рис. 7.5, е). Суттєвим недоліком цієї схеми є велика кількість допоміжних ходів.

7.2.3. Схеми різання під час фрезерування

Під час фрезерування циліндричними, дисковими, кутовими й фасонними фрезами застосовують дві схеми різання для знімання припуску: зустрічне й збіжне фрезерування (рис. 7.6).

Фрезерування, під час якого фреза й заготовка рухаються назустріч одна одній, називають *зустрічним*.

Фрезерування називають *збіжним*, якщо напрями руху фрези й заготовки збігаються.

Зі схем різання під час фрезерування видно, що товщина зрізу a є змінною величиною: у разі зустрічної схеми a зростає від нуля до a_{max} , а у випадку збіжної схеми, навпаки, зменшується від a_{max} до нуля.

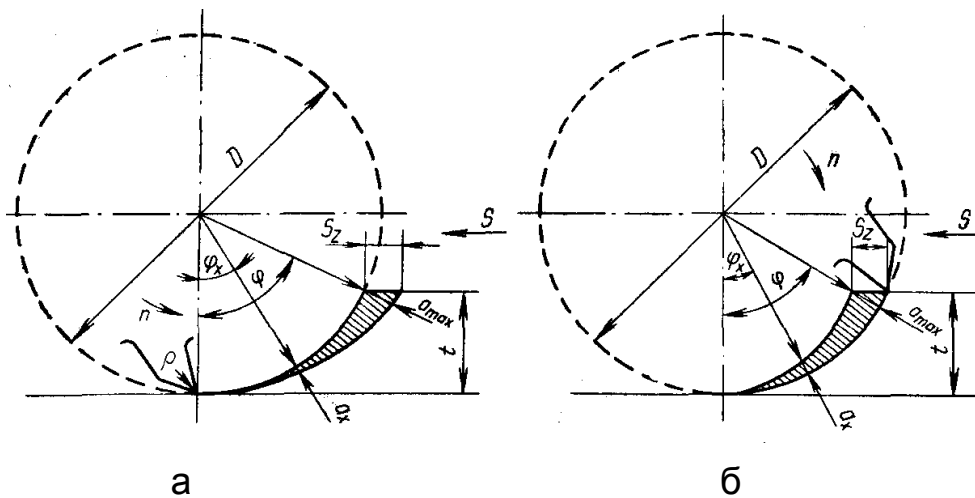


Рис. 7.6. Схеми різання під час зустрічного (а) і збіжного (б) циліндричного фрезерування

Максимальна товщина зрізу для обох схем різання $a_{max} = S_z \sin \varphi$, де кут φ – кут контакту зуба фрези. Максимальна товщина зрізу залежить не лише від подачі на зуб S_z , але й від співвідношення t/D :

$$a_{max} = 2S_z \sqrt{t/D - (t/D)^2}.$$

За умов *зустрічної* схеми різання навантаження на зуби зростає поступово. Цю схему доцільно застосовувати для чорнових операцій, оскільки припуск знімають з-під кірки. Недоліком цієї схеми є те, що на початку роботи через наявність скруглення леза зуба фрези радіусом ρ кожний зуб не ріже, а ковзає по оброблюваній поверхні, зміцнюючи (наклепуючи) її. Особливо інтенсивним наклепування буде у разі різання в'язких нержавіючих та інших важкооброблюваних матеріалів. Тому під час чистового й напівчистового фрезерування таких матеріалів ефективнішим буде збіжне фрезерування, оскільки проковзуван-

ня зубів на виході є значно меншим, стійкість фрез збільшується вдвічі-втричі.

Під час *торцевого* фрезерування незалежно від напрямку обертання фрези є наявними обидві схеми різання – зустрічна й збіжна (рис. 7.7).

У тій частині заготовки *a*, де вектор головного руху (обертання фрези) D_r збігається з напрямком руху подачі заготовки D_s , фрезерування відбувається як збіжне. Відповідно у частині заготовки *b*, де вектори головного руху й рух подачі напрямлені назустріч один одному, фрезерування відбувається за схемою зустрічного різання.

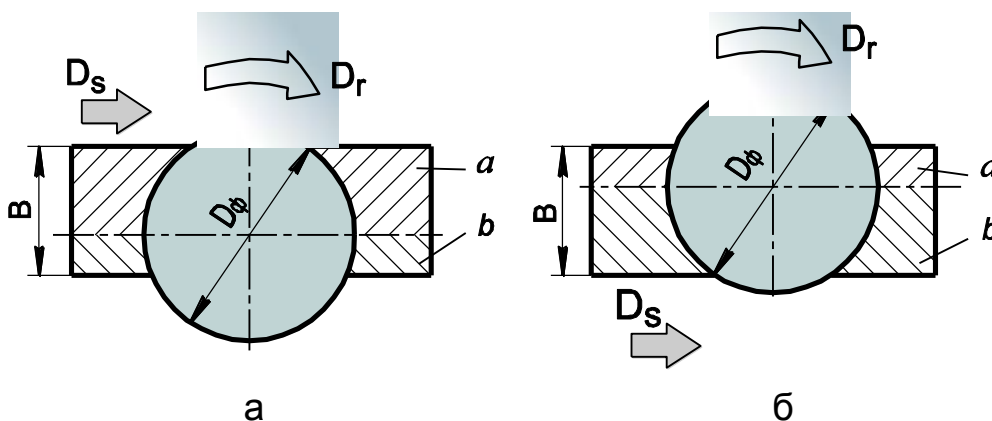


Рис. 7.7. Схеми різання під час збіжного (а) і зустрічного (б) торцевого фрезерування

Слід уникати небезпеки «підривання» заготовки, для чого у випадку переміщення торцевої фрези частина заготовки *b* має бути ширшою за частину *a* (рис. 7.7, б).

Залежно від того, яким чином встановлено фрезу відносно заготовки, торцеве фрезерування може бути симетричним (рис. 7.8, а) і несиметричним (рис. 7.8, б).

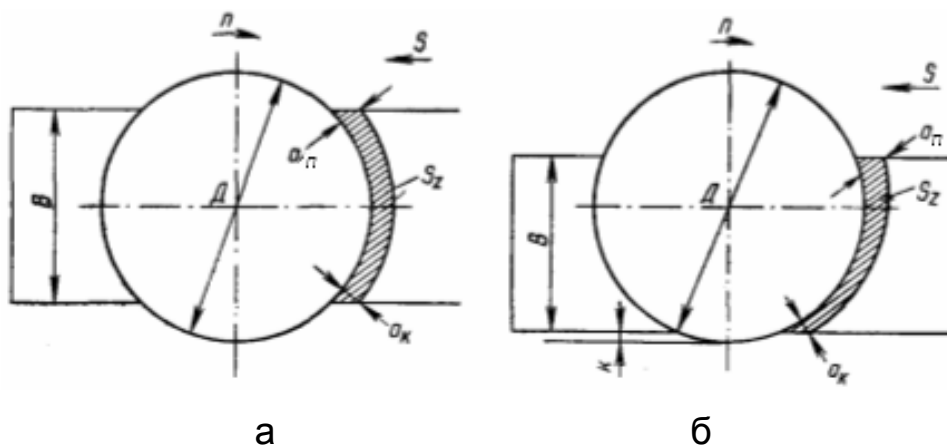


Рис. 7.8. Схеми симетричного (а) і несиметричного (б) торцевого фрезерування

У разі *симетричного* торцевого фрезерування початкова a_n і скінченна a_k величини товщини зрізу однакові й залежать від співвідношення B/D (оптимальний діапазон становить $B/D = 0,7...0,8$).

Несиметричне фрезерування дає можливість значно зменшити товщину зрізу a_k і, відповідно, зменшити нормальні й дотичні напруження на зубах у момент виходу.

При малих значеннях K суттєво зменшується адгезійне спрацювання фрез і підвищується їхня стійкість. Наприклад, під час фрезерування важкооброблюваних матеріалів, якщо $K \leq 5...8$ мм і $K/D \leq 0,05$, стійкість інструменту зростає в шість разів.

7.2.4. *Спрацювання й стійкість фрез*

Специфіка конструкції фрез і складний відносний рух зубів визначають низку особливостей процесу фрезерування. На відміну від точіння під час фрезерування спостерігається циклічне змінення теплового й механічного навантажень на зуби, змінення величин товщини й ширини зрізу. Крім того, фрезерування відрізняється переривистим характером роботи зубів. Під час контакту з заготовкою кожний зуб піддається періодичній динамічній і термічній дії, після чого починається період розвантаження й охолодження.

Тривалість різання становить соті й тисячні долі секунди, тому за секунду процес здійснюється кілька разів, а це може стати причиною механічної й термічної втоми інструменту.

Періодичне врізування зубів фрези в оброблюваний матеріал призводить до ударних навантажень і може викликати появу вимушених вібрацій.

Унаслідок періодичних динамічних і теплових навантажень відбувається спрацювання зубів фрез. Характер спрацювання фрез дещо відрізняється від характеру спрацювання різців, оскільки товщина зрізаного шару під час фрезерування є незначною. Через це спрацювання відбувається здебільшого по задній поверхні h_z і є обмеженим.

Для всіх типів фрез критерієм спрацювання є величина фаски спрацювання, що лежить у межах 0,3...1,2 мм залежно від умов різання й властивостей матеріалів.

Якщо кірки оксидів на поверхні заготовки немає, то збіжне фрезерування супроводжується менш інтенсивним спрацюванням, ніж зустрічне, і тому стійкість фрез буде у два – чотири рази вищою.

Крім поступового спрацювання зуби фрез можуть виходити з ладу через їхнє крихке й пластичне руйнування.

Крихке руйнування відбувається під впливом найбільших розтяжних напружень і є наслідком зародження й розвитку тріщин. Найчастіше відбувається крихке руйнування твердосплавних фрез і фрез із зубами із НТМ. При цьому розрізняють руйнування у вигляді викришування й сколювання.

Викришування виявляється у відділенні дрібних частинок поблизу різальної кромки й зазвичай пов'язане з поверхневими дефектами інструментального матеріалу, неоднорідністю мікроструктури й залишковими напруженнями. Викришування мало залежить від кута загострення β і може відбуватися навіть при малих значеннях подачі на зуб S_z . Різальна здатність фрези з викришеними зубами відновлюється після її заточування.

Сколювання – відділення великих об'ємів зуба, що перевищують об'єм клина в місці контакту передньої поверхні зуба зі стружкою, яке відбувається під час різання з занадто великими значеннями S_z і недостатніми кутами β , а також малими межами витривалості й в'язкості матеріалу зубів. У випадку сколювання різальна здатність фрез не відновлюється.

Пластичне руйнування характеризується течією тонких шарів інструментального матеріалу вздовж задньої поверхні й опусканням вершини зуба й виникає при занадто високих швидкостях різання і дуже високій температурі.

Допустиме спрацювання h_3 залежить від властивостей матеріалів заготовки й фрези, вимог до точності обробки та якості поверхні шару й становить $h_3 = 0,3...1,2$ мм. Для фрезерування жароміцних і титанових сплавів $h_3 = 0,5$ мм.

Стійкість проти спрацювання фрез змінюється в широких межах і залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, швидкості різання, типу й діаметра фрези, виду обробки (чорнова, чистова). Наприклад, період стійкості торцевих фрез із твердосплавних матеріалів $T = 90...240$ хв.

Під час фрезерування заготовок із жароміцних і титанових сплавів період стійкості фрез T можна підвищити в три – п'ять разів, застосувавши проміжне знеміцнювальне термооброблення заготовок.

7.3. Режим різання під час фрезерування

Режим різання під час фрезерування визначається такими параметрами:

– швидкість руху різання v , м/хв;

– швидкість руху подачі: подача на зуб S_z , мм/зуб; подача на оберт S_0 , мм/об; хвилинна подача S_m , мм/хв;

– глибина різання t , мм;

– ширина фрезерування B , мм.

Подача на зуб S_z – величина переміщення оброблюваної заготовки або фрези за час повороту на один зуб.

Подача на оберт S_0 – подача, що відповідає одному оберту інструменту або заготовки, тобто величина переміщення оброблюваної заготовки або фрези за один оберт.

Хвилинна подача S_m – величина переміщення оброблюваної заготовки або фрези за одну хвилину.

Взаємозв'язок окремих видів подачі має вигляд

$$S_z = S_0 n = S_z z n, \quad (7.1)$$

де n – частота обертання фрези, хв^{-1} ; z – кількість зубів фрези.

Допустима швидкість різання v залежить від багатьох чинників, і її визначають за формулою

$$v = \frac{c_v D^z k_u k_m k_\phi k}{T^m t^x S_z^y B^q z^\eta}, \quad (7.2)$$

де c_v – коефіцієнт, що характеризує умови оброблення (матеріали заготовки й фрези); k_u , k_m , k_ϕ , k – коефіцієнти, що враховують відповідно конструктивні особливості інструменту, стан матеріалу заготовки, вплив головного кута різального клина в плані і стан поверхневого шару заготовки (окалина, наклеп).

Значення сталих і показників степеня беруть із технологічних довідників [23].

Швидкість різання v і період стійкості T так само, як і під час точення, зв'язані залежністю $v = AT^{-m}$, де m – показник відносної стійкості.

Залежність (7.2) дає можливість оптимізувати елементи режиму різання й оцінити їхній взаємний вплив. Наприклад, у разі збільшення діаметра фрези D зменшується сила різання P_z , знижується теплонапруженість процесу, а тому допустима швидкість різання v збільшується.

Мінімально впливає на швидкість різання v ширина фрезерування B . Лише за умов важкого відведення тепла й малої жорсткості системи, наприклад, під час оброблення дисковими фрезами, інтенсивність спрацьовування зростає.

Під час збіжного фрезерування заготовок, які не мають поверхневої кірки оксидів, швидкість різання, отримана за формулою (7.2), може бути збільшена на 30...50 %.

Велика ефективність збіжного фрезерування характерна для більш в'язких матеріалів, які сильно зміцнюються в процесі стружкоутворення. Під час фрезерування заготовок із жароміцних і титанових сплавів швидкорізальними інструментами необхідно інтенсивно подавати МОР.

Продуктивність процесу фрезерування заготовок із жароміцних і титанових сплавів, високоміцних сталей часто знижується через виникнення вібрацій.

Причинами вібрацій можуть бути: занадто великий об'єм зрізу – ширина фрезерування B , подача S_z та особливо глибина різання t ; зміна перетину зрізу в процесі роботи; радіальне й торцеве биття зубів фрези, спричинене низькою якістю заточування, а також прогинанням оправки; періодичні збудження під час урізування й виходу з контакту окремих зубів фрези; недостатня жорсткість технологічної системи.

Для підвищення вібростійкості процесу під час напівчистої й чистої обробки доцільно застосовувати схему збіжного фрезерування, фрези з нерівномірним кроком і мінімальним биттям зубів, збільшувати жорсткість системи шляхом використання фрез з невеликим вилітанням зубів, коротких оправок і жорсткого кріплення заготовок.

7.3.1. Методика призначення режиму різання

Основні критерії вибору раціонального режиму різання для фрезерування такі самі, як і для інших видів обробки: максимально можливі глибина й ширина різання, технологічно допустима подача й відповідна швидкість різання.

Послідовність призначення режиму різання під час оброблення фрезеруванням:

1. Вибір конструкції й геометрії фрези й марки інструментального матеріалу. Для фрезерування сталей з $\sigma_b \leq 1400$ МПа застосовують фрези з зубами зі швидкорізальних сталей марок Р9М4К8 і Р6М5К5, а також із твердих сплавів марки ВК8 під час чорнової обробки і марок ВК3М, ВК6М під час чистових операцій. Під час оброблення високоміцних матеріалів, що мають $\sigma_b > 1400$ МПа, фрези слід оснащувати пластинами з твердих сплавів групи ВК.

2. Вибір глибини різання t . Величину t вибирають залежно від припуску на оброблення, потужності приводу й жорсткості верстата, способу закріплення заготовки.

3. Вибір подачі на зуб S_z . Основними чинниками, які обмежують величину S_z , є властивості оброблюваного матеріалу, міцність матеріалу й биття зубів, жорсткість оправки фрези й технологічної системи, вимоги до точності обробки та якості поверхневого шару.

4. Вибір періоду стійкості T . Цю величину зазвичай беруть у межах від 60 до 180 хв. Наприклад, для оброблення заготовок із жароміцних і нержавіючих сталей для кінцевих фрез беруть $T = 60$ хв, для циліндричних і дискових $T = 90$ хв, для торцевих фрез зі вставними зубами $T = 120$ хв.

5. Розрахунок допустимої швидкості різання v за формулою (6.2) або вибір v за довідником [23].

6. Розрахунок частоти обертання фрези, хв^{-1} : $n = 1000v / \pi D$.

7. Коригування значень n і S_m за паспортними даними верстата в бік зменшення.

8. Розрахунок потужності різання N_p і порівняння з потужністю верстата (повинна виконуватися умова $N_p < N_{cm}$).

9. Розрахунок машинного часу фрезерування: $T_{\text{маш}} = Li / S_m$, де $L = l + y + \Delta$; l – довжина робочого ходу; $y = \sqrt{t(D-t)}$ – довжина ділянки врізування; Δ – довжина ділянки перебігу (до 5 мм); i – кількість робочих ходів інструменту.

Контрольні запитання

1. Які види обробки розрізняють під час фрезерування?
2. Назвіть класи фрезерного оброблення залежно від кількості осей координатних переміщень.
3. Назвіть основні геометричні елементи різальної кромки фрези.
4. Як визначають ширину й глибину фрезерування для основних видів обробки?
5. Які зони оброблення виділяють під час фрезерування?
6. Назвіть дві типові схеми різання під час фрезерування.
7. Які особливості спрацьовування інструменту характерні для фрезерування?
8. Від чого залежить стійкість фрез?
9. Якими параметрами визначається режим різання під час фрезерного оброблення?
10. Наведіть послідовність призначення режиму різання під час фрезерування.

8. АБРАЗИВНІ МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ

Абразивні методи оброблення, що базуються на використанні абразивних інструментів, широко використовуються в авіаційній технології. Сфера їх застосування значна: у ливарних, зварювальних і заготівельних цехах – відрізання ливників, очищення відливків, зачищення зварних швів, розрізання високоміцних матеріалів; у механічних цехах – заточування лезових різальних інструментів, шліфування, хонінгування, суперфінішування, полірування.

Існують спеціальні методи абразивного оброблення – рідинно-абразивний, віброабразивний.

Абразиви – дрібнозернисті матеріали у вигляді монокристалів, полікристалів або їх осколків з гострими гранями, що мають високу твердість і здатні різати. Абразивні інструменти бувають із зв'язаними зернами (шліфувальні круги, головки, бруски, сегменти, стрічки) та у вигляді вільних зерен (пасти, суспензії, порошки).

8.1. Шліфування й абразивний інструмент

Шліфування є одним із продуктивних методів чистового й довідного оброблення різних поверхонь. Особливістю шліфування є одночасне мікрорізання декількома зернами, кожне з яких має декілька різальних лез. Радіус скруглення різальних кромek абразивних інструментів на відміну від лезових близький до нуля.

Абразивні інструменти характеризуються видом матеріалу, формою й розміром зерен, видом зв'язки, твердістю і структурою (рис. 8.1).

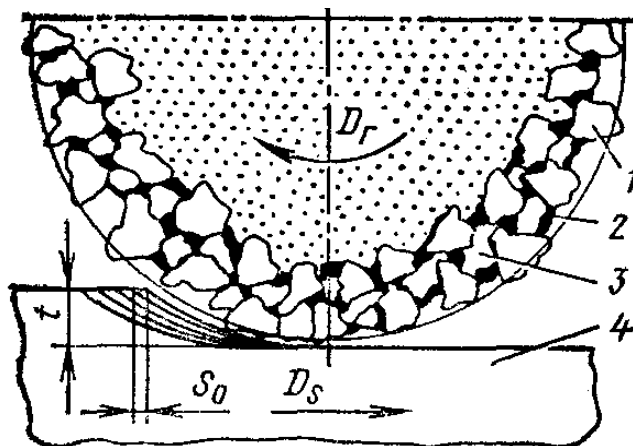


Рис. 8.1. Конструкція шліфувального круга й схема різання припуску: 1 – зерна; 2 – зв'язка; 3 – пори; 4 – заготовка

Абразивні матеріали. Абразивні матеріали поділяють на штучні (синтетичні) і природні. Для виготовлення абразивних інструментів використовують переважно штучні абразивні матеріали: електрокорунд, карбіди кремнію і бору, синтетичні алмази, кубічний нітрид бору.

Понад 70 % абразивних інструментів виготовляють з *електрокорунду*, який отримують шляхом плавлення глинозему в електричних печах. Основна складова електрокорунду – кристалічний оксид алюмінію. Залежно від його вмісту й домішок електрокорунд має різні кольори, структуру й властивості. Існують декілька різновидів електрокорунду: нормальний – марок від 12А до 16А; білий – марок від 22А до 25А, хромистий – марок від 32А до 34А; титанистий – марки 37А. Зерна монокорунду – марок від 43А до 45А – є окремими кристалами з великою кількістю різальних граней. Міцніші зерна хромистого й титанистого електрокорунду, а також монокорунду мають високі різальні властивості й застосовуються для шліфування виробів з високоміцних сплавів.

Карбід кремнію – хімічна сполука кремнію з вуглецем, яку отримують плавленням кварцового піску й коксу. Зерна карбіду кремнію мають вищу твердість, ніж зерна електрокорунду. Застосовуються два різновиди карбіду кремнію: чорний і зелений. Недоліками карбіду кремнію є висока крихкість і низька міцність. Для оброблення заготовок із сталей карбід кремнію непридатний, його застосовують для абразивного оброблення деталей з чавуну, бронзи, титанових і тугоплавких сплавів, для заточування твердосплавних інструментів.

Карбід бору – хімічна сполука бору з вуглецем, яку отримують плавленням борного ангідриду з нафтовим коксом. Карбід бору має високі твердість й крихкість і застосовується у вигляді порошку для довідних процесів і під час ультразвукового оброблення крихкого матеріалу.

Синтетичні алмази отримують у вигляді дрібних кристалів розміром зазвичай не більше 1 мм. Синтез алмазів відбувається під впливом на графіт високих тисків і температур. Синтетичні алмази залежно від міцності поділяють на п'ять марок: звичайної міцності – АС2, підвищеної міцності – АС4, високої міцності – АС6, монокристалні – АС15 і АС20.

Кубічний нітрид бору (КНБ), або ельбор, – абразивний матеріал, твердість якого близька до твердості алмазу, а теплостійкість удвічі вища – до 1600 °С. Ельбор буває звичайної (ЛЗ) і підвищеної (ЛП) міцності. Ельбор, як і алмаз, має виключно високі абразивні властивості й за зносостійкістю набагато перевищує всі відомі абразивні матеріали.

Зернистість абразивів. Абразивні матеріали за розміром зерен поділяються на чотири групи: шліфзерна – номери від 200 до 16 (мають зерна основної фракції розміром 2000...160 мкм); шліфпорошки – номери від 12 до 3 (зерна розміром 125...28 мкм); мікропорошки – від

M63 до M14 (зерна розміром 63...10 мкм); тонкі мікропорошки – від M10 до M1 (зерна розміром менше 10 мкм). Зернистість алмазів та ельбору позначають дробом, у чисельнику якого наводять найбільший, розмір зерна основної фракції в мікрометрах, а в знаменнику – найменший.

Алмазні абразиви поділяють на дві групи: шліфпорошки – від 630/500 до 50/40, мікропорошки – від 60/40 до 1/0. Порошки ельбору залежно від розміру зерен, методів їх контролю й отримання поділяють на три групи: шліфзерна зернистістю від ЛЗ 315/250 до ЛЗ 200/160, шліфпорошки – від ЛЗ 160/125 до ЛО 50/40, мікропорошки – від ЛМ 40/28 до ЛМ 5/3.

Зв'язувальні речовини (зв'язки). Зв'язка значно впливає на ефективність роботи абразивних зерен. Застосовують зв'язки трьох типів: неорганічні, органічні й металеві.

Неорганічні зв'язки – керамічна, магнезіальна, силікатна. Найбільш поширеною є керамічна зв'язка, яка складається з вогнетривкої глини, польового шпату, тальку. З неї виготовляють близько 60 % усіх абразивних інструментів. Ці інструменти теплостійкі, міцні, стійкі до хімічної дії і до дії вологи.

Органічні зв'язки – бакелітова (Б), гліфталева (Г) і вулканітова (В). Бакелітову зв'язку виготовляють із фенолформальдегідної смоли. Шліфувальні інструменти на такій зв'язці міцні, еластичні й можуть працювати на великих колових швидкостях, проте їхня хімічна й теплова стійкість невисока.

Круги на гліфталевій зв'язці мають підвищену пружність, їх застосовують для чистових операцій. Вулканітова зв'язка має високу міцність та еластичність, її використовують для виготовлення тонких відрізних кругів.

Металеві зв'язки МІ і МК, які складаються з металевої основи (порошків міді, олова, алюмінію) і наповнювача, застосовуються в алмазних кругах. Ці зв'язки забезпечують високу продуктивність та ефективне використання алмазних кругів.

Структура абразивного інструменту характеризується процентним вмістом абразивних зерен і визначається співвідношенням об'ємів шліфувального матеріалу, зв'язки й пор у ньому.

Розрізняють чотири групи абразивних інструментів за структурою: щільної структури – номери від 0 до 3, середньощільної – від 4 до 6, відкритої – від 7 до 12, високопористої – від 13 до 18. Нульова структура має найбільший об'єм зерен. Вибір інструменту за структурою залежить від його призначення, властивостей оброблюваного

матеріалу та інших умов оброблення. Найчастіше застосовуються інструменти середньощільної структури.

Твердість є важливою характеристикою абразивних інструментів. Під твердістю абразивного інструменту розуміють здатність зв'язки чинити опір проникненню в неї іншого тіла. Установлено сім класів твердості, які наведено в табл. 8.1. Вибираючи абразивний інструмент за твердістю, враховують фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу й вимоги до точності обробки та якості поверхні.

Таблиця 8.1

Класи твердості абразивних інструментів

Клас твердості	Позначення	Ступінь твердості
М'який	М	М1, М2, М3
Середньом'який	СМ	СМ1, СМ2
Середній	С	С1, С2
Середньотвердий	СТ	СТ1, СТ2, СТ3
Твердий	Т	Т1, Т2
Дуже твердий	ДТ	ВТ1, ВТ2
Надзвичайно твердий	НТ	НТ1, НТ2

Класи точності й незрівноваженості кругів. Під час виготовлення абразивних інструментів неминучими є відхилення різних параметрів: розмірів, форми, розташування поверхонь тощо.

Залежно від цих відхилень установлено три класи точності абразивних інструментів: АА, А, Б.

Для абразивних кругів передбачено чотири класи незрівноваженості: 1, 2, 3, 4-й. У маркуванні інструменту клас незрівноваженості круга вказують після класу точності.

Типаж абразивних інструментів. Цілісні й збірні інструменти, що застосовуються для абразивного оброблення, залежно від форми поділяють на шліфувальні круги плоскі прямого профілю (ПП) і з виступом (ПВ), диски (Д), тарілки (Т), чашки конічні (ЧК), головки циліндричні (ГЦ), бруски хонінгувальні (БХ), форми яких зображено на рис. 8.2, та абразивні стрічки.

Наведемо конкретний приклад маркування шліфувального круга: ПП 500х60х305 34А 40 СТ2 6 К5 35 м/с А 1 кл. Тут вказано тип круга (ПП) і його розмір (500х60х305), марку абразивного матеріалу (34А), зернистість та індекс зернистості (40), твердість (СТ2), структу-

ру (6), вид зв'язки (K5), допустиму колову швидкість (35 м/с), клас точності (A), клас незрівноваженості (1 кл).

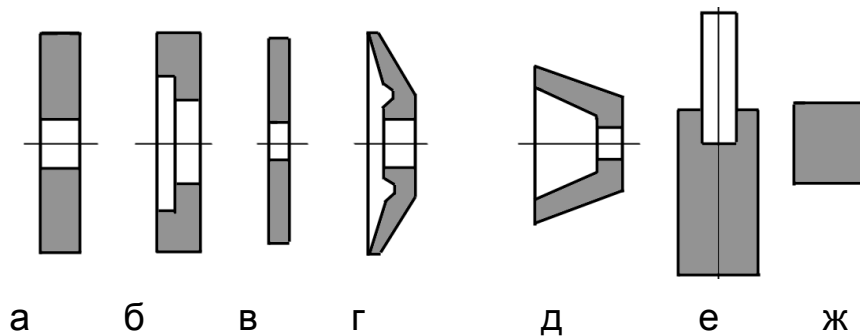


Рис. 8.2. Форми абразивних інструментів:
а – ПП; б – ПВ; в – Д; г – Т; д – ЧК; е – ГЦ; ж – БХ

Маркування алмазних та ельборових кругів відрізняється від маркування абразивних. Після позначення геометричних розмірів круга йде його характеристика, наприклад *АС4 100/80 150 М15*, де АС4 – матеріал зерен (алмаз синтетичний); 100/80 – інтервал зернистості, мкм; 150 – умовна концентрація алмазів; М15 – матеріал зв'язки (М – металева).

8.2. Види шліфування

У разі *обдирного* шліфування економічна точність оброблення відповідає 6 – 9-му квалітетам, шорсткість $R_a = 1,2...2,5$ мкм.

Чистове шліфування забезпечує економічну точність за 5 – 6-м квалітетом і шорсткість $R_a = 0,2...1,2$ мкм.

Залежно від виду оброблюваної поверхні (зовнішня або внутрішня) та її форми розрізняють кінематичні схеми шліфування – оброблення тіл обертання, плоских, нарізних, зубчастих, шліцьових і фасонних поверхонь.

Головний рух під час шліфування – обертання шліфувального круга з коловою швидкістю v_k , м/с:

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{6 \cdot 10^4}. \quad (8.1)$$

За технологічними умовами розрізняють такі види шліфування: звичайне ($v_k \leq 35$ м/с), швидкісне ($v_k = 40 \dots 55$ м/с), високошвидкісне ($v_k \geq 60$ м/с).

Безперервність процесу різання й багатоходове оброблення під час шліфування забезпечують головний рух різання, зумовлений обертанням круга, і рух подачі.

Існує три види подач у процесі шліфування:

1. Подача в тангенціальному напрямі відносно обводу круга. У

разі круглого шліфування цей вид подачі визначається коловою швидкістю обертання деталі v_d , м/хв.

2. Подача в напрямі, що збігається з віссю обертання шліфувального круга. При круглому шліфуванні цю подачу називають поздовжньою S_{nz} і вимірюють у частках від ширини B шліфувального круга на один оберт деталі, мм/об.

3. Подача в напрямі, перпендикулярному до оброблюваної поверхні. Її називають поперечною S_{nn} (S_t) і задають величиною переміщення за один хід круга (мм/хід) або подвійний хід стола (мм/подв. хід). Для круглого шліфування за відсутності поздовжньої подачі цю подачу задають на один оберт деталі (мм/об).

Основні види шліфування абразивними кругами: зовнішнє й внутрішнє кругле; безцентрове; плоске. Спеціальні види шліфування: зубшліфування, різешліфування, шлицешліфування, шліфування робочих частин різальних інструментів. Шліфування в центрах застосовують для оброблення зовнішніх циліндричних, конічних і фасонних поверхонь.

Зовнішнє кругле шліфування має три різновиди:

- поздовжнє (або багатоходове) плоским кругом (рис. 8.3, а, б);
- глибинне плоским кругом з конічною фаскою (рис. 8.3, в);
- врізне (рис. 8.3, г, д) плоским або фасонним кругом для деталей з прямолінійною або криволінійною твірною.

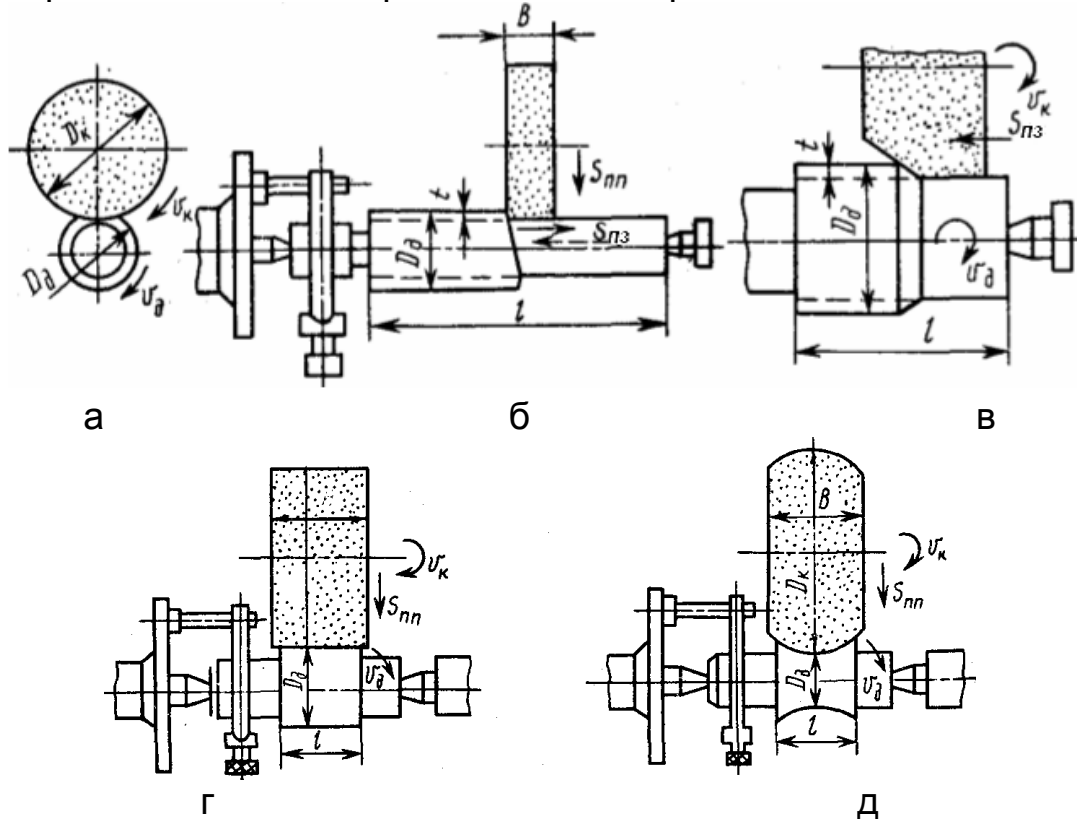


Рис. 8.3. Схеми зовнішнього круглого шліфування в центрах

Внутрішнє кругле шліфування має два різновиди – патронне (рис. 8.4, а) і планетарне (рис. 8.4, б).

Внутрішнє кругле патронне шліфування застосовують для оброблення невеликих заготовок, а внутрішнє кругле планетарне – для оброблення важких і громіздких заготовок.

В обох випадках здійснюється поздовжня подача шліфувального круга вздовж осі шліфованого отвору: у першому випадку – рухом шпindelної головки, у другому – рухом стола. Зазвичай діаметр круга в разі внутрішнього шліфування становить 0,7...0,9 від діаметра отвору заготовки. Залежно від діаметра отвору в разі попереднього шліфування глибина різання становить 0,005...0,02 мм, у разі чистового – 0,002...0,01 мм.

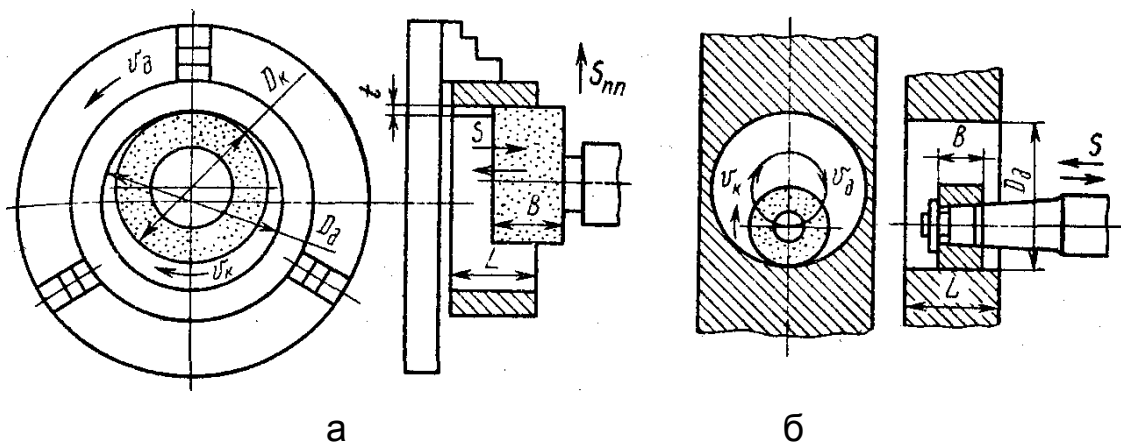


Рис. 8.4. Схеми внутрішнього круглого шліфування

Під час безцентрового зовнішнього шліфування (рис. 8.5) заготовку 1 установлюють між шліфувальним 3 і ведучим 4 кругами, а знизу її підтримує підпірка (ніж) 2. Поздовжнє переміщення заготовки забезпечується таким розташуванням кругів, коли їхні осі утворюють невеликий кут ν .

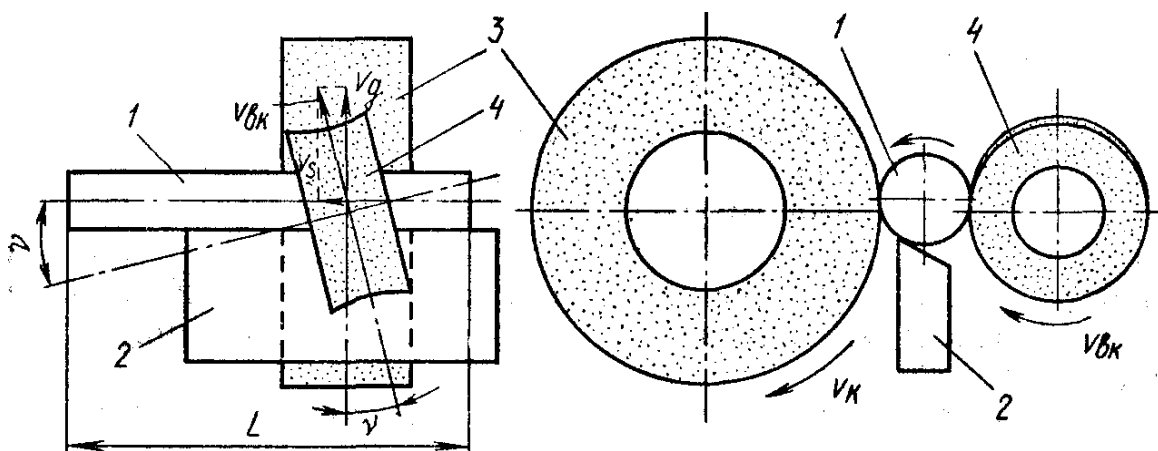


Рис. 8.5. Схема безцентрового зовнішнього шліфування

Плоске шліфування (рис. 8.6) застосовують зазвичай для обробки плоских поверхонь. Заготовки встановлюють і закріплюють найчастіше на магнітній плиті. У разі шліфування немагнітних заготовок застосовують також вакуумні столи.

Процес плоского шліфування можна здійснювати як периферією, так і торцем круга. Порівняно зі шліфуванням торцем круга шліфування його периферією має такі переваги: точніше оброблення, кращі показники якості обробленої поверхні, можливість оброблення заготовок малої твердості.

Під час плоского шліфування зворотно-поступальний рух поздовжньої подачі й переривчастий рух поперечної подачі S_{np} здійснює або заготовка, або шліфувальний круг. Рух подачі круга на глибину різання S_t відбувається в крайньому положенні стола у міру оброблення всієї площини.

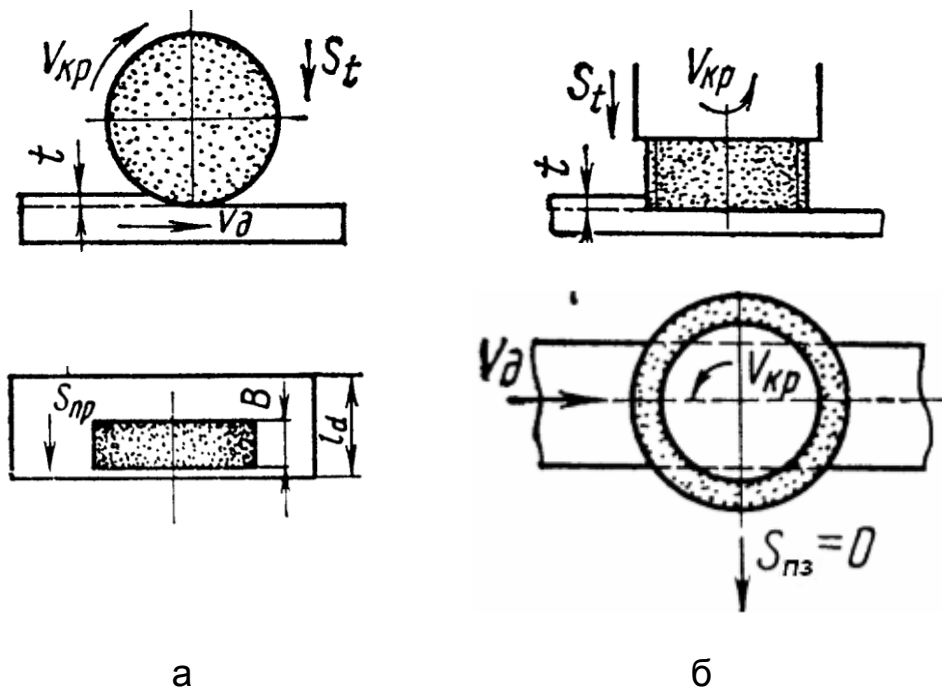


Рис. 8.6. Схеми плоского шліфування:
а – периферією круга; б – торцем круга

Якщо заготовка вужча за круг, то вертикальний рух подачі здійснюється на кожний подвійний хід заготовки.

Профільне шліфування фасонних поверхонь. Існує великий перелік деталей з фасонними поверхнями, до параметрів шорсткості й точності яких ставляться високі вимоги. Це зубчасті колеса, шліцьові вали, кулачки, фасонні різці тощо. Усі ці поверхні обробляють на спеціальних шліфувальних верстатах спеціальними кругами, що мають складний профіль (рис. 8.7).

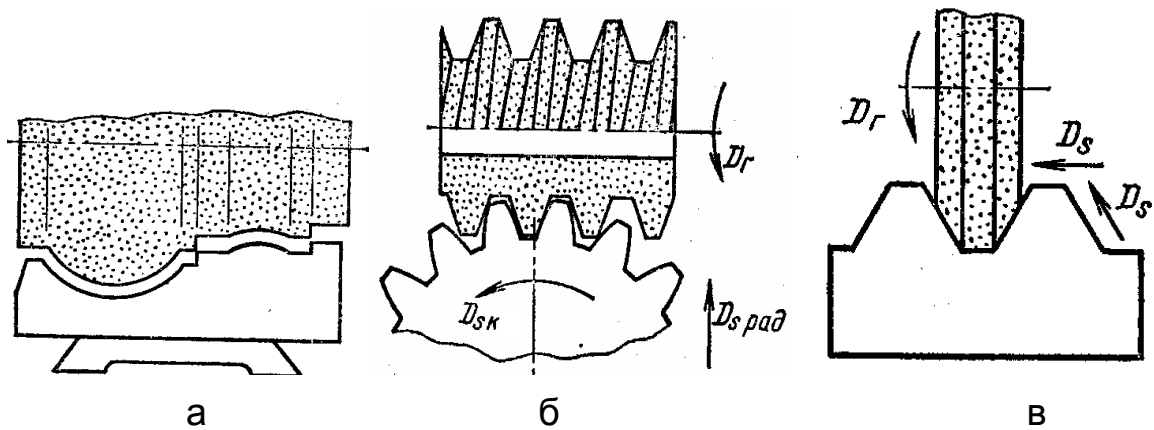


Рис. 8.7. Методи профільного шліфування:
а – копіювання; б – обгинання профілю; в – метод еквідистанти

Профільне шліфування фасонних поверхонь здійснюється найчастіше такими технологічними методами:

– *копіювання*, коли профіль шліфувального круга відповідає профілю деталі;

– *обгинання профілю* на заготовці за рахунок відносного руху обкочування робочої поверхні круга;

– *метод еквідистанти*, при якому рух подачі круга здійснюється за траєкторією, віддаленою на однакову відстань від твірної профілю, який шліфується.

8.2.1. Стрічкове шліфування

Стрічкове шліфування забезпечує високі параметри якості й точності обробки фасонних поверхонь деталі завдяки щільному контакту гнучкої абразивної стрічки з оброблюваною поверхнею. Як підпірки використовуються контактні круги або плити з рифленням, покритим гумою, а також фасонні ложементи.

Під час стрічкового шліфування (рис. 8.8) оброблення деталі 5 здійснюється натягнутою на ведучий 1, натяжний 3 і ведений 4 круги абразивною стрічкою 2, яка рухається з великою швидкістю (30...50 м/с).

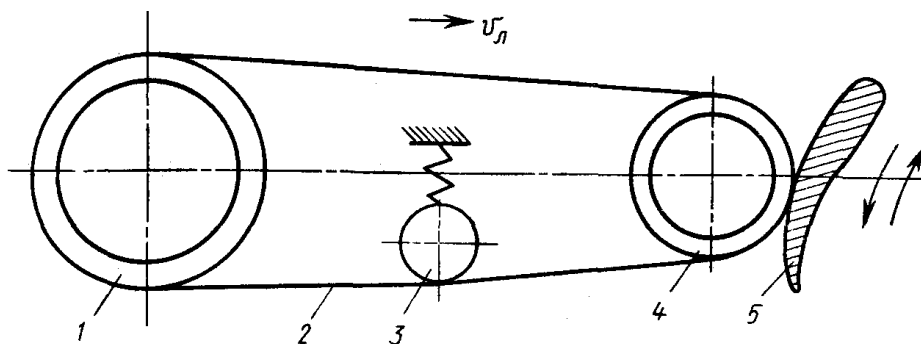


Рис. 8.8. Схема стрічкового шліфування на контактному крузі

Під час знімання невеликих припусків (чистові операції) деталь з невеликим зусиллям притискають до абразивного шару стрічки на вільній ділянці між натяжним роликком і контактним диском. Таке шліфування найбільш продуктивне, оскільки в цьому разі збільшується поверхня контакту абразивної стрічки й деталі.

Процес стрічкового шліфування можна регулювати зміненням натягнення стрічки, режиму шліфування (швидкості, подачі), характеристик стрічки (типу основи, клею, зернистості абразиву). Тиск оброблюваної поверхні на абразивну стрічку під час оброблення заготовки зі сталевих сплавів рекомендується задавати в межах від 0,05 до 0,2 МПа, з алюмінієвих сплавів – не більше 0,04 МПа. Швидкість різання під час оброблення абразивними стрічками вибирають залежно від оброблюваного матеріалу, характеру обробки (чорнова або чистова) та інших чинників. Для чорнового шліфування зовнішніх поверхонь зі сталі, коли $\sigma_g > 1000$ МПа, рекомендована швидкість різання – 25...30 м/с, для шліфування поверхонь з алюмінієвих сплавів – 45...50 м/с.

Абразивна стрічка складається з основи, шару абразивних зерен і клейової зв'язки. Основою стрічки є цупкий папір і тканини бавовняні й синтетичні. Абразивні стрічки виготовляють завширшки 6...2200 мм і завдовжки до 15000 мм.

Робоча поверхня стрічки в декілька разів більша від робочої поверхні шліфувального круга, що забезпечує найкраще розсіювання тепла, зменшує ймовірність появи припиків, дає можливість механізувати й автоматизувати процеси чистового оброблення складних поверхонь, обробляти важкодоступні місця. Виключення балансування інструменту, а також простота заміни стрічки скорочують час налагодження верстата.

Під час стрічкового шліфування, на відміну від шліфування кругами, у поверхневому шарі утворюється залишкове напруження стиску. Важливим чинником, що впливає на ефективність процесу, є натягнення стрічки. Оптимальне значення сили натягнення становить 10...60 Н на 10 мм ширини стрічки. Як МОР під час шліфування абразивною стрічкою використовують мінеральні масла, гас, емульсії, жири та пасти.

8.3. Процес різання під час шліфування

Механізм утворення стружки під час шліфування принципово не відрізняється від механізму утворення стружки під час процесів оброблення лезовими інструментами, але має свої особливості, зумовлені великими швидкостями деформування, великими від'ємними перед-

німи кутами, малими товщинами зрізів і короткочасністю контактів вершин зерен і заготовок. На знімання одиниці об'єму витрачається приблизно в 20 разів більше енергії, ніж під час точіння й фрезерування.

Під час шліфування утворюється велика кількість найдрібнішої стружки, розміри якої змінюються від десятих часток мікрметра до десятих часток міліметра. Розмір і форма стружки залежать від форми зерен і розташування їхніх вершин на робочій поверхні круга й від кінематики процесу. Різання здійснюється лише вершинами зерен, які найбільше виступають над зв'язкою.

Ефективність шліфування значною мірою залежить від товщини зрізуваного шару й площі зрізу. Ці величини визначають навантаження на зерна, що зрештою визначає сили різання, стійкість круга та якість поверхневого шару. Основна частина енергії шліфування йде на подолання сил тертя, які виникають між оброблюваною поверхнею й зернами, а також зв'язкою.

Залежно від співвідношення між товщиною зрізу a та радіусом ρ зерна при вершині абразиву під час руху інструменту відносно оброблюваної поверхні може здійснюватися таке (рис. 8.9): ковзання зерна по оброблюваній поверхні (якщо $a \leq \rho$); пластичне витиснення ($a < \rho$); різання ($a \geq \rho$). Особливостями шліфування є велика питома робота різання й локальне нагрівання металу в зоні різання. Відбувається значне пластичне деформування поверхневого шару: розігріті й сильно навантажені поверхневі шари металу витягуються в напрямку різання.

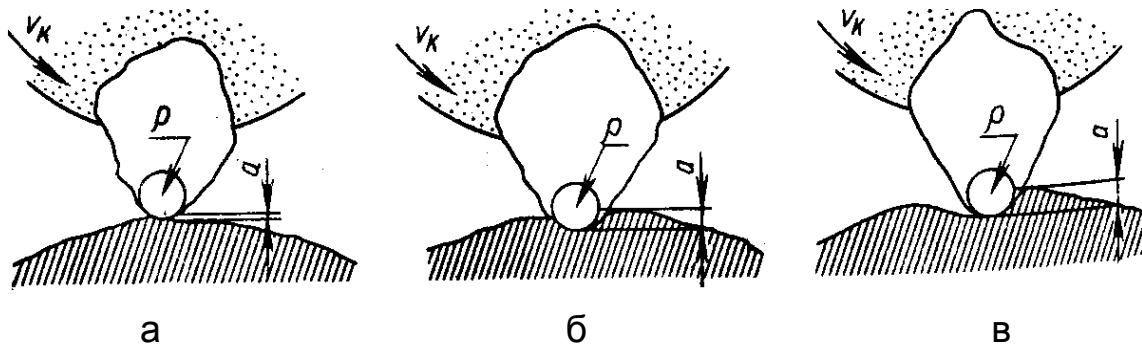


Рис. 8.9. Взаємодія абразивних зерен і заготовки:
а – ковзання зерна; б – пластичне витиснення; в – різання

Як і під час точіння, рівнодійна P нормальних і дотичних сил, що діють на робочі поверхні круга, є сумою сил P_z , P_y і P_x (рис. 8.10).

Тангенціальна сила P_z визначає потужність різання. Радіальна сила P_y , спричиняючи пружні деформації в технологічній системі,

значно впливає на точність обробки й вібростійкість процесу. Осьова сила P_x визначає потужність приводу подачі.

Значні радіуси скруглення ρ на зернах, великі від'ємні передні кути γ і малі товщини зрізу є причиною того, що сила P_y у 1,5 – 3 рази більша від сили P_z .

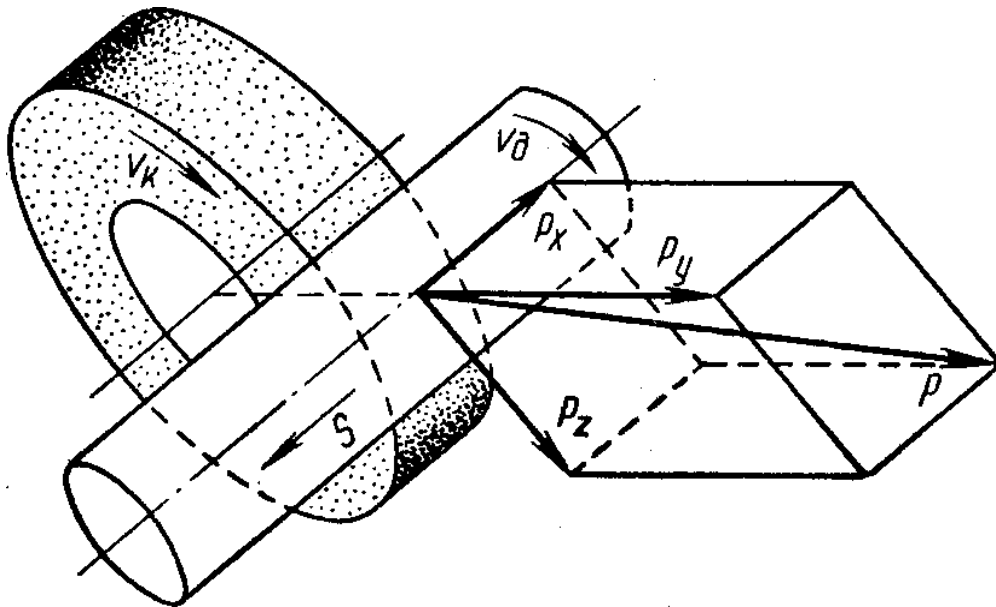


Рис. 8.10. Сили різання під час шліфування

За умов недостатньої твердості технологічної системи можуть виникати вібрації, які збільшують шорсткість поверхні, що шліфується, і спричиняють її хвилястість (огранування деталей). За наявності вимушених вібрацій через дисбаланс круга шорсткість поверхні збільшується в декілька разів. Щоб запобігти огрануванню деталей, спричиненому хвилястістю поверхні круга й зміненням місця зіткнення круга з виробом, рекомендується періодично змінювати частоту обертання круга або деталі.

Унаслідок збільшення швидкості обертання деталі й поздовжньої подачі скорочується тривалість теплового впливу круга на деталь і змінюється співвідношення між тепловим чинником і пластичною деформацією стиску на користь останньої.

Тому після обробки величина розтяжних залишкових напружень у деталі зменшується, а стискальних – збільшується.

8.3.1. Спрацювання й стійкість абразивних інструментів

Під час роботи абразивних інструментів за рахунок спрацювання змінюється геометрія їхніх поверхонь. Загальна витрата абразивного інструменту складається з величини спрацюванні в процесі роботи й

об'єму видаленої частини під час його періодичного правлення для відновлення різальної здатності й геометричної форми.

Частота правлень залежить від періоду стійкості круга T – часу його роботи між двома правленнями. Значення T для різних умов шліфування змінюється в межах 5...60 хв. Менше значення T стосується внутрішнього й профільного шліфування і оброблення високоміцних матеріалів.

Залежно від умов шліфування круг може працювати як у режимі самозаточування, так і в режимі затуплення.

Самозаточуваність – здатність круга зберігати працездатний стан завдяки утворенню нових різальних кромки. Якщо пори круга в процесі шліфування забиваються стружкою й продуктами спрацювання, то круг втрачає свої різальні властивості ще до того, як його зерна затупляться. Границею стійкості круга в цьому випадку є час «засалювання» круга, тобто час забивання пор стружкою.

Характерні види спрацювання круга: стирання вершин зерен; розколювання й викришування зерен; стирання зв'язки; виривання зерен; забивання пор і простору між зернами частинками матеріалу, що шліфується («засалювання» круга). Залежно від конкретних умов шліфування можуть відбуватися всі види спрацювання або один вид буде переважати.

Для м'яких кругів характерне сколювання виступних вершин зерен і виламування зерен, які недостатньо міцно утримуються зв'язкою або неправильно орієнтовані відносно сил, що на них діють, для твердих кругів – здебільшого притуплювання вершин абразивних зерен і часткове сколювання зерен, на яких з'явилися тріщини під час правлення.

Відношення спрацювання абразивного інструменту до часу різання називають *швидкістю спрацювання*. Найбільші відносні витрати й максимальні швидкості спрацювання характерні для шліфування важкооброблюваних матеріалів.

За критерій спрацювання круга беруть непрямі ознаки зниження різальних властивостей: підвищення потужності, виникнення вібрацій, появу припиків, змінення блиску поверхні деталі.

Стійкість круга залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, твердості технологічної системи, ступеня дисбалансу круга, режиму різання, діаметра деталі, твердості й зернистості круга.

Унаслідок збільшення ступеня дисбалансу круга, швидкості деталі v_d , поздовжньої подачі S_{nm} і глибини різання t зростають навантаження на абразивні зерна, і стійкість круга зменшується.

Шліфування виробів із жароміцних і титанових сплавів утруднене через адгезію, дифузію й хімічну взаємодію матеріалів, а також стирання зерен карбідних вкраплень, які входять до складу сплаву.

При цьому на стійкість круга впливає налипання частинок сплаву на контактних площадках зерен унаслідок адгезійної взаємодії металу із зернами. Це знижує стійкість круга в 10 – 15 разів порівняно зі шліфуванням деталей із конструкційних сталей.

Дуже важливу роль у процесі шліфування відіграє МОР (її склад і метод підведення). МОР відводить тепло із зони різання, знижує тертя, очищує робочу поверхню круга, поверхнево-активні домішки полегшують процес стружкоутворення. Звичайний метод підведення МОР – поливання зверху – не завжди є ефективним. Найкращі результати дає подавання струменя МОР під тиском від 1 до 1,5 МПа на робочу поверхню круга.

8.3.2. Вибір інструменту й призначення режиму різання

Від вибору абразивного інструменту значною мірою залежать показники щодо продуктивності шліфування, спрацювання інструменту, економічності процесу та якості обробки.

Продуктивність шліфування визначається об'ємом матеріалу заготовки V_m , знятого за одиницю часу ($\text{мм}^3/\text{хв}$), а продуктивність довідних абразивних процесів – площею поверхні, обробленої за одиницю часу до досягнення потрібних параметрів шорсткості й точності обробки.

Ефективність процесу абразивного оброблення залежить від питомої продуктивності $q = V_m/V_a$, де V_a – об'єм спрацювання круга за одиницю часу.

Під час шліфування деталей з вуглецевих сталей кругами з електрокорунду величину q витримують у діапазоні 50...80, зі швидкорізальних сталей – 6...12, з титанових сплавів – 0,5...5.

Для попереднього шліфування використовують круги з номерами зернистості 50...40, для чистового – 25...12.

Для шліфування виробів з нержавіючих і жароміцних сталей застосовують круги з високими різальними властивостями з монокорунду твердістю МЗ – СМ2, з номерами зернистості від 16 до 25, відкритої структури, використовуючи МОР з сульфофрезолу й гасу. Для шліфування деталей з титанових сплавів застосовують круги з карбіду кремнію середньої твердості.

Вибираючи твердість круга, керуються *правилом самозаточування круга*: для твердих матеріалів слід застосовувати круги м'які й середньом'які, для в'язких матеріалів і сплавів – круги середньої твердості.

Порядок призначення режиму різання під час шліфування:

1. Залежно від властивостей оброблюваного матеріалу й технічних вимог вибирають характеристики круга й визначають його колову швидкість V_k . Для чистового шліфування спочатку вибирають зернистість круга, а потім параметри режиму, які забезпечують отримання необхідної якості шліфування поверхні.

2. Вибирають глибину різання t (поперечну подачу S_t): для напівчистового шліфування $t = 0,05 \dots 0,10$ мм/подв. хід, для чистового – $t = 0,005 \dots 0,02$ мм/подв. хід.

3. Визначають поздовжню подачу $S_{noz\delta}$, мм/об, яку виражають у частках від ширини шліфувального круга B : для напівчистового шліфування $S_{noz\delta} = (0,4 \dots 0,8) B$, для чистового – $S_{noz\delta} = (0,1 \dots 0,3) B$.

4. Визначають колову швидкість деталі v_δ (або швидкість стола під час плоского шліфування) і коригують це значення за кінематичними характеристиками шліфувального верстата.

5. Підбирають марку охолодної рідини.

6. Обчислюють силу P_z і потужність, потрібні для шліфування.

7. Визначають машинний час шліфування $T_{маш}$, хв. Для зовнішнього круглого шліфування методом поздовжньої подачі

$$T_{маш} = \frac{LZ}{S_{noz\delta} n_\delta B t},$$

де L – переміщення стола, що на декілька міліметрів перевищує довжину оброблюваної заготовки; Z – припуск на обробку, мм; n_δ – частота обертання деталі, хв⁻¹.

8.4. Методи абразивного оброблення

Методи абразивного оброблення поділяють на дві групи:

– оброблення вільним абразивом – притирання, полірування, гідроабразивне, віброабразивне й ультразвукове оброблення;

– оброблення інструментом зі зв'язаним абразивом – хонінгування, суперфінішування, притирання абразивними брусками.

Метод притирання забезпечує найвищі показники точності та якості поверхневого шару. Процес зазвичай складається з декількох переходів: попереднього, проміжного й остаточного.

Притиральні суміші, які наносяться на диск-притир, застосовують у вигляді паст і суспензій з концентрацією абразивів (дрібних шліфпорошків і мікропорошків) від 3 до 30 %. Тиск на деталь невеликий – до 0,05 МПа. Під час відносного руху притира й деталі відбувається знімання тонкого шару матеріалу. На попередніх операціях за-

стосовують м'які пористі притири, а на остаточних – тверді, зазвичай скляні. Щоб отримати параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,02...0,04$ мкм, використовують алмазну пасту в суміші з гасом, олеїною й стеариною кислотами.

8.4.1. Хонінгування

Хонінгування є обробною операцією, яка дає можливість отримати високу точність отворів (до 7-го квалітету), малий параметр шорсткості поверхні ($R_a = 0,3...0,08$ мкм), спеціальну сітку мікропрофілю оброблюваної поверхні для утримання мастила. Хонінгування застосовують для оброблення отворів діаметрами 2...1000 мм.

Оброблення здійснюється дрібнозернистими абразивними брусками, закріпленими в хонінгувальній головці – хоні. Хонінгуванням виправляються відхилення форми, які з'являються внаслідок попереднього оброблення в межах припуску, що знімається, але відхилення розташування осі отвору хонінгуванням не виправляються, оскільки інструмент установлено шарнірно.

У процесі оброблення хону передаються рух обертання D_r , рух осьової подачі D_s , радіальний рух подачі брусків (рис. 8.11, а).

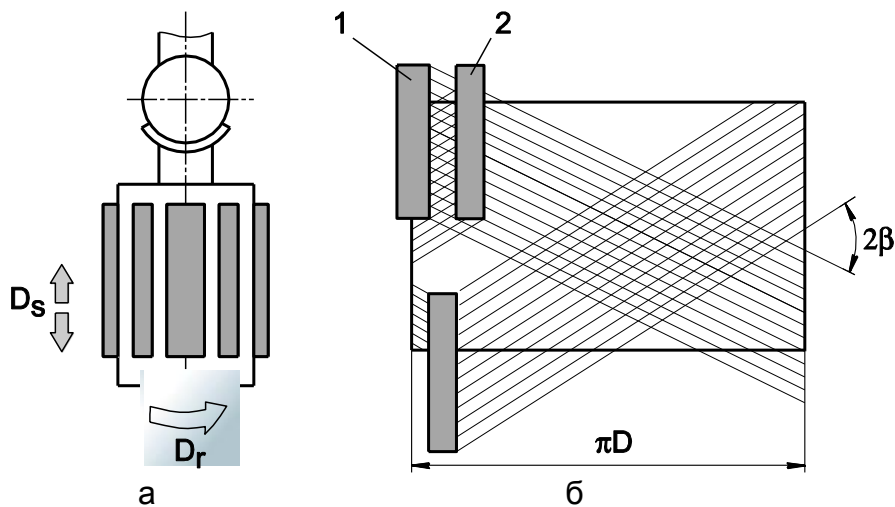


Рис. 8.11. Схема процесу хонінгування:
 а – хонінгувальна головка; б – сітка, нанесена брусками;
 1, 2 – положення бруска на початку й наприкінці подвійного ходу;
 β – кут між траєкторіями руху бруска

Сукупність цих трьох рухів створює умови для різання й самозаточування.

На рис. 8.11, б показано розгортку внутрішнього циліндра поверхні заготовки. Щоб забезпечити прямолінійність осі отвору, бруски встановлюють у крайні верхнє й нижнє положення з перебігом. Сліди

траєкторії оброблення мають характер сітчастого рисунка. Абразивні бруски завжди працюють із зсувом, оскільки шлях повороту утворюється за час реверсування осьового руху хонінгувальної головки. Тиск брусків на оброблювану поверхню створюється гідравлічними, пневматичними або механічними пристроями.

Розрізняють два види хонінгування: попереднє й остаточне. Для остаточного хонінгування залишають 20 – 30 % загального припуску на обробку.

Швидкість різання під час хонінгування є геометричною сумою колової швидкості хона v і швидкості його поступального руху v_n :

$$v = \sqrt{v^2 + v_n^2} = v \sqrt{1 + (\operatorname{tg} \beta)^2}, \quad (8.2)$$

де $\beta = \operatorname{arctg}(v_n/v)$ – кут нахилу вектора швидкості різання.

Продуктивність хонінгування залежить від характеристик абразивних брусків і тиску на бруски. Оптимальні режими оброблення: тиск на бруски – 40...60 МПа, для сталі швидкість різання $v = 45...60$ м/хв, для алюмінієвих сплавів швидкість різання вдвічі більша. Слід також збільшувати швидкість шліфування зі збільшенням твердості оброблюваної заготовки.

Температура в зоні різання під час хонінгування не перевищує 150 °С і не впливає на структурні змінення оброблюваної поверхні. Хонінгування супроводжується охолодженням з великою витратою МОР (50...60 л/хв) для своєчасного видалення шламу й стружки із зони оброблення. Як МОР найбільшого поширення набула суміш гасу й веретенного мастила.

Разом з абразивними брусками з електрокорунду й карбіду кремнію значного поширення набули алмазні бруски, стійкість яких у багато разів вища. При цьому різко зростає й продуктивність хонінгування, оскільки тиск на бруски при алмазному хонінгуванні вищий – 120...250 МПа.

8.4.2. Суперфінішування

Суперфінішування є процесом тонкого довідного оброблення поверхні заготовки брусками з різних абразивних матеріалів.

Під час суперфінішування заготовка здійснює обертальний рух D_r , а бруски, закріплені пружно, – зворотно-поступальний рух D_s уздовж твірної оброблюваної поверхні (рис. 8.12). При цьому бруски ще й вібрують з частотою коливань до 50 Гц та амплітудою $L = 2...5$ мм. На державку з брусками діє тиск $P = 50...300$ МПа. Для ви-

далення продуктів оброблення й отримання тонкої плівки мастила застосовують різні МОР малої в'язкості.

Кількість брусків для суперфінішування становить від одного до чотирьох залежно від діаметра оброблюваної заготовки. Бруски мають квадратний переріз, перед обробленням їм надають кривизни, що відповідає кривизні оброблюваної поверхні. Принцип вибору характеристик абразивних брусків такий самий, що й для шліфувальних кругів і брусків для хонінгування.

Для оброблення сталевих та алюмінієвих заготовок застосовують такий режим різання: швидкість обертання заготовки v_3 – від 30 до 45 м/хв; швидкість руху абразивних брусків уздовж твірної – до 0,5 м/хв; тиск на бруски P – 50...150 МПа; амплітуда коливань L – до 5 мм.

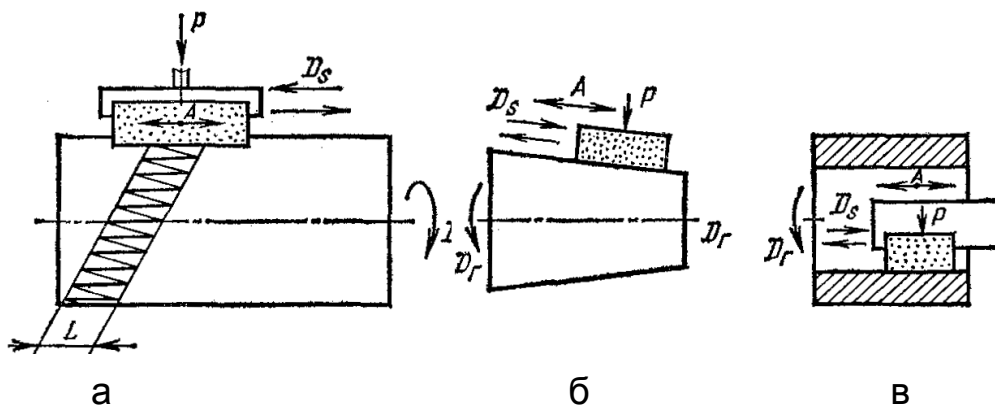


Рис. 8.12. Схеми суперфінішування поверхонь:
а – зовнішньої циліндричної; б – зовнішньої конічної;
в – внутрішньої

Унаслідок суперфінішування знімається дуже невеликий припуск (5...10 мкм) і водночас досягається високий параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,16...0,02$ мкм. У міру зрізання гребінців на поверхні настає момент, коли тиск буде недостатнім для того, щоб бруски могли подолати тонку плівку мастила, і оброблення завершується.

8.4.3. Полірування

Одним із поширених методів зменшення шорсткості оброблюваної поверхні є полірування. Цей метод дає можливість звести шорсткість до мінімуму, тобто відполірувати поверхню до дзеркального блиску. Поліруванню піддають відповідальні частини деталей, його застосовують також з декоративною метою.

Деталі полірують еластичними кругами (повстяними, фетровими), абразивними стрічками, абразивно-рідинною суспензією.

Еластичні круги шаржують абразивами різної зернистості, використовуючи склеювальну речовину. Полірування виконують за два-три переходи, послідовно застосовуючи абразиви з більш дрібними зернами.

Для полірування деталей з кольорових металів використовують круги з м'якої повсті. Круги шаржують пастами потрібної зернистості. Зв'язувальним матеріалом паст є віск, парафін, жири. Для покращання полірувальних властивостей у пасту додають активні кислоти. У пасту великої й середньої зернистості додають стеаринову кислоту, а в дрібнозернисту пасту ДОІ – суміш стеаринової й олеїнової кислот.

Під час полірування еластичними кругами (рис. 8.13, а) знімається припуск 0,005...0,015 мм при швидкостях до 50 м/с. Заготовка, притиснена силою P до полірувального круга, здійснює рух подачі D_s відповідно до профілю оброблювальної поверхні.

У промисловості широко застосовується полірування абразивними стрічками (рис. 8.13, б, в). Абразивна стрічка рухається зі швидкістю головного руху D_r . У місці контакту із заготовкою стрічку підтримує спеціальна підпірка, що має відповідний профіль (див. рис. 8.13, в).

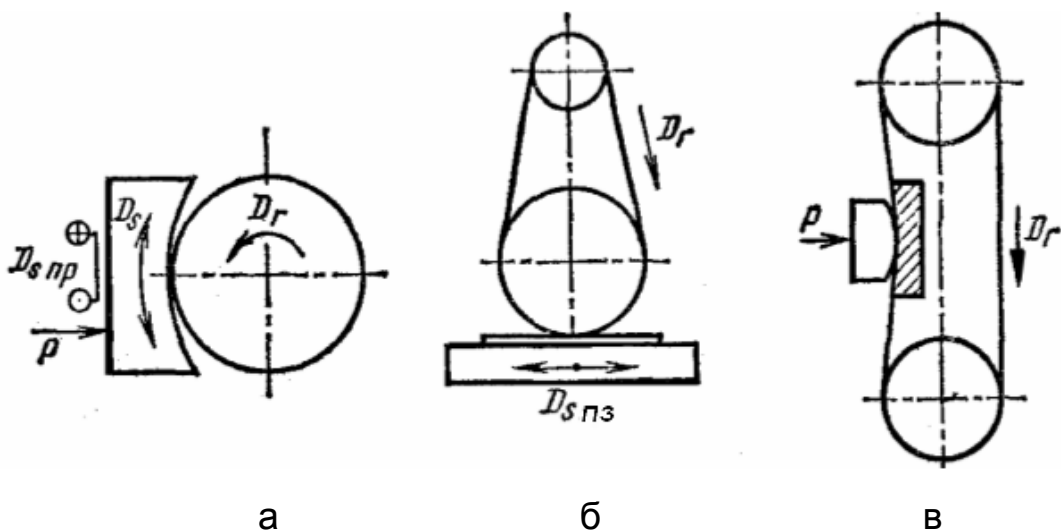


Рис. 8.13. Схеми полірування:

а – еластичним кругом; б, в – абразивними стрічками

Від конструкції й ступеня еластичності підпірки значною мірою залежать площа контакту стрічки із заготовкою, продуктивність процесу та шорсткість обробленої поверхні. Швидкість стрічки залежить від оброблюваного матеріалу: у разі полірування деталей з кольорових сплавів швидкість стрічки становить 40...50 м/с, зі сталевих

сплавів – 15...20 м/с, з важкооброблюваних матеріалів – близько 10 м/с.

Величина тиску деталі на стрічку залежить від оброблюваного матеріалу й площі контакту і становить 3...25 МПа. Полірування абразивними водостійкими стрічками здійснюється з охолодженням різними видами емульсій.

Абразивно-рідинне полірування успішно використовується для оброблення заготовок, які мають складну конфігурацію (оброблення профільних штампів, форм для лиття під тиском, декоративне полірування). Абразивно-рідинне полірування заготовок здійснюється в спеціальних камерах струменем рідини, насиченої абразивом, зі швидкістю близько 50 м/с і під тиском 10...100 МПа.

Віброабразивне оброблення деталей здійснюється в контейнерах, заповнених абразивними зернами й рідиною. Відносно переміщення зерен абразиву й оброблюваних поверхонь відбувається за рахунок надання контейнеру коливань у декількох напрямках.

Контрольні запитання

1. Які основні абразивні матеріали застосовуються для абразивного оброблення?
2. На які групи поділяють за зернистістю абразивні матеріали, алмази та ельбор?
3. Якими показниками твердості й структури характеризуються абразивні інструменти?
4. Схарактеризуйте основні схеми зовнішнього круглого шліфування в центрах.
5. Назвіть основні різновиди внутрішнього круглого шліфування.
6. За рахунок чого здійснюється поздовжнє переміщення заготовки під час безцентрового зовнішнього шліфування?
7. Які технологічні параметри має схема плоского шліфування?
8. Схарактеризуйте схему стрічкового шліфування на ведучому контактному крузі й наведіть основні технологічні параметри процесу.
9. Схарактеризуйте схему сил різання під час круглого шліфування й назвіть сили, що діють на робочу поверхню круга.
10. Що таке самозаточуваність шліфувального круга?
11. За якими параметрами оцінюють продуктивність процесу шліфування?
12. Назвіть порядок призначення режиму різання для оброблення шліфуванням.
13. Які конструктивно-технологічні особливості має процес хонінгування?
14. Схарактеризуйте основні схеми й наведіть технологічні параметри суперфінішування.

9. ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ

9.1. Механізм руйнування металу заготовки

Процес електроерозійної (електроіскрової) обробки (ЕЕО) базується на явищі ерозії металів під дією електричного струму. Електричні розряди, що виникають між двома електродами – електродом-інструментом (ЕІ) та електродом-заготовкою (ЕЗ), розташованими на невеликій відстані один від одного, – руйнують їхні поверхні.

Розглянемо механізм руйнування металу заготовки під дією іскрового розряду. У міру зближення ЕІ й ЕЗ, що перебувають під напругою, настає момент, коли між виступними частинами їхніх поверхонь, які найбільше наблизилися одна до одної, створюється електричне поле максимальної напруги (рис. 9.1).

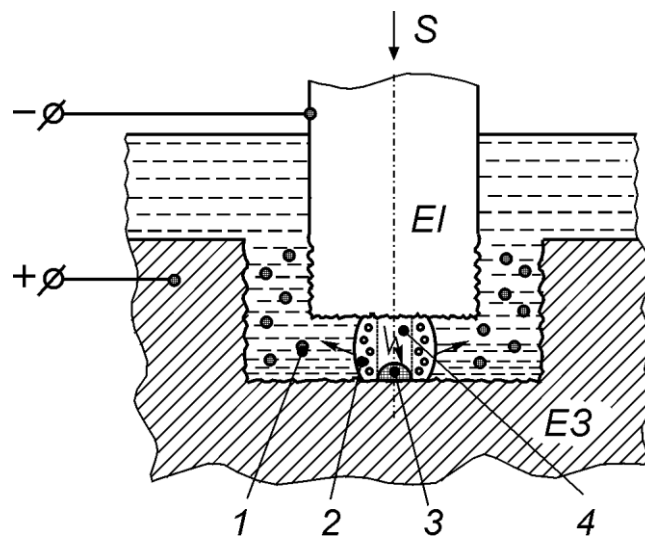


Рис. 9.1. Схема процесу руйнування металу під час ЕЕО

Відбувається електричне пробивання міжелектродного проміжку (МЕП), заповненого рідким діелектриком (водою, гасом, мінеральними маслами тощо). У місці пробію й локалізації іскри виникає плазменний канал розряду 1, де відбуваються процеси плавлення, випаровування й іонізації речовини робочої рідини. Між електродами по каналу розряду виникає електричний розряд, у плазмі виділяється тепла енергія. Матеріал ЕЗ з лунки 2 у вигляді рідкої краплі викидається в МЕП. Унаслідок виділення теплової енергії канал розряду оточується пузирями 3 – газоподібними продуктами розпаду робочого середовища. Стінки розширюваного пузиря сприяють викиду з МЕП робочого середовища, 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 ЕІ – ЕЗ створити умови, за яких

періодично буде відбуватися іскровий розряд, то внаслідок електроіскрової обробки профіль ЕІ буде точно відтворений на поверхні заготовки або в її тілі. Для створення імпульсів напруги, що йдуть один за одним через певні проміжки часу, електроерозійні верстати оснащено генераторами імпульсів (ГІ). Імпульси невеликої енергії одержують з допомогою релаксаційних ГІ (RC і RLC), потужні імпульси – з допомогою машинних ГІ.

На рис. 9.2, а зображено принципову схему RC-генератора, який використовується як ГІ в електроерозійному верстаті моделі 183. ГІ складається з джерела електричної енергії постійного струму U (220 В), кнопки К (Пуск), струмообмежувального зарядного резистора R і накопичувального конденсатора C , підімкненого паралельно з МЕР. Підімкненого паралельно з МЕР.

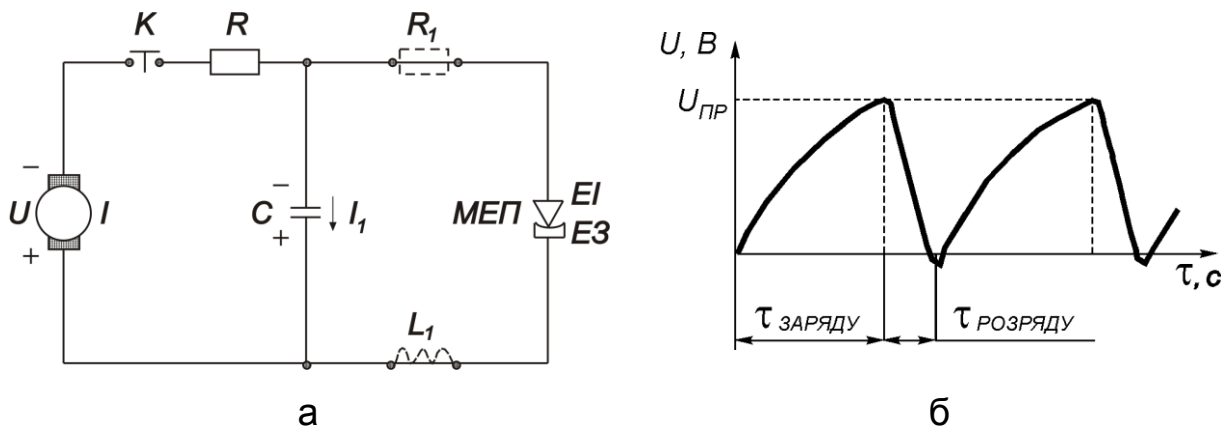


Рис. 9.2. Схема RC-генератора: а – принципова електрична схема; б – змінення напруги на конденсаторі

Елементи U , R і C складають зарядне коло, а C і МЕР – розрядне.

RC-генератор працює таким чином. Уважається, що спочатку напруга на конденсаторі C дорівнює нулю. Після натиснення кнопки K у колі U – R – C виникає зарядний струм I , на конденсаторі й МЕР підвищується напруга. При значенні напруги $U_{пр}$ відбувається пробивання МЕР. У колі C –МЕР виникає розрядний струм I_1 , при цьому енергія імпульсу, накопичена в конденсаторі, дуже швидко передається в МЕР. Через те, що час зарядження конденсатора більший від часу розрядження (рис. 9.2, б), напруга на конденсаторі падає, і розрядження в МЕР припиняється.

Відбувається деіонізація (відновлення електричної потужності МЕР) речовини в каналі розрядження, і напруга на конденсаторі знову

починає підвищуватися завдяки зарядженню від джерела U . Оскільки розрядне коло має деяку індуктивність L_1 , конденсатор перезаряджається протягом розрядження до деякого від'ємного значення напруги, що полегшує процес деіонізації. Таким чином, джерело уніполярних імпульсів (імпульсів з однаковою полярністю) періодично збуджує короточасні розряди між ЕІ і ЕЗ, що дає можливість здійснювати процес вибіркової ерозії, тобто можна різко знизити ерозію одного з електродів.

Більш інтенсивного руйнування зазнає електрод, підімкнений до позитивної обкладки конденсатора (до анода), а електрод, підімкнений до негативної обкладки (до катода), задає напрямок руйнування матеріалу заготовки й зумовлює її форму. Тому застосовують два способи підімкнення електродів до кола:

- пряма полярність (ЕІ править за катод, ЕЗ – за анод);
- зворотна полярність (ЕІ править за анод, ЕЗ – за катод).

Вибір полярності залежить від швидкості руйнування металу заготовки й спрацювання ЕІ.

Для підвищення інтенсивності руйнування металу МЕР заповнюють діелектричною рідиною, тобто процес ЕЕО здійснюється у ванні, заповненій робочим середовищем (гасом, дистильованою водою, соляровим маслом тощо).

Матеріал ЕІ вибирають залежно від матеріалу оброблюваної заготовки. Для оброблення сталевих заготовок як матеріал для ЕІ використовують мідь, латунь, алюміній, графітовий ЕЕГ, мідно-графітову або коксографітову композицію АРВ, для оброблення твердих сплавів – чавун та алюміній.

Під час електроерозійного оброблення ЕІ і ЕЗ безпосередньо не контактують.

Основна область застосування електроерозійної обробки – прошивання отворів і порожнин різної конфігурації залежно від форми перерізу ЕІ (незалежно від твердості й в'язкості матеріалу).

9.2. 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 й розміри робочих поверхонь профільова-

них ЕІ визначають відповідно до заданої поверхні деталі, що виготовляється, тимчасом як непрофільовані ЕІ мають найпростішу геометричну форму – у вигляді дроту, стрижня або диска.

Формоутворення оброблюваної деталі електроерозійним методом можна здійснювати за двома схемами.

Перша схема – копіювання форми ЕІ, тобто одержання в деталі порожнини або опуклості, що є оберненим відображенням робочої поверхні ЕІ. Цю операцію, що має назву прошивання, виконують при одному поступальному русі ЕІ. Окремий випадок описаного процесу – прошивання різних отворів у заготовках, при якому лише копіюється форма перерізу ЕІ. На рис. 9.3 зображено: технологічні схеми ЕЕО заготовок 1 методами прямого (а – д) і оберненого (е) копіювання форми профільованими ЕІ 2; прошивання отворів із прямолінійними (а – в) і криволінійною (г) осями; об'ємне формоутворення порожнини (д) і зовнішніх поверхонь (е).

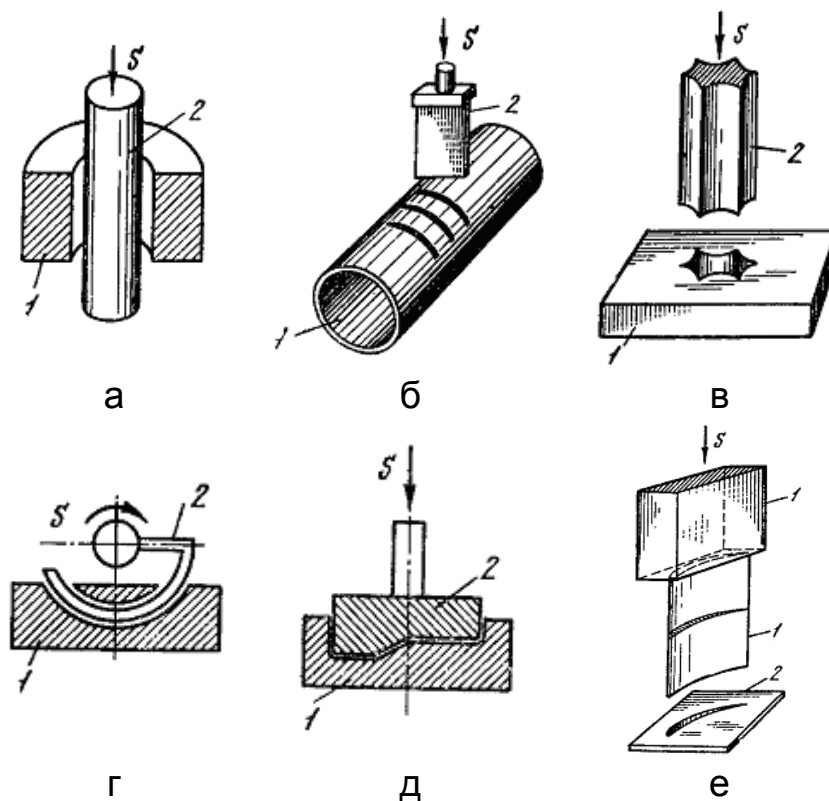


Рис. 9.3. Схеми процесів ЕЕО профільованим ЕІ

Друга схема – взаємне переміщення оброблюваної деталі й непрофільованого ЕІ, при якому матеріал знімається з поверхні або заготовка розрізається (рис. 9.4). У цій схемі можна виділити два види

операцій: вирізання складнопрофільованих деталей і розрізування деталей 1 непрофільованим ЕІ 2 (а, б); шліфування й розточування заготовок дисковими та стрижневими ЕІ (в, г).

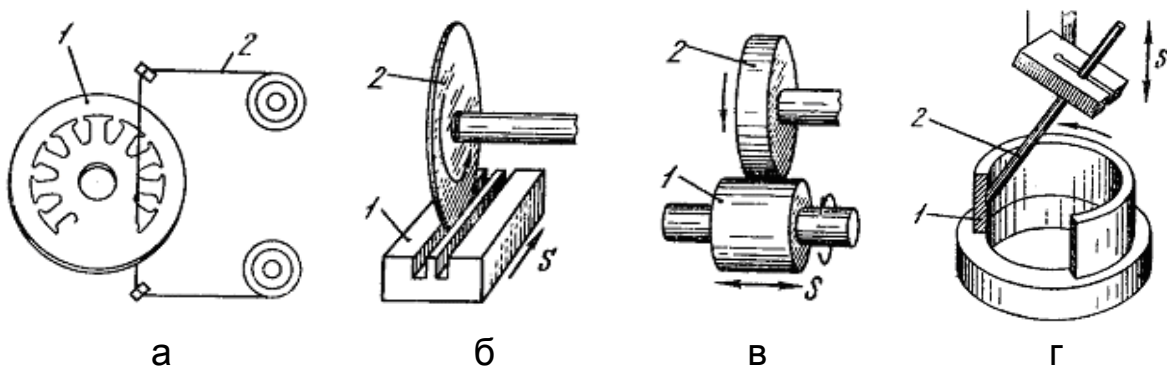


Рис. 9.4. Схеми процесів ЕЕО непрофільованим ЕІ

Технологічна схема ЕЕО профільованим ЕІ є найбільш поширеною. Форма ЕІ відповідає формі оброблюваної поверхні, яку необхідно одержати.

У технологічній схемі ЕЕО непрофільованим ЕІ найбільшого поширення набуло оброблення дротяним ЕІ. Переваги цього методу: можливість вирізання складних контурних листових деталей високої точності; доступність і відносна простота автоматизації руху подачі за заданою програмою; простота конструкції верстата. Недолік цієї схеми обробки полягає в тому, що застосовувати її можна тільки для вирізних та обрізних робіт.

9.3. Технологічні показники ЕЕО

Важливою характеристикою режиму ЕЕО є енергія імпульсу, що визначає продуктивність, точність та якість оброблюваної поверхні деталі. Зі збільшенням енергії імпульсів підвищується продуктивність процесу, однак знижується якість оброблюваної поверхні.

Енергія імпульсу дорівнює енергії, накопиченій у конденсаторі, Дж:

$$A_i = \frac{CU_{np}^2}{2}, \quad (9.1)$$

де C – ємність конденсатора, Ф; U_{np} – 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, $U_{np} = (0,50..0,75)U$.

За енергією імпульсу A_i режими ЕЕО поділяють на три основні

групи: жорсткі (5,0...0,5 Дж), середньої жорсткості (0,5...0,05 Дж) і м'які (менше 0,05 Дж), що за технологічними показниками відповідає чорновим, чистовим та довідним видам розмірної обробки.

Продуктивність ЕЕО

Продуктивність ЕЕО визначається об'ємом (масою) металу, знятого з оброблюваної поверхні за одиницю часу, $\text{мм}^3/\text{хв}$ ($\text{г}/\text{хв}$).

Продуктивність обробки залежить від електроерозійної оброблюваності металу, сполучення марок матеріалів ЕІ і ЕЗ та потужності імпульсу в МЕР. При постійній енергії імпульсу зі збільшенням площі обробки продуктивність зменшується, що пояснюється зменшенням швидкості видалення продуктів ерозії з МЕР. У цьому випадку значна частина розрядів супроводжується не зніманням металу, а дробленням частинок, не виведених з МЕР.

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

На технологічні показники процесу ЕЕО істотно впливають вид і стан робочої рідини. Наприклад, заміна гасу дистильованою водою під час оброблення мідним ЕІ виробів із твердих сплавів і загартованих сталей знижує продуктивність ЕЕО, а вольфрамовими й твёрдосплавними ЕІ – підвищує її. Під час оброблення зростають зольність і в'язкість робочої рідини, тому останню періодично замінюють. Через збільшення в'язкості робочої рідини сповільнюється виведення з МЕР продуктів ерозії, що знижує продуктивність ЕЕО.

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

Усі метали й сплави за електроерозійною оброблюваністю поділяються на три групи: а) добре оброблювані; б) такі, що піддаються обробленню меншою мірою; в) такі, що слабо руйнуються під дією розрядів.

Різний вплив імпульсних розрядів на метали й сплави визначається їхніми теплофізичними властивостями (температурою плавлення й кипіння, теплопровідністю й теплоємністю). Механічні властивості (твердість, в'язкість) на ефект ерозії не впливають. Відносна оброблюваність деяких матеріалів (оброблюваність сталі умовно взято за одиницю) становить: магнієві сплави – 6,0; алюмінієві сплави – 4,0; латунні сплави – 1,6; сталі – 1,0; титанові сплави – 0,6; тверді сплави – 0,5.

Чим вищі теплофізичні властивості матеріалу ЕІ й шорсткість робочих поверхонь, тим більша визначена гранична потужність процесу ЕЕО, оскільки теплопровідність визначає швидкість відведення тепла з поверхні ЕІ, а шорсткість – дійсну площу поверхні, яка проводить тепло. Якщо шорсткість ЕІ та ЕЗ однакова, то найбільшою гранична потужність буде при обробленні мідними електродами, меншою – алюмінієвими.

Точність обробки

На точність ЕЕО впливають не тільки фактори, характерні для будь-якого методу розмірної обробки, але й фактори, характерні тільки для ЕЕО, наприклад, первинні похибки, сукупність яких дає сумарну похибку Δ .

Найбільш істотною є *первинна похибка* $\Delta_{МЕП}$, що виникає через наявність міжелектродного зазору

$$\alpha = \alpha_{i\delta} + \frac{2}{3} R_{z_{max}} + t, \quad (9.2)$$

де α_{np} – пробивний міжелектродний зазор для чистої робочої рідини, що залежить від максимальної напруги генератора імпульсів; $R_{z_{max}}$ – висота нерівностей поверхні, яка збільшується зі збільшення енергії імпульсу; t – сумарна частина міжелектродного зазору, перекритого продуктами ерозії, що збільшується з підвищенням жорсткості режиму обробки.

Похибка форми Δ_{ϕ} оцінюється різницею між верхнім α_v і нижнім α_n міжелектродними зазорами:

$$\Delta_{\phi} = \alpha_v - \alpha_n. \quad (9.3)$$

Щоб підвищити точність ЕЕО, необхідно зменшити різницю міжелектродних зазорів, наприклад, шляхом застосування довідного режиму обробки. При прошиванні наскрізних отворів похибку їхньої форми можна знизити, якщо перемістити ЕІ за межі нижньої поверхні ЕЗ, тобто до повного припинення електричних розрядів у бічній частині МЕП.

Якість поверхні

При ЕЕО під дією електричних розрядів на оброблюваній поверхні утворюються характерні нерівності, тобто профіль поверхні являє собою результат накладання одна на одну величезної кількості лунок (рис. 9.5).

Шорсткість обробленої поверхні оцінюють за висотою горбиків

у місці накладання лунок, що утворюються на поверхні деталі при електричному розряді.

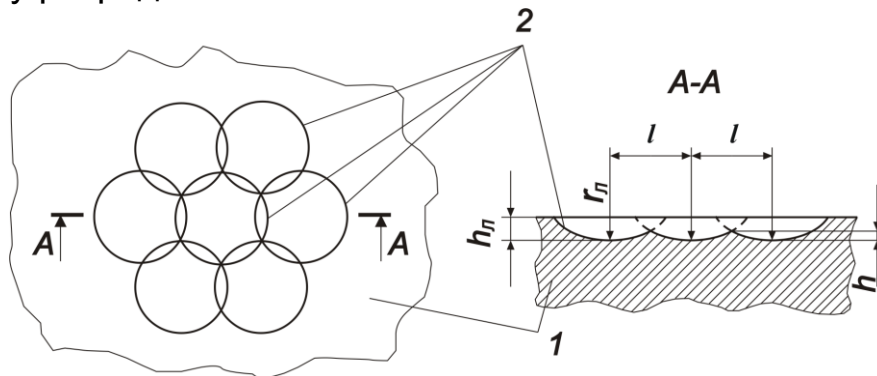


Рис. 9.5. Профіль поверхні ЕЗ, обробленої на електроерозійному верстаті:
1 – електрод-заготовка; 2 – лунки

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

Таким чином, за геометричними розрахунками

$$R_{z_{max}} = h \approx 0,33h_{л}. \quad (9.4)$$

Отже, шорсткість поверхні визначається тими самими умовами оброблення, що й глибина лунки, яку можна розрахувати за емпіричною залежністю

$$h_{л} = kA_u^n, \quad (9.5)$$

де k – коефіцієнт глибини лунки, що залежить від електричних характеристик розряду і механічних характеристик матеріалу заготовки; n – безрозмірний коефіцієнт (для сталей і твердих сплавів $n = 0,38$).

Контрольні запитання

1. Опишіть явище електричної ерозії металу.
2. На які технологічні показники впливає збільшення енергії імпульсу?
3. Як впливає на шорсткість оброблюваної поверхні режим обробки під час ЕЕО?
4. Які фактори впливають на якість обробки поверхні методом ЕЕО?
5. Які фактори в процесі ЕЕО впливають на точність обробки?
6. Від яких показників залежить продуктивність процесу ЕЕО заготовок?
7. Наведіть приклади взаємозв'язку між електричним режимом і технологічними показниками процесу ЕЕО.

10. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ

10.1. Загальні відомості про процес електрохімічної обробки металів

Процес електрохімічної обробки (ЕХО) ґрунтується на здатності металів розчинятися внаслідок окиснювальних реакцій, що відбуваються в середовищі електропровідного розчину (електроліту) під дією постійного електричного струму. Такий хімічний процес розчинення металів має назву *електролізу* (рис. 10.1).

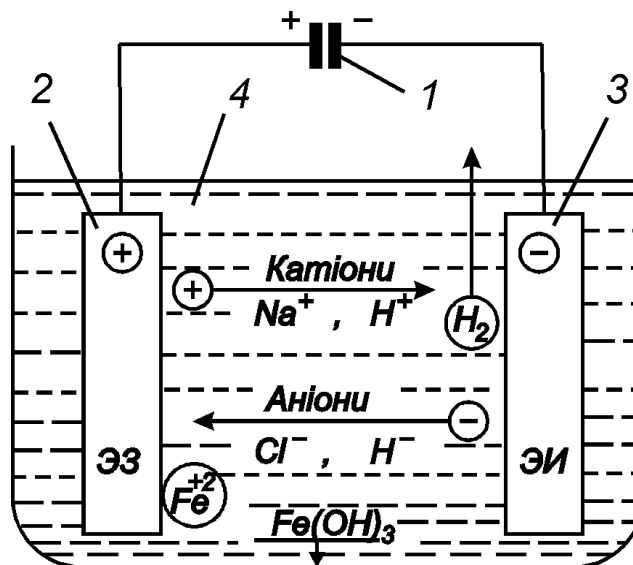


Рис. 10.1. Схема електролізу

Розглянемо рух іонів в водному розчині хлористого натрію NaCl – електроліті, який найчастіше застосовується для ЕХО. На електроди від джерела живлення 1 подається напруга, аніони гідроксилу й катіони водню разом з аніонами хлору й катіонами натрію під дією сил електричного поля починають рухатися до катода й анода. Атоми поверхневого шару анода 2, тобто електрода-заготовки (ЕЗ), одержують від аніонів Cl⁻ і OH⁻, що рухаються до нього, додаткові негативні заряди й перетворюються в позитивні іони заліза Fe⁺². Останні під дією катодних та 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 H₂, що виходить з електроліту 4 у вигляді пухирців. Реакції, що відбуваються на катоді, зазвичай не руй-

нують його, тобто ЕІ при ЕХО не спрацьовується.

Зі схеми на рис. 10.1 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 проходження електроліту на деяких ділянках МЕП з якихось причин утруднене або цілком неможливе, то нормальний перебіг процесу ЕХО в цьому разі порушується. Для нормалізації процесу ЕХО необхідно, зокрема, вчасно видалити продукти розчинення (шлам) з МЕП, що можливо при швидкості витікання електроліту 5...20 м/с. Такі швидкості дають можливість виконувати обробку при підвищеній густині струму (до 1 А/мм²) і сприяють охолодженню електроліту, що нагрівається від струму великої сили.

10.2. Основні схеми процесів ЕХО

Під розмірною ЕХО розуміють процес одержання із заготовки деталі з необхідними формою й розмірами за рахунок анодного розчинення металу.

Існує кілька схем ЕХО.

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

2. Прошивання заглибин, 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 чистове оброблення циліндричних отворів, шліців, гвинтових канавок.

4. Розрізування заготовок. Електродом-інструментом є обертовий диск. 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.

Основними технологічними характеристиками процесів ЕХО є

продуктивність, точність розмірів та отриманої форми, а також шорсткість оброблюваних поверхонь.

До факторів, що впливають на технологічні характеристики процесів ЕХО, відносять об'ємний електрохімічний еквівалент оброблюваного металу k , склад застосовуваного електроліту та його питому електропровідність χ , напругу джерела живлення U , анодну густину струму i , коефіцієнт виходу металу 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 еквіваленту k цього металу, силі струму I й часу τ , мм³:

$$V = kI\tau. \quad (10.1)$$

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 (10.1). Так, об'єм розчиненого металу істотно залежить від густини струму i на аноді, яка визначається відношенням сили струму I до площі F анода, А/мм²:

$$i = \frac{I}{F}. \quad (10.2)$$

Ефективність процесів ЕХО оцінюють коефіцієнтом виходу металу за струмом

$$\eta = \frac{V_{\phi}}{V}, \quad (10.3)$$

де V_{ϕ} – фактичний об'єм розчиненого металу при пропусканні певної кількості електрики, мм³.

З урахуванням рівняння (10.1) і коефіцієнта η фактичний об'єм розчиненого металу, мм³, визначають за формулою

$$V_{\phi} = kI\tau\eta. \quad (10.4)$$

Фактичний об'єм розчиненого металу V_{ϕ} , як правило, менший від розрахункового об'єму V (для активного розчинення $\eta = 0,5 \dots 0,9$, для пасивного – $\eta < 0,5$).

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

За технологічними режимами операції ЕХО можна умовно поді-

лити на дві групи:

– ЕХО при невисокій густині струму ($0,02 \dots 0,03 \text{ A/mm}^2$) у стаціонарному електроліті (ЕХС);

– ЕХО при високій густині струму (до 1 A/mm^2) у проточному електроліті (ЕХП).

На рис. 10.2, 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).

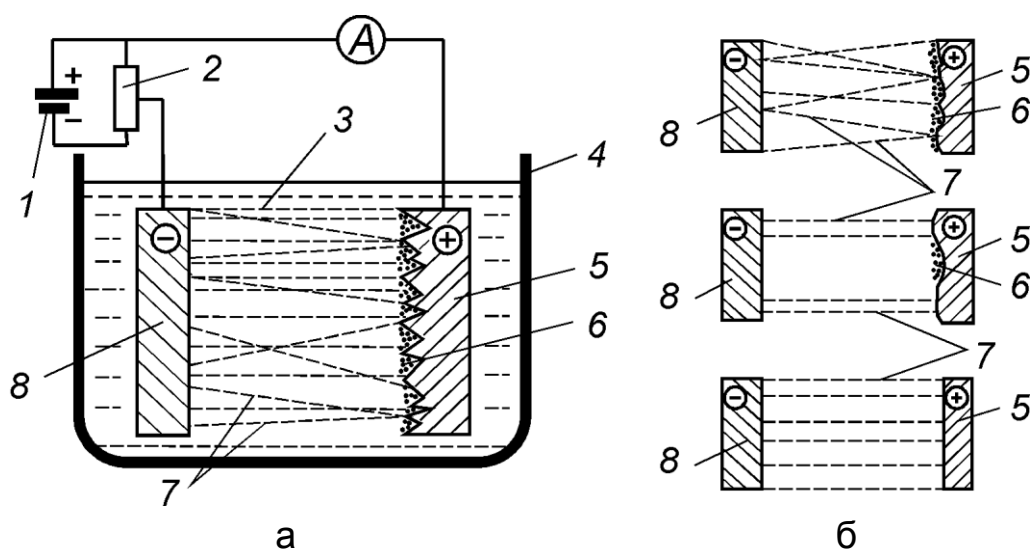


Рис. 10.2. Принципова схема ЕХО в стаціонарному електроліті:
а – електрична схема; б – механізм розчинення виступів

Проходження електричного струму через електроди 5 і 8 та 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 виступах поверхні ЕЗ (рис. 10.2, б). З цієї причини виступи швидко розчиняються і мікронерівність згладжується.

На відміну від розглянутого процесу ЕХС розмірна ЕХП відбувається при безперервному й інтенсивному відновленні електроліту, що прокачується під тиском через МЕР. Примусове видалення електроліту з робочої зони забезпечує формоутворення оброблюваних повер-

хонь з меншими, ніж при електрохімічному травленні й поліруванні, величинами МЕР.

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

Існує технологічна схема розмірної ЕХП з двома рухомими ЕІ, розташованими по обидва боки заготовки (рис. 10.3, а), які рухаються назустріч один одному з подачею S .

На рис. 10.3, б зображено схему електрохімічного формоутворення фасонних поверхонь тіл обертання. У цьому випадку робоча подача S здійснюється шляхом переміщення ЕІ в напрямку до обертаної заготовки.

Утворення канавок різної форми може виконуватися за технологічною схемою, показаною на рис. 10.3, в. ЕЗ та ЕІ в процесі оброблення є нерухомими відносно один одного, і, отже, значення МЕР буде збільшуватися в міру збільшення часу обробки. Поверхні ЕІ, що не беруть участі у формоутворенні деталі, при такій технологічній схемі захищені діелектричним шаром.

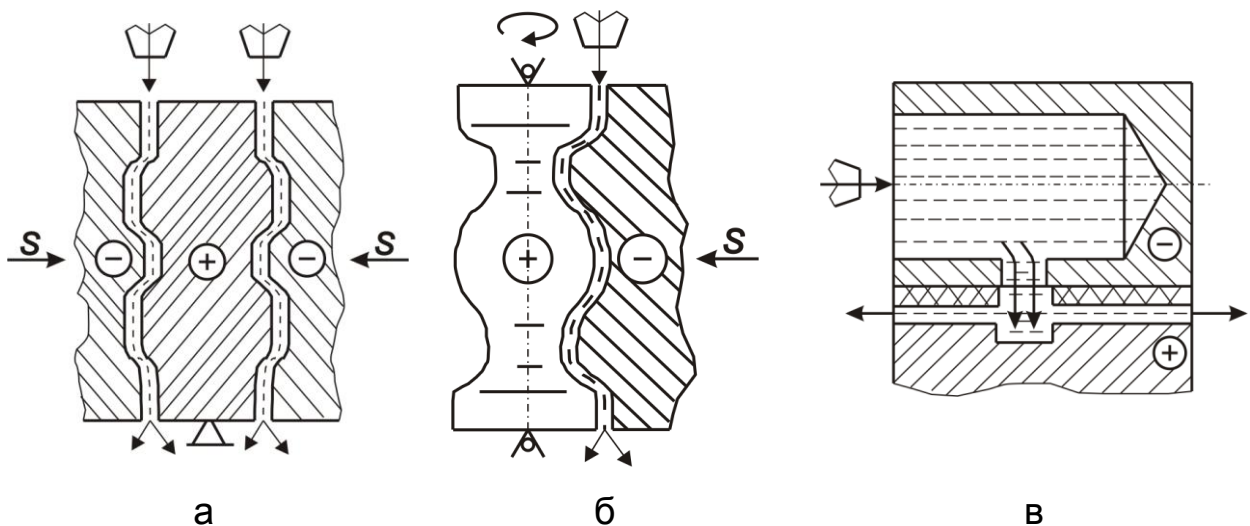


Рис. 10.3. Технологічні схеми процесів ЕХО в проточному електроліті

Перевагою ЕХС є можливість одержання поверхонь складно-профільованих деталей з малою шорсткістю без застосування спеціального інструменту.

Недоліки ЕХС – невисока питома продуктивність і трудність її

збільшення через підвищення густини струму, чутливість до змінення стану й складу електроліту.

Перевагами ЕХП є висока продуктивність, що принципово не має обмежень зростання, повна відсутність спрацювання ЕІ, низька шорсткість поверхні та висока точність обробки при одночасному підвищенні продуктивності.

Недоліки ЕХП – висока енергоємність процесу, необхідність у застосуванні спеціальних заходів для видалення шламу та газу й забезпеченні інтенсивної циркуляції електроліту.

10.3. Продуктивність процесів ЕХО

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

Продуктивність розмірного електрохімічного формоутворення характеризується швидкістю анодного розчинення металу, що виражається в лінійних (мм/хв) або об'ємних (мм³/хв) одиницях.

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

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

З підвищенням робочої температури електропровідність i , отже, густина струму на аноді збільшуються. Підвищення швидкості прокачування електроліту в МЕР сприяє більш інтенсивному видаленню шламу із зони обробки, що також збільшує електропровідність шару

електроліту в МЕР.

При ЕХО якість оброблюваних поверхонь визначається зазвичай їхньою шорсткістю.

На відміну від традиційних процесів обробки різанням, коли під силовою дією різця на оброблюваній поверхні утворюються деформовані (напружені) шари металу, ЕХО не спричиняє виникнення в поверхневих шарах оброблюваного металу будь-яких механічних напружень. Це в багатьох випадках позитивно впливає на якість оброблюваних поверхонь.

У загальному вигляді якість оброблюваних поверхонь залежить від поєднання значень таких параметрів, як склад електроліту, його температура, швидкість прокачування електроліту через МЕР і густина електричного струму.

Унаслідок застосування методів розмірної ЕХО для оброблення деталей із вуглецевих і нержавіючих сталей, коли електролітом є розчин хлористого натрію, одержують поверхні шорсткістю 2,5...1,25 мкм.

Підвищення температури електроліту переважно негативно впливає на шорсткість поверхонь. Однак у деяких випадках, наприклад при розмірній ЕХО деталей з титанових сплавів, з підвищенням температури електроліту якість оброблюваної поверхні підвищується.

Зі збільшенням густини електричного струму шорсткість оброблюваних поверхонь зменшується.

Контрольні запитання

1. Які фактори впливають на технологічні характеристики процесів ЕХО?
2. Назвіть особливості технологічних процесів розмірної ЕХО з ЕІ, який рухається в проточному електроліті.
3. Назвіть особливості проектування ЕІ для різних технологічних схем ЕХО.
4. Від яких параметрів устаткування залежить продуктивність процесу ЕХО?
5. У чому полягають переваги процесу розмірної ЕХО в стаціонарному електроліті?
6. У чому полягають переваги розмірної ЕХО в проточному електроліті?

11. ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Композиційні матеріали (КМ) – це конструкційні матеріали, що складаються з матриці (основи) і розподіленого в ній армувального матеріалу. Як армувальний матеріал можуть застосовуватися волокна скла, вуглецю, бору, органічні волокна.

КМ мають широкий діапазон властивостей: вищу, ніж у металевих конструкційних матеріалів, питому міцність; низьку чутливість до концентраторів напруги; високу корозійну стійкість; радіопрозорість.

Високі показники КМ з питомої міцності, жорсткості й опірності втомі у поєднанні зі специфічними властивостями – радіопрозорістю, високою демпфувальною здатністю, низькою теплопровідністю – зумовили широке їх використання в конструкціях сучасних ЛА.

У конструкції транспортного літака Ан-124, створеного в АНТК ім. О.К. Антонова, було використано рекордну кількість деталей, вузлів, агрегатів з КМ – понад 4000 одиниць на один виріб загальною площею близько 1500 м² і масою 5600 кг (рис. 11.1) [11, 21]. Обсяги застосування КМ у конструкціях планерів літаків безперервно зростають. Наприклад, у конструкції літака Ан-140 (рік випуску – 2000) 13 % від усіх деталей – деталі з КМ, а у конструкції літака Ан-148 (рік випуску – 2004) вже 16 %.

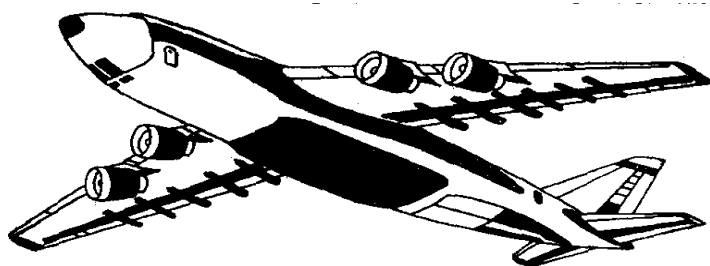


Рис. 11.1. Застосування КМ у конструкції планера Ан-124

Оброблення різанням КМ використовують під час виготовлення широкої номенклатури традиційних деталей – оболонок, обшивок, стрингерних і гофрованих панелей, накладок, поясів, багатошарових панелей зі стільниковим заповнювачем.

Технологічні вузли з КМ – балки, шпангоути, лонжерони, відсіки агрегатів – мають підвищений обсяг оброблення з видаленням зайвого матеріалу.

При цьому застосовуються практично всі наявні види обробки різанням: розкроювання заготовок, точіння, фрезерування, свердління, шліфування та ін. Оброблення різанням КМ має низьку специфічних особливостей, які зумовлені здебільшого особливостями структури й властивостями оброблюваного матеріалу: неоднорідністю, низь-

кою теплопровідністю, наявністю волокон тощо.

Водночас процес різання КМ супроводжується тими самими явищами, що й процес різання металів: стружкоутворенням, силовими й тепловими явищами, інтенсивним спрацьовуванням інструменту.

11.1. Особливості процесу оброблення різанням КМ

11.1.1. Класифікація конструкційних пластмас

Конструкційні пластмаси, до яких за класифікаційними ознаками належать КМ, різняться як за складом, так і за фізико-механічними властивостями. Аналіз властивостей і складу використовуваних конструкційних пластмас дає можливість визначити основні характеристики, за якими їх треба відносити до тієї або іншої групи за оброблюваністю різанням. У першу чергу, це змінення властивостей сполучного під час нагрівання, що й визначає різницю в умовах різання цих типів матеріалів.

За стійкістю до нагрівання сполучного матеріалу конструкційні пластмаси поділяють на два класи – термопластичні й терморективні (рис. 11.2).

До складу *терморективних* пластмас як сполучний матеріал входять переважно фенолформальдегідні смоли. Ці види смол під час виготовлення деталей під впливом тепла й тиску переходять у необоротний стан, тобто у процесі нагрівання вони не розм'якшуються.

Термопластичні пластмаси, на відміну від терморективних, під впливом підвищеної температури розм'якшуються.

Кожний клас конструкційних пластмас, у свою чергу, поділяється на групи за оброблюваністю різанням:

1. Термопластичні пластмаси:

- без наповнювача (оргскло, фторопласти, капрон, вініласти);
- з порошкоподібним металевим наповнювачем (пластмаси на основі фторопласту або полістиролу з домішками порошоків міді, свинцю, дисульфиду молібдену).

2. Терморективні пластмаси:

- з газоповітряним наповнювачем (пінопласти, поропласти);
- з порошкоподібним наповнювачем (феноласти);
- з волокнистим наповнювачем (склопластики, органопластики, боропластики, вуглепластики, гібридні матеріали);
- з шаруватим і листовим наповнювачами (гетинакси, текстоліти).

Матеріали, що належать до однієї групи, схожі за своїм складом, властивостями й агрегатним станом, тому закономірності їх різання однакові. Це справджується для всіх груп матеріалів, за винятком пластмас з волокнистим наповнювачем, до яких згідно з класифікацією належать КМ. Річ у тому, що такі КМ, як високоміцні скло-, органо-,

боро- та вуглепластики, маючи однакову волокнисту структуру, сильно різняться за своїми фізико-механічними властивостями.



Рис. 11.2. Класифікація пластмас за стійкістю до нагрівання

Групу пластмас із волокнистим наповнювачем доцільно поділити на низку підгруп за складом і властивостями наповнювача й сполучного, схемою армування матеріалу. Розраховуючи режим різання, ці особливості враховують шляхом введення поправкових коефіцієнтів. У всіх випадках першорядним показником оброблюваності є вплив оброблюваного матеріалу на інтенсивність спрацьовування інструменту.

11.1.2. Особливості процесу різання КМ

Характерні особливості оброблення різанням КМ:

1. Схильність до сколювання низки КМ у процесі різання,

що призводить до значного збільшення шорсткості поверхні, а також до викришування поверхонь оброблюваної заготовки під час входу й виходу інструменту. Спрацьовування інструменту в міру оброблення ще більше посилює вплив цього чинника.

2. Неоднорідність будови матеріалу й різна твердість його складових частин, що утруднює отримання низької шорсткості поверхні. Унаслідок цього допустимий ступінь спрацювання інструменту залежить від *технологічних критеріїв спрацювання*, перш за все від збільшення шорсткості поверхні.

3. Сильний вплив матеріалу на інструмент через наявність компонентів з високими абразивними властивостями.

4. Погане відведення тепла із зони різання через знижену теплопровідність КМ і, отже, перегрівання різальних кромek інструменту. З цієї причини критерієм максимально допустимої швидкості різання часто є поява обвуглення поверхневого шару оброблюваної поверхні. Крім того, підвищення температури в зоні різання внаслідок зниженої теплопровідності КМ сприяє його розм'якшенню, а в деяких випадках і руйнуванню.

5. Інтенсивне пилоутворення, особливо під час оброблення різанням термореактивних КМ, що призводить до необхідності примусово видаляти пил і стружку із зони різання за допомогою спеціальних пристроїв.

6. Складність використання МОР через гігроскопічність оброблюваного матеріалу та його хімічну взаємодію з МОР, що спричиняє змінення фізико-механічних властивостей КМ. Під час оброблення термореактивних КМ охолодження рідиною застосовувати не можна, оскільки при цьому утворюється паста з пилоподібної стружки й рідини, яка налипає на робочі поверхні інструменту й ускладнює оброблення. Тому найчастіше в процесі оброблення КМ різанням для охолодження використовується стиснене повітря.

Перелічені особливості оброблення різанням КМ свідчать про те, що просте перенесення закономірностей процесу різання металів на ці матеріали неприпустиме.

У процесі виготовлення виробів з КМ застосовують такі характерні види обробки різанням: розрізання заготовок, точіння, свердління, розгортання й нарізування різі, фрезерування, шліфування.

11.1.3. Розрізання листових заготовок із КМ

Листові заготовки з КМ розрізаються на верстатах стрічковими й дисковими пилками, дисковими фрезами, абразивними кругами.

Щоб уникнути значного перегрівання, не рекомендується здійс-

нювати розрізання листів із КМ у великих пакетах. Щоб запобігти вібраціям і розтріскуванню листів, необхідно забезпечити жорстке кріплення їх на верстаті з використанням дерев'яних підкладок. Під час розрізання листів із КМ особливу увагу слід приділяти гостроті різальних кромek клинового інструменту.

Фасонне розрізання листів із КМ здійснюється стрічковими дрібнозубими пилами (крок зубів до 5 мм) при швидкості різання 1000...1500 м/хв і швидкості руху подачі до 1 м/хв.

Прямолінійне різання листів із КМ виконується також абразивними кругами зернистістю 24 – 46, діаметром 300...350 мм і завтовшки 3...6 мм з охолодженням МОР при такому режимі різання: $v = 40...50$ м/с, $S_o = 0,3...0,6$ м/хв. Схема розрізання листів із КМ аналогічна схемі для підготовчих операцій, яку зображено на рис. 4.2, г.

11.1.4. Токарне оброблення виробів із КМ

Точіння деталей із КМ здійснюється швидкорізальними й твердосплавними різцями при ретельному доведенні робочих поверхонь інструменту пастою з карбіду бору. Величини глибини різання й подачі для точіння деталей із КМ вибирають виходячи з умов стабільного видалення стружки без намотування на деталь, інакше відбувається розм'якшення оброблюваної поверхні та зчеплення її зі стружкою.

Для точіння деталей із КМ (наприклад, зі склопластиків), які через наявність абразивів інтенсивно впливають на інструмент, застосовують різальний інструмент, оснащений пластинами з твердих сплавів марок ВКЗМ і ВК6М.

Для оброблення виробів з особливо міцних видів КМ на зразок вуглепластиків широко використовуються алмазні інструменти (рис. 11.3).

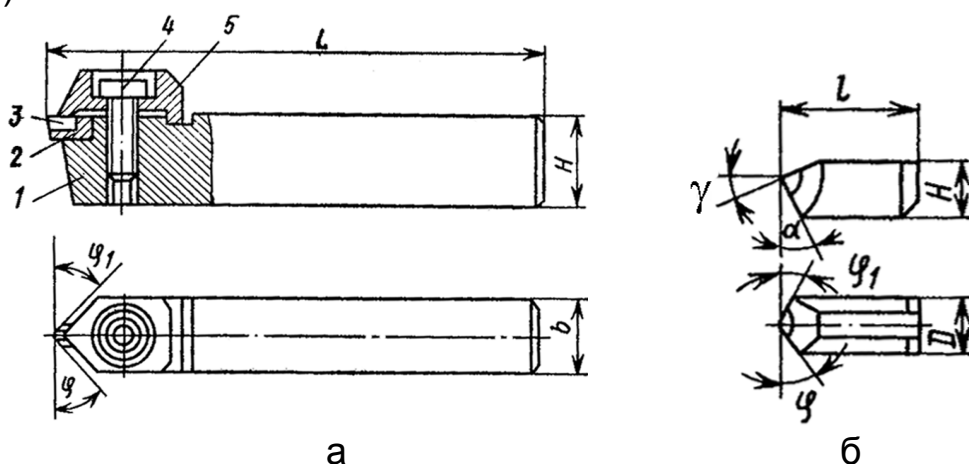


Рис. 11.3. Збірний різець, оснащений вставкою із НТМ:
а – конструкція різця; б – параметри різального елемента

Збірний різець (див. рис. 11.3, а) виконано у вигляді корпуса 1, у якому за допомогою гвинта 4 і спеціальної накладки 5 (що править за стружколам) закріплено різцеву вставку 2 або безпосередньо різальний елемент 3 із НТМ циліндричної, призматичної або пластинчастої форми.

Різцева вставка – це металевий корпус з упаяними в паз кристалами синтетичного алмазу марки АСПК або ПТНБ. Конструктивні розміри кристалічних вставок стандартизовані (див. рис. 11.3, б): $\gamma = -5...8^\circ$; $\alpha = 10...12^\circ$; $\varphi = 15...45^\circ$; $\varphi_1 = 15...45^\circ$; $l = 18...30$ мм; $D = 5...16$ мм; $H = 4...12$ мм.

Режим різання деталей із КМ на зразок вуглепластиків алмазним інструментом має такі значення: $v = 800...1000$ м/хв, $S_o = 0,04$ мм/об.

11.1.5. Оброблення отворів у заготовках із КМ

Свердління заготовок із КМ є одним із найпоширеніших видів обробки. Свердління здійснюється свердлами зі швидкорізальних сталей, а також свердлами, оснащеними пластинками з твердих сплавів.

На рис. 11.4 зображено рекомендовані форми заточки різальної частини й конструкції свердел зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів.

Свердла зі *швидкорізальних сталей* (див. рис. 11.4, а) із формами заточки різальної частини типу НПС (нормальна), ППС (подвійна) і ПРК (з підрізувальними різальними кромками) застосовують для свердлення отворів у скло- і вуглепластиках, свердла з *твердих сплавів* (див. рис. 11.4, б) із такими самими формами заточки – у скло-, вугле- і боропластиках.

Найбільше на якість оброблення отворів і спрацювання свердел впливає кут при вершині свердла 2φ . Слід враховувати, що під час свердління тонких пакетів свердлами з гострою вершиною утворюються отвори на зразок “проткнутих”, тому брати величину кута $2\varphi < 110^\circ$ недоцільно.

Зі збільшенням заднього кута α зменшуються сили тертя по задній грані, що сприяє меншому викришуванню сполучного, а отже, й зменшенню шорсткості поверхні отвору.

Зі збільшенням переднього кута γ шорсткість поверхні отвору збільшується, спостерігається розкуйовдження кромки отворів, особливо в момент виходу куточків свердла з отворів.

Зменшення кута нахилу канавок ω до $10...15^\circ$ і використання свердел з широкою полірованою канавкою покращує відведення стружки й сприяє підвищенню якості обробки отворів.

Щоб запобігти налипанню стружки на інструмент під час свердління, рекомендується наносити на поверхню канавок свердел дисульфід молібдену. Використовувати у процесі свердління охолодні рідини не рекомендується, оскільки останні змішуються з пилом та утворюють пасту, яка ускладнює свердління.

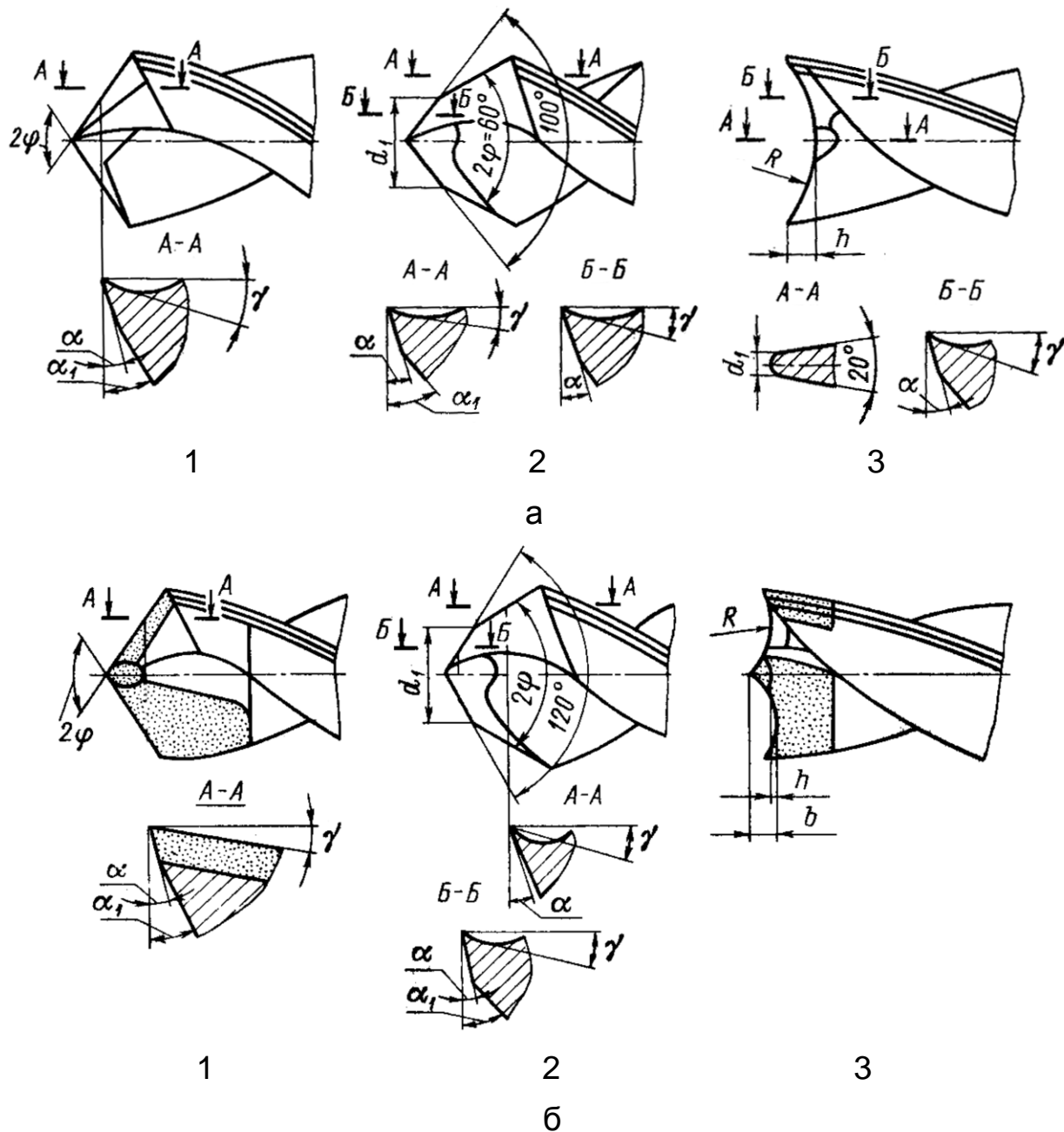


Рис. 11.4. Форми заточки різальної частини свердел зі швидкорізальних сталей (а) і твердих сплавів (б):
 1 – НПС; 2 – ППС; 3 – ПРК

Важливим критерієм якості свердла є величина його спрацювання. За критерій спрацювання свердел зазвичай беруть спрацю-

вання по задній поверхні забірною конуса свердла.

Так, наприклад, спрацювання свердла до 0,2...0,3 мм призводить до появи на деталях з порошкоподібних КМ тріщин, із волокнистих КМ – торочок і опуклостей. Тому допустима величини спрацювання інструменту для оброблення різанням деталей із КМ набагато нижча, для оброблення металевих деталей, і для свердел становить 0,1...0,15 мм.

Режим різання для свердління деталей із КМ вибирають так, щоб забезпечити необхідні показники шорсткості поверхні й періоду стійкості інструменту. Надмірно інтенсивний режим оброблення ускладнює видалення пилоподібної стружки, спричиняє нагрівання інструменту й подальше зчеплення стружки з поверхнею канавок свердла. Тому в процесі оброблення необхідно періодично виводити свердло з отворів.

Свердління на великих подачах спричиняє відшаровування матеріалу на вхідному й вихідному торцях отвору, на малих подачах – призводить до ворсистості поверхні отвору. Зі збільшенням подачі (понад 0,3 мм/об) якість отворів погіршується, отже, знижується довговічність з'єднань. У діапазоні швидкостей різання від 10 до 40 м/хв ворсистість поверхонь отворів зменшується.

Зенкування гнізд у заготовках із КМ під потайні заклепки й болти рекомендується виконувати на свердлильно-зенкувальних установках комбінованим інструментом – свердлом-зенківкою. Для зенкування гнізд використовують чотири- і шестизубі зенківки. Збільшення кількості зубів зенківок до шести сприяє зменшенню шорсткості поверхні оброблюваних гнізд і підвищенню стійкості інструменту. Різальні кромки зенківок мають бути гостро заточені. Про спрацювання зенківок свідчить поява ворсинок та огранування поверхні лунок.

Розгортання отворів у деталях із КМ здійснюється машинними розвертками стандартної конструкції зі вставками з твердих сплавів. Розвертки мають задню або задню й передню напрямні втулки, які рухаються по обертових кондукторних втулках. Розгортання з малими подачами не застосовується, оскільки при цьому знижується точність обробки отворів, збільшуються їхні овальність і конусність.

Рекомендується брати такі геометричні параметри для робочої частини розверток і режиму різання: $\gamma = 0$, $\alpha = 8...10^{\circ}$, $2\varphi = 15^{\circ}$; $v = 20...40$ м/хв, $S_0 = 0,1...0,6$ мм, $t = 0,2...0,3$ мм.

На точність обробки отворів впливає різномірність матеріалів у розсвердлюваному пакеті: для однорідних пакетів (КМ – КМ) точність дещо вища, ніж для змішаних (КМ – метал).

Нарізування різи на деталях із КМ здійснюється різцями, фрезами, плашками. Зазвичай нарізування внутрішньої різи під деталі кріп-

лення з КМ виконується мітчиками.

Висока пружність КМ у процесі утворення нитки різі спричиняє затиснення інструменту, що знижує точність обробки й призводить до браку внаслідок отримання рваного профілю. Щоб уникнути затиснення інструменту, передній кут мітчиків роблять від'ємним у діапазоні від -5 до -10° .

Для зниження інтенсивності тертя пера мітчика роблять якомога вузькими при мінімальній їх кількості (2 або 3) з полірованими канавками й шліфованим профілем. Хороші результати дає хромування робочих поверхонь мітчиків. Зовнішній діаметр мітчиків слід збільшувати на $0,05 \dots 0,15$ мм, зважаючи на усаджування нарізуваних отворів. Рекомендується проводити хіміко-термічне оброблення мітчиків ціануванням, у процесі оброблення застосовувати охолодження повітрям.

Під час нарізування різі мітчиками зі швидкорізальних сталей швидкість не повинна перевищувати 15 м/хв.

11.1.6. Оброблення деталей із КМ фрезеруванням

Для оброблення деталей зі скло-, вугле-, органо- та боропластиків фрезерування не є визначальною операцією й застосовується значно рідше, ніж точіння, свердління або розрізання.

Щоб уникнути розшаровування КМ, оброблення слід здійснювати за схемою збіжного фрезерування, тобто напрям обертання фрези має збігатися з напрямом руху подачі заготовки (див. рис. 7.6, б).

Скло- та вуглепластики фрезерувати можна твердосплавними фрезами. Доцільніше застосовувати інструмент із вольфрамокобальтових твердих сплавів, причому сплави з меншим умістом кобальту є стійкішими. Фрезерувати боропластики твердосплавними фрезами практично неможливо через їх катастрофічно швидке спрацювання.

Значною мірою на стійкість інструменту впливають геометричні параметри його різальної частини (рис. 11.5), тому їх слід правильно вибрати. У процесі фрезерування деталей із КМ змінення головного заднього α і переднього γ кутів зуба фрези впливає на стійкість інструменту й стружкоутворення так само, як і під час точіння.

Допустима величина спрацювання фрез не повинна перевищувати $0,5$ мм для чорнової обробки і $0,3$ мм для чистової.

Кількість стружки під час фрезерування деталей із КМ значно більша, ніж під час оброблення металевих деталей, тому використовують фрези з більш широкими канавками між зубами. Це не знижує міцності інструменту, оскільки сили різання під час оброблення виробів із КМ відносно малі.

У процесі фрезерування деталей із КМ дуже ефективним є використання інструментів, оснащених вставками із НТМ. У цьому разі конструкція інструменту практично не відрізняється від конструкції фрез із твердих сплавів, змінні ножі (наприклад, торцевих фрез) є вставками із НТМ марки АСБ.

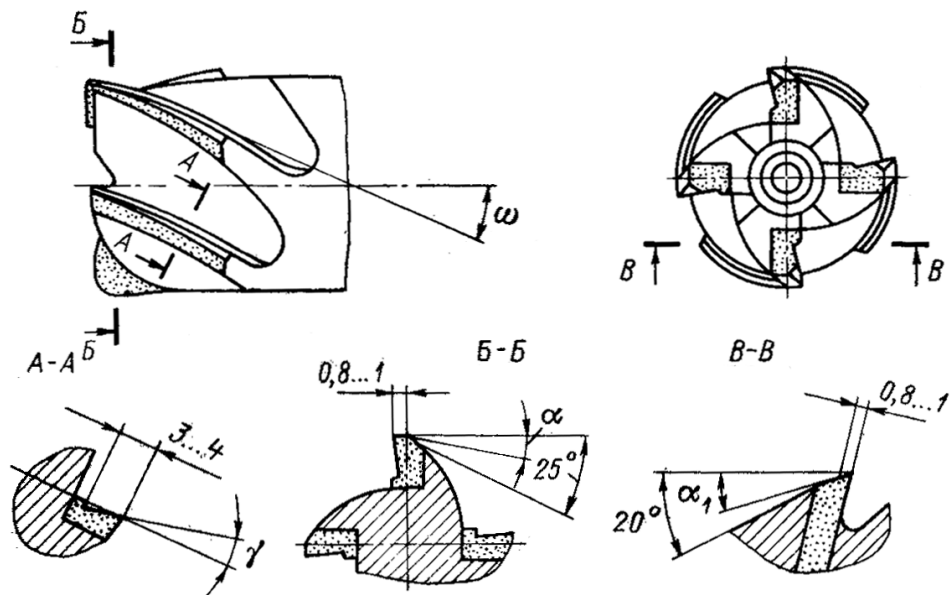


Рис. 11.5. Типова конструкція твердосплавної кінцевої фрези

Для фрезерування пазів і свердлення отворів у боропластиках і гібридних матеріалах з додаванням волокон бору використовується спеціальний інструмент, оснащений шаром із синтетичного алмазу марки Ас15 зернистістю, не нижчою за 400/315 (рис. 11.6). Інструмент складається з хвостовика 1 і різальної частини 2. На торцеву й бічну сторони різальної частини нанесено алмазний шар 3. Поздовжні канавки 4 на бічній поверхні й пази 5 на торцевій поверхні 6 утворюють різальні кромки інструменту.

Охолодна рідина подається в зону різання через внутрішню порожнину й наскрізні отвори оправки. Рекомендована частота обертання інструменту – 9000 хв^{-1} , подача на оберт при заданій зернистості – не більше $0,015 \text{ мм/об}$.

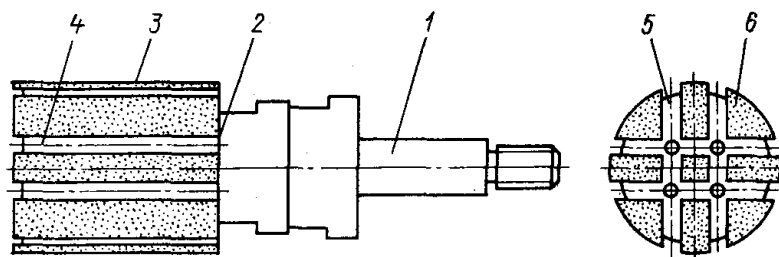


Рис. 11.6. Спеціальний інструмент з алмазним шаром

Абразивна обробка деталей із КМ має такі переваги порівняно з різанням клиновим інструментом: менша шорсткість поверхні, відсутність відколків і тріщин.

Високої ефективності абразивного оброблення можна досягти, лише правильно підбираючи характеристики круга для конкретного виду КМ. Найчастіше з цією метою використовують карборундові й корундові круги. Наприклад, для круглого зовнішнього шліфування деталей із КМ використовують корундові круги зернистістю 60, твердістю М1 при режимі різання: $t = 0,2...0,4$ мм за умови, що швидкість руху подачі не перевищує 0,24 м/хв і швидкість різання круга $v = 30...35$ м/с.

11.1.7. Оброблення деталей із металополімерних КМ

УкрНДІАТ спільно з АНТК ім. О. К. Антонова розробили технологію виготовлення елементів конструкцій із листових металополімерних КМ (МПКМ) тришарової структури [11].

Зовнішні металеві шари МПКМ виконано з алюмінієвого сплаву Д16т, внутрішній – органополімерний на основі клею ВК-41, армований двома шарами склотканини.

Використання шаруватих МПКМ у конструкціях ЛА дає можливість зменшити масу ЛА і збільшити їхній ресурс, а також значно зменшити вібраційні й акустичні навантаження.

Порівняно з алюмінієвими сплавами МПКМ мають меншу (на 10 – 20 %) густину, вищу (на 10 – 20 %) питому міцність під час розтягування, меншу (у 10 – 15 разів) швидкість зростання тріщин від утомленості й високу демпфівальну здатність.

Механічне оброблення деталей із МПКМ різанням складається з таких типових операцій: розкроювання й обрізання деталей по зовнішньому контуру, фрезерування, оброблення кромки і свердління отворів. Щоб здійснити ці операції, використовують практично такі самі способи оброблення, що й для КМ.

Для МПКМ режим різання під час фрезерування може бути таким самим, що й для відповідного алюмінієвого сплаву (Д16Т), але з корекцією на схильність матеріалу до розшаровування. Фрезерування виконують кінцевими двозубими фрезами зі швидкорізальної сталі марки Р9Ф5К5.

Для оброблення фасок, зачищення поверхонь і притуплювання гострих кромки використовують ручні засоби механізації з алмазними й абразивними головками, а також дрібнозубими фрезами з твердих сплавів з високою частотою обертання – до 18 000 хв⁻¹.

Отвори свердлять алмазними перфорованими свердлами діаметром до 100 мм, твёрдосплавними – діаметром 6...30 мм, а також свердлами зі швидкорізальних сталей марок Р18, Р9Ф5К5.

11.2. Видалення стружки й пилу із зони різання КМ

У процесі оброблення виробів з КМ алмазними кругами й свердлами, твёрдосплавним різальним інструментом, а також інструментом із НТМ утворюються токсичний пил і дрібнодроблена стружка. Для видалення стружки й пилу із зони різання призначено витяжну вентиляцію й інструменти спеціальних конструкцій.

Щоб витяжна вентиляція ефективно працювала, необхідно мати відповідну систему трубопроводів і правильно сконструйовані приймачі-вловлювачі в робочій зоні верстата.

Такі приймачі-вловлювачі застосовуються під час розрізання заготовок, нарізування різи алмазними кругами, шліфування, коли стружка являє собою дисперсні частинки, що рухаються з великою швидкістю в досить вузькій зоні. Охопивши цю зону відповідним приймачем-уловлювачем, можна видалити відходи, що утворюються внаслідок різання.

Спеціальна конструкція інструментів дає можливість захоплювати стружку й пил у місці їх виникнення, тобто безпосередньо в зоні різання інструменту (рис. 11.7). На рис. 11.7, а зображено конструкцію спеціального самообертового різця з твёрдого сплаву, який застосовується для зовнішнього обточування заготовок із КМ.

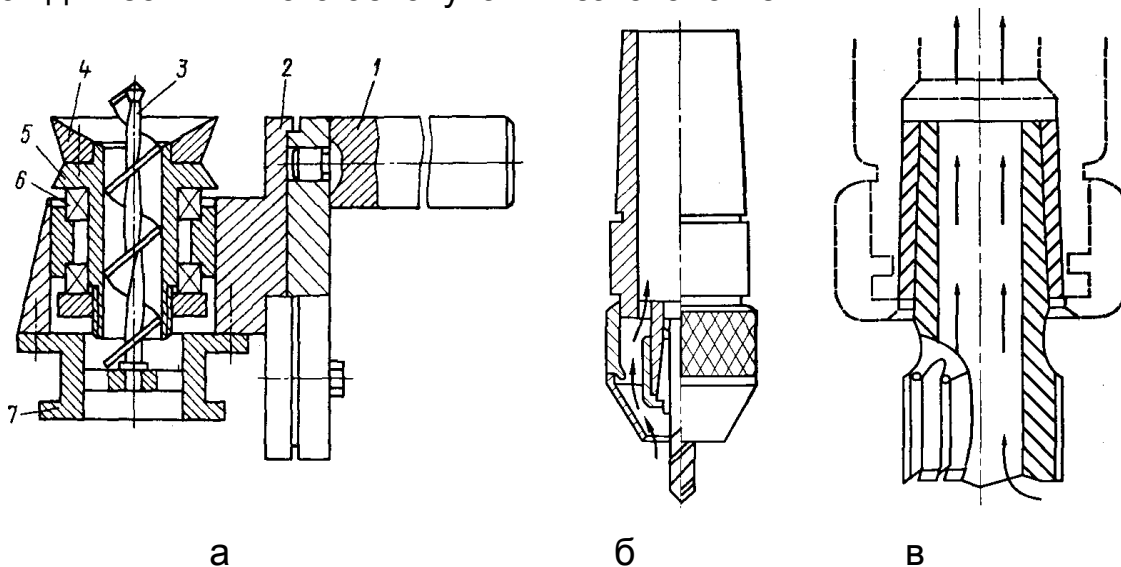


Рис. 11.7. Інструменти спеціальних конструкцій для оброблення деталей із КМ:
 а – токарний різець із стружковідвідним пристроєм;
 б – цанговий патрон з кільцевою щілиною; в – порожниста фреза

Оправка 1 закріплена у різцетримачі верстата. Твердосплавний самообертний різець 4 установлений у втулці 5, яка сполучена з корпусом 2 через підшипники 6. До патрубку 7, з'єданого з корпусом 2 гвинтами, нерухомо закріплений шнек 3. Патрубок 7 сполучений із системою витяжної вентиляції. У процесі оброблення різець обертається, і по гвинтових канавках шнека стружка прямує до каналу, чому сприяє також витяжна вентиляція, під'єднана до цього каналу.

Під час свердління пил і стружка відводяться через цанговий патрон з кільцевою щілиною (див. рис. 11.7, б), під час фрезерування – через центральний отвір в інструменті (див. рис. 11.7, в).

Для використання ручних засобів механізації робоче місце слід обладнати індивідуальним переносним пиლოსосом типу ППВМ.

Робітники, які виконують операції механічного оброблення, мають бути забезпечені індивідуальними засобами захисту: респіратором, захисними окулярами, рукавицями, халатом.

Контрольні запитання

1. Чим обумовлене використання КМ у конструкції планера сучасних ЛА?
2. Наведіть класифікацію конструкційних пластмас за стійкістю до нагрівання й оброблюваністю різанням.
3. Які характерні особливості оброблення різанням властиві типовим представникам КМ?
4. Наведіть типову конструкцію алмазних інструментів для точіння деталей із високоміцних КМ на зразок вуглепластика.
5. Як впливають геометричні параметри різальної кромки свердла на якість обробки отворів?
6. Які форми заточування різальної частини мають свердла, що використовуються для оброблення отворів у деталях із КМ?
7. Назвіть особливості фрезерування заготовок із КМ.
8. Наведіть конструкцію спеціального інструменту з алмазним шаром для фрезерування й свердління заготовок із боропластиків.
9. Які особливості оброблення різанням характерні для металополімерних КМ?
10. Які методи видалення стружки й пилу із зони різання застосовуються у процесі оброблення деталей із КМ?

12. ЗМІЦНЮВАЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

12.1. Вплив поверхневого зміцнення на ресурс деталей ЛА

У процесі експлуатації конструкції планера ЛА зазнають високих навантажень, що багаторазово повторюються. За цих умов механізм впливу поверхневого зміцнення на конструкційну міцність матеріалів суттєво відрізняється від того, який діє в області невисоких напружень, характерних для умов звичайної втоми.

Утворення залишкових стискальних напружень у поверхневому шарі має вирішальне значення для підвищення опірності втомі деталей планера ЛА. У малоцикловій області при високих навантаженнях, що повторюються, найважливішим чинником, який зумовлює підвищення довговічності високоміцних матеріалів, є радикальне покращання мікрорельєфу поверхні.

Унаслідок наклепу ліквідуються гострі надрізи, забезпечується найбільш сприятливий мікрорельєф поверхні й цим підвищується опірність утомі поверхневого шару деталі.

Для алюмінієвих сплавів В93, В95 і Д16 ефект наклепу при високих навантаженнях, що повторюються, є дуже значним. Для високоміцних алюмінієвих сплавів В93 і В95 через їхню велику чутливість до стану поверхні ефект наклепу сильніший, ніж для менш міцного сплаву Д16.

Зміцнювальному обробленню методами поверхнево-пластичного деформування (ППД) можуть піддаватися деталі різних форм і розмірів, виготовлених із різних металів.

Існує велика група малотвердих деталей на зразок панелей, стінок, дуг, профілів, які виконано з високоміцних сталей алюмінієвих і титанових сплавів.

Силкові деталі, наприклад, панелі, циліндри, балки, стояки, вали, кронштейни, виконані з високоміцних легованих сталей, а також титанових сплавів, можна зміцнювати поверхневим наклепом як по всіх, так і по окремих поверхнях.

Форма зміцнюваної поверхні впливає на вибір способу, засобів і режимів оброблення методами ППД. Тому вона може бути використана як основний параметр для систематизації технології місцевого зміцнення. Від геометрії поверхні залежить також ступінь концентрації напружень.

Після зміцнювального оброблення деталі методами ППД змінюється мікрогеометрія або шорсткість поверхні. При цьому використан-

ня деяких способів зміцнювання зменшує шорсткість обробленої поверхні (розкочування отворів), використання інших – збільшує її (дробоструминна обробка), але у всіх випадках параметри початкової й кінцевої шорсткості взаємозв'язані.

Чим менша шорсткість поверхні деталей перед зміцненням, тим ефективніший процес зміцнювання.

Місця концентрації напружень повинні мати таку шорсткість поверхні: для сталевих деталей після механічного оброблення – не менше R_a 2,5, для деталей з алюмінієвих сплавів – не менше R_z 40...20.

Залежно від форми, розмірів і матеріалу деталі, вимог до геометричних параметрів і якості поверхні, виробничих та інших умов можна використовувати різні способи зміцнювального оброблення методами ППД.

12.2. Ударні способи поверхневого зміцнювання

Спосіб зміцнювання вибирають залежно від форми й розмірів деталі, умов її роботи й стану поверхневого шару, технологічних можливостей (рис. 12.1), а також за економічною доцільністю.

Стиснене повітря

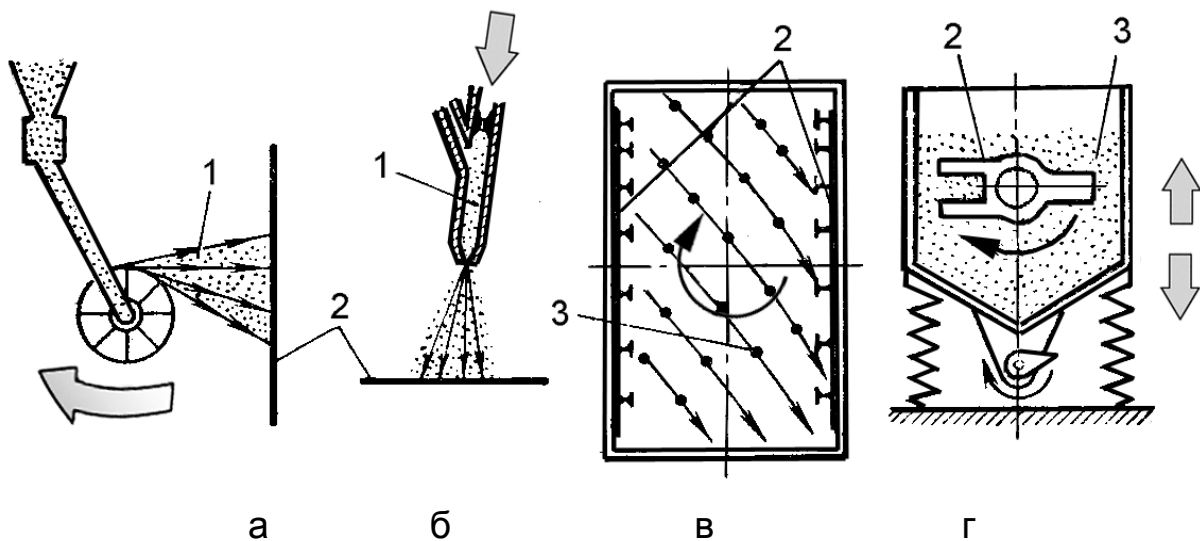


Рис. 12.1. Ударні способи зміцнювання:
 а – струминно-механічний; б – струминно-пневматичний;
 в – барабанно-ударний; г – вібраційний;
 1 – дріб; 2 – деталь; 3 – гранули або кульки

Незалежно від варіантів технологічної схеми існують два види поверхневого зміцнювання деталей:

– значне пластичне деформування поверхневого шару без знімання металу (поверхнєве зміцнювання способами вібронаклепу, пневмодинамічного, віброударного, дробоструминного або гідродробоструминного наклепу);

– незначне пластичне деформування зі зніманням металу за-вглибшки 0,01...0,3 мм при малій глибині наклепаного шару (поверхнєве зміцнювання способами віброшліфування або гідроабразивного шліфування й полірування).

12.2.1. Технологічні особливості віброзміцнювання

Суть процесу віброзміцнювання полягає в такому. Робоче середовище, що складається з абразивних або металевих частинок (гранул, кульок), та оброблювані деталі, розміщені в контейнері віброустановки (рис. 12.2), здійснюють механічні коливання з прискореннями (10...15)g. Під впливом цих коливань частинки робочого середовища набувають енергії, якої достатньо для здійснення пластичного деформування поверхневого шару деталі.

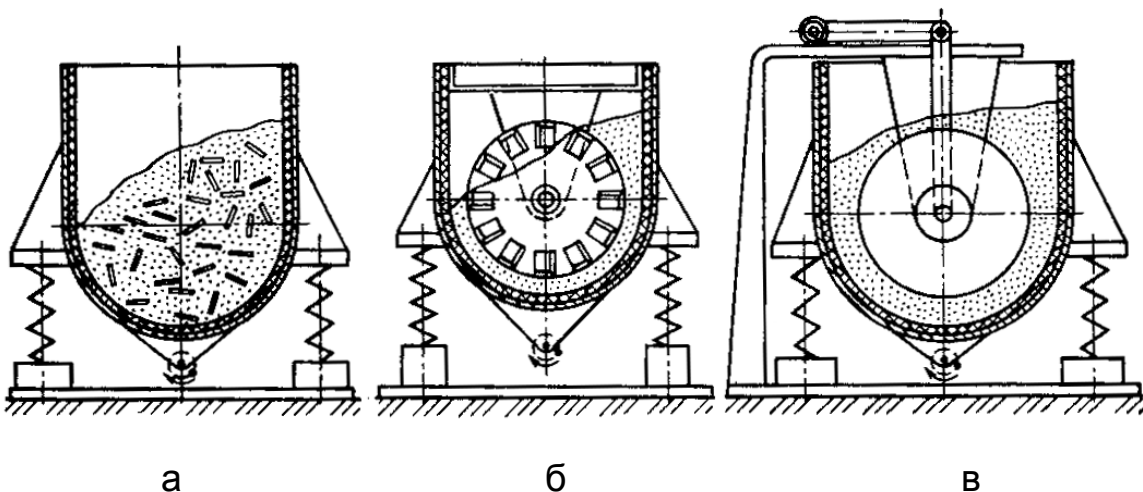


Рис. 12.2. Способи завантаження деталей під час віброзміцнювання:
а – вільне розташування; б – закріплення в резервуарі;
в – закріплення на ізольованій опорі

Основні параметри процесів ППД, що визначають величини наклепу, залишкового напруження й шорсткості поверхні:

– характеристики робочого середовища (матеріал і діаметр кульок; матеріал, зернистість і форма абразивного наповнювача);

– амплітуда й частота коливань, які задають швидкість і прискорення віброуючим частинкам;

– тривалість процесу зміцнювання.

Залежно від використовуваного робочого середовища віброзміцнювання можна виконувати як операцію віброшліфування або вібро-

полірування.

Віброшліфування здійснюється абразивними гранулами із зерном розміром понад 50 мкм і призначене для зняття з поверхні деталей дефектних шарів і забезпечення шорсткості R_z 1,25. У поверхневому шарі деталей виникає високе залишкове напруження стиску з незначною глибиною поширення (до 80 мкм).

Віброполірування виконується абразивними гранулами із зерном розміром менше 50 мкм і призначене для забезпечення шорсткості поверхні деталей з параметром R_z 0,65 і вище. У поверхневому шарі деталей виникає залишкове напруження стиску з малою глибиною поширення (до 50 мкм).

Залишкове напруження стиску, що виникає внаслідок полірування сталевими кульками, порівняно із залишковим напруженням, що виникає під час віброшліфування, дещо менше за величиною, але поширюється на значно більшу глибину (понад 200 мкм). Розмір частинок робочого середовища також суттєво впливає на параметри наклепу й залишкового напруження в поверхневому шарі деталей. Зі зменшенням розміру частинок зменшуються наклеп і залишкове напруження.

Віброзміцнювання сталевими кульками забезпечує найвище пластичне деформування, його називають *вібронаклепом* і позначають ВН. Віброзміцнювання в наповнювачі з абразивних частинок забезпечує велике знімання металу при невеликому підвищенні його опірності втомі, його називають *віброшліфуванням* і позначають ВШ.

Перед зміцненням шорсткість поверхонь деталей зі сталей має бути не вище R_z 20, з алюмінієвих сплавів – не вище R_z 40. Поверхні деталей із шорсткістю R_z 40, виготовлені точним литтям, піддають вібронаклепу без попередньої їх підготовки.

Вібронаклеп тонкостінних деталей, наприклад циліндрів, стояків шасі, рекомендується здійснювати перед остаточним шліфуванням отворів, які в цьому разі мають припуск, що дає можливість під час шліфування усунути жолоблення (овальність), якщо воно виникло в процесі оброблення методами ППД.

Вібронаклеп внутрішніх порожнин деталей виконується одночасно з обробленням зовнішніх поверхонь або окремо від нього. Для цього внутрішню порожнину на 70 – 80 % заповнюють робочим середовищем і закривають заглушками. Віброзміцнювання в одному контейнері деталей, які різко відрізняються один від одного за механічними властивостями матеріалу, формою й масою, неприпустиме.

У процесі вібронаклепу як робоче середовище використовують сталеві кульки діаметром 4...6 мм, які мають бути полірованими, чистими, без дефектів на поверхні. Під час експлуатації кульки необхідно регулярно промивати в гасі, сортувати через 150...200 год і відбраковувати. Зберігати їх слід в бункерах у водному розчині триетаноламіну.

Інтенсивність та якість процесів зміцнювання контролюють на підставі визначення деформації зразків-свідків. Зразки-свідки для всіх зміцнюваних сталевих деталей виготовляють зі сталі 30ХГСА або 30ХГСНА й обов'язково шліфують, для зміцнюваних деталей з алюмінієвих сплавів – з матеріалу, аналогічного матеріалу деталей. Прогин зразків-свідків у процесі однобічного зміцнювального оброблення має становити: у разі зміцнювання методом *ВШ* – не менше 0,4 мм, методом *ВН* – 1,6...3,0 мм.

Якщо взяти продуктивність віброабразивного оброблення виробів зі сталі 45 за одиницю, то знімання металу з поверхонь деталей з інших матеріалів за інших однакових умов приблизно становитиме [25]:

- з алюмінієвих сплавів – 1,6;
- незагартованих вуглецевих і легованих сталей – 1,0;
- загартованих легованих сталей – 0,9...0,8;
- корозійностійких і жароміцних сплавів – 0,8...0,7;
- титанових сплавів – 0,6.

12.2.2. Пневмодинамічний спосіб зміцнювання

Пневмодинамічний спосіб зміцнювання деталей ґрунтується на використанні кінетичної енергії кульок або дробу, яку задає їм струмінь повітря, що подається у робочу камеру під тиском 0,3...0,6 МПа.

Основні параметри пневмодинамічного способу зміцнювання: тиск повітря; матеріал і діаметр кульок (дробу), їх твердість; відстань від щілини сопла до оброблюваної поверхні; довжина робочої зони камери; питоме навантаження кульок (дробу); час оброблення.

Пневмодинамічному зміцнюванню піддають деталі з алюмінієвих сплавів із товщиною стінок не менше 4 мм і сталеві – з товщиною стінок не менше 2,5 мм.

Для зміцнювального оброблення пневмодинамічним способом широко застосовують установки типу БДУ-Е2М (рис. 12.3).

Установка складається із систем подавання 2, збирання 1 та очищування 5 дробу й робочої камери 10, з'єднаної з основними системами з допомогою двох рукавів: подавання дробоповітряної суміші 7 і відсмоктування дробу 6. Маса завантаженого дробу – до 100 кг.

Робоча камера складається зі штуцера 8, сопла 9, що подає дріб на поверхню заготовки 12, і порожнини розрідження 13, через штуцер 4 якої дріб відводиться із камери. Щоб уникнути вилітання дробу з камери, передбачено щіткове ущільнення 11. Установку змонтовано на візку 3, і її можна транспортувати. Деформувальні тіла – дріб діаметром до 2 мм.

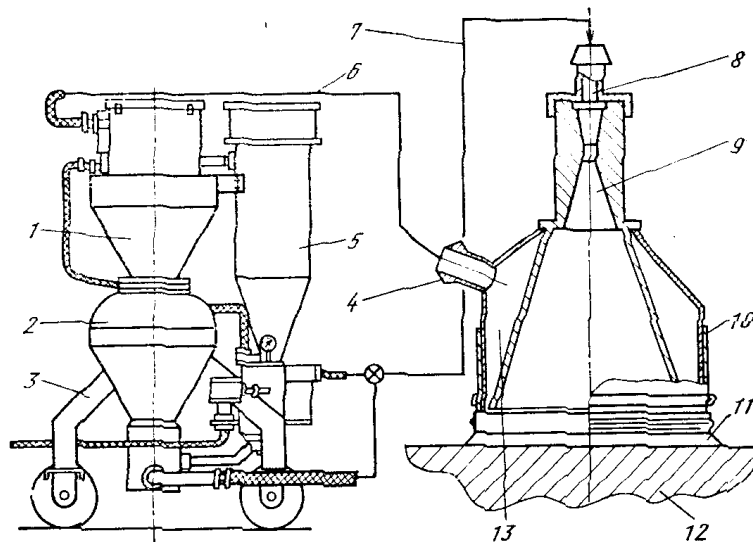


Рис. 12.3. Схема пневмодинамічної установки БДУ-Е2М

Пневматичний *переносний* пристрій (рис. 12.4) широко використовується як засіб місцевого зміцнювального оброблення методами ППД.

Пристрій складається з корпусу 1 і ручки 2. Робоча камера пристрою є каналом у корпусі між профільованим центральним тілом 6 і бічною кришкою 8.

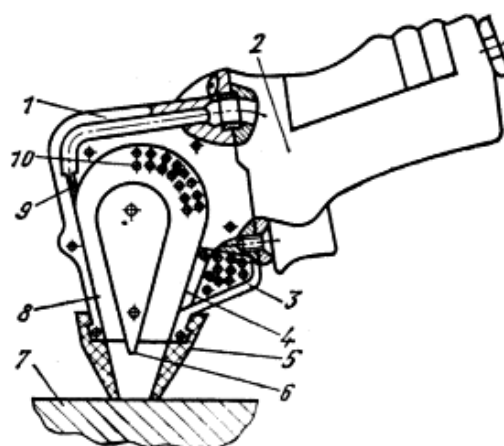


Рис. 12.4. Схема пневматичного переносного пристрою

Для зберігання кульок тіл до задіяння пристрою й збирання їх після роботи в корпусі передбачено вловлювач 3 із заслінкою 4. При-

стрій має комплект пружних гумових насадок 5, конфігурація яких залежить від форми поверхонь 7, що зміцнюються.

Стиснене повітря підводиться в робочу камеру через сопло 9, відпрацьоване повітря відводиться через отвори 10 у бічних кришках. Після завершення роботи пристрою відкривається заслінка 4, що перекриває профільований канал, кульки прямують до вловлювача 3, при цьому відпрацьоване повітря виходить через бічні отвори вловлювача.

12.2.3. Барабанно-ударний спосіб зміцнювання

Барабанно-ударний спосіб зміцнювання (див. рис. 12.1, в) застосовують для оброблення алюмінієвих, сталевих і титанових деталей на зразок панелей, обшивок лонжеронів, поясів, нервюр, стрингерів, шпангоутів із гладкими й ребристими поверхнями [21].

Ударно-барабанне зміцнювання відбувається внаслідок співударяння гранул сипкого робочого тіла з поверхнями оброблюваних деталей. Деталі закріплюють усередині барабана, що обертається навколо горизонтальної осі. Сипке робоче тіло отримує енергію за рахунок відцентрових і гравітаційних сил унаслідок обертання барабана (рис. 12.5).

Барабан 1 має прямокутну (див. рис. 12.5, а) або шестигранну (див. рис. 12.5, б) форму. Порожнина барабана прямокутної форми розділена центральною перегородкою на дві робочі камери. Оброблювані деталі 3 закріплюють на знімних щитах 2, що закривають отвори робочих камер, і на центральній перегородці.

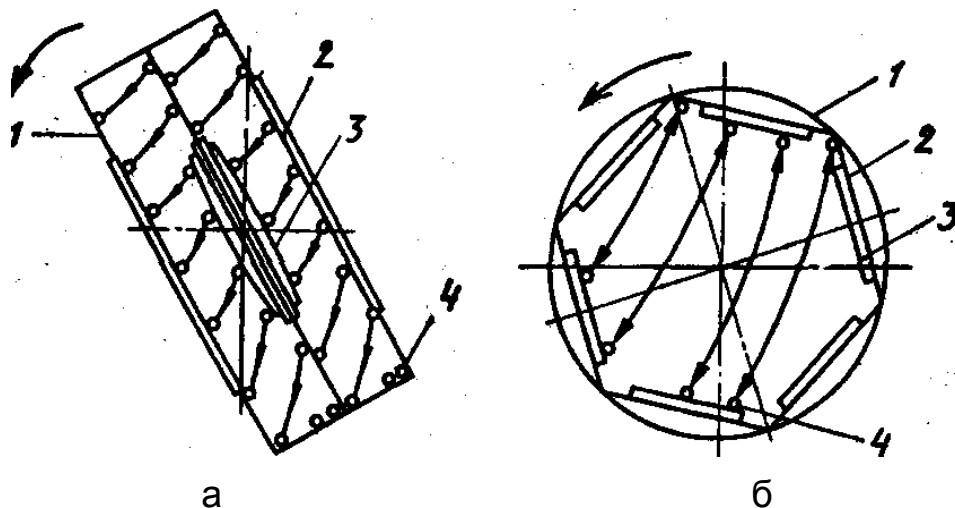


Рис. 12.5. Схеми розміщення деталей у барабані:
а – двокамерному; б – багатогранному

Під час обертання барабана гранули сипкого робочого тіла 4 падають на поверхні оброблюваних деталей, поверхневий шар деталей пластично деформується, унаслідок чого відбувається зміцнення. Пове-

рхні деталей зміцнюються по черзі. Щоб підвищити рівномірність оброблення деталей, напрям обертання барабана періодично реверсують.

Як сипке робоче тіло застосовуються кубики зі сплаву В95-Т1 з розміром сторони 2...5 мм. Оброблення здійснюється насухо з постійною вентиляцією робочих камер барабана.

12.2.4. Віброударний спосіб зміцнювання довгомірних деталей

Суть способу віброударного зміцнювання полягає в деформуванні поверхневого шару металу внаслідок співударяння деталі з насипаними на її поверхню сталевими кульками.

Цей спосіб зміцнювання здійснюється на спеціальній вібраційній установці (рис. 12.6), призначеній для одночасного оброблення зовнішніх і внутрішніх поверхонь довгомірних деталей, наприклад лонжеронів, лопатей гвинтів вертольотів тощо.

На жорсткій платформі 1 закріплено регульовані напрямні дебалансні вібратори 2. Платформу 1 з допомогою пружних підвісок 3, 5 установлено на рамі 4, закріпленій на фундаменті.

Деталь розміщують у спеціальному контейнері 8, на поверхні, що підлягають обробленню, насипають сталеві кульки 6. Щоб кульки не висипалися, торці контейнера закривають заглушками.

Контейнер з деталлю й кульками прикріплюють до платформи спеціальними шпильками 9.

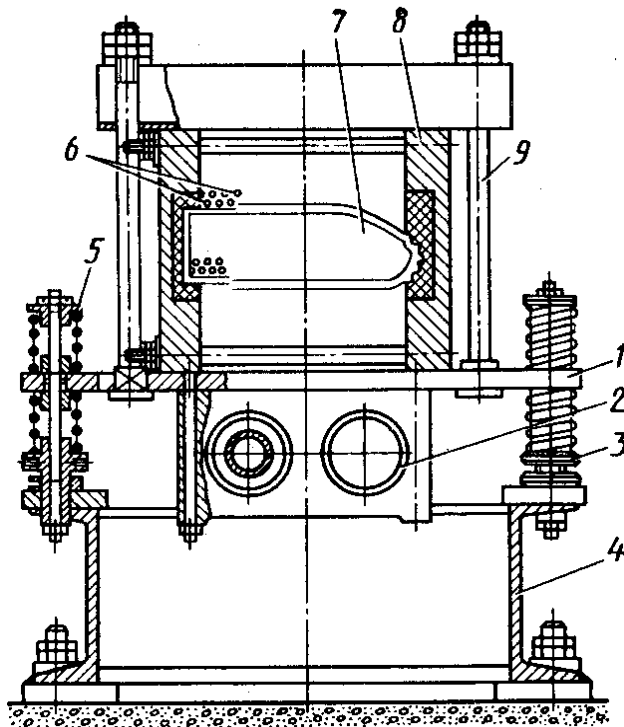


Рис. 12.6. Схема вібраційної установки

Вібратори 2 синхронно приводяться в обертання електродвигуном постійного току з регульованою частотою збудження 20...40 Гц. Процес зміцнювання здійснюється мінімум за два технологічні переходи. Віброударне зміцнювання дає можливість довести глибину шару наклепу до 0,6 мм як по зовнішній, так і по внутрішній поверхнях.

12.2.5. Дробоструминний спосіб зміцнювання

Дробоструминний спосіб зміцнювання ґрунтується на використанні кінетичної енергії металевих частинок (сталевих або фарфорових кульок, склосфер, дробу), які під тиском стисненого повітря подаються на поверхню оброблюваної деталі (рис. 12.7).

Дробоструминне зміцнювальне оброблення довгомірних деталей на зразок монолітних ребристих панелей і лонжеронів без формоутворення здійснюється в спеціальних установках, що мають вигляд великих камер, при вертикальному положенні деталі.

Відстань від сопла до оброблюваної поверхні становить 200...250 мм, сопло переміщається поперек ребер жорсткості зі швидкістю 0,5...0,9 м/хв.

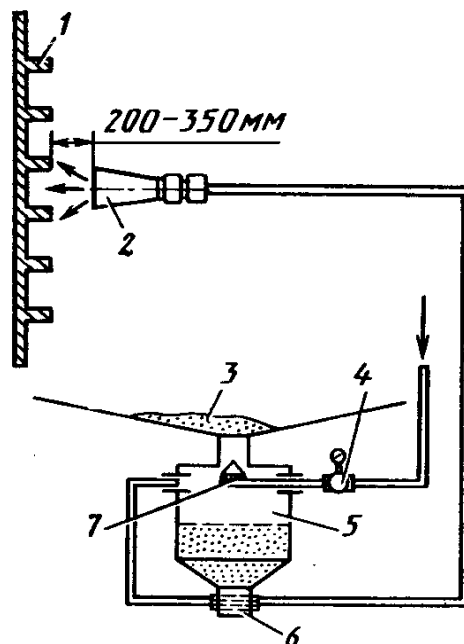


Рис. 12.7. Схема дробоструминного оброблення в камері:
 1 – деталь; 2 – сопло; 3 – збірник дробу; 4 – редуктор-манометр;
 5 – робочий бункер; 6 – приймальний штуцер; 7 – перепускну клапан

Оброблення здійснюється за замкнутим циклом. Як оброблювальне середовище застосовують сталевий литий дріб марки ДСЛ діаметром 0,8...1,2 мм, сталеві кульки з конструкційної сталі марки ШХ-15 діаметром 0,8...3,0 мм.

12.3. Статичні способи поверхневого зміцнювання

12.3.1. Обкочування роликівими й кульковими обкатниками

Унаслідок обкочування підвищується не лише міцність під час динамічних навантажень, але й зносостійкість і корозійна стійкість таких деталей, як стояки шасі, осі й барабани коліс.

Залежно від цих параметрів глибина шару із залишковою деформацією коливається в межах 0,01...0,05 мм і вище.

Процес обкочування зовнішніх поверхонь обертання доцільно проводити на токарних верстатах, внутрішніх – на револьверних або свердлильних, а плоских – на фрезерних або стругальних.

Обкочування здійснюють зі швидкістю 30...150 м/хв і подачею 0,1...0,2 мм/об, інтенсивно застосовуючи мастило, щоб зменшити шорсткість оброблюваних поверхонь. Зміцнення поверхневого шару меншою мірою залежить від швидкості обкочування, більшою – від кількості робочих ходів.

Для зменшення шорсткості й зміцнення деталей з відносно правильними формами поверхонь застосовують обкочування роликівими й кульковими обкатниками пружної дії (рис. 12.8, а – г).

Поверхні деталей великої шорсткості обкочуються однороликівими пристроями (див. рис. 12.8, а), а в інших випадках – трироликівими обкатниками (див. рис. 12.8, в).

Для обкочування перехідних та інших подібних місць замість роликів інколи застосовують кульки (див. рис. 12.8, б, г). Тиск інструменту на оброблювану поверхню становить 1,47...4,9 кН й створюється тарованими пружинами, пневматичними або гідравлічними пристроями.

Для калібрування, оброблення й зміцнювання використовують жорсткі як нерегульовані (рис. 12.8, д), так і регульовані (рис. 12.8, е) розкатники й обкатники, у яких ролики або кульки жорстко притиснуті з певним зусиллям до оброблюваної поверхні.

Жорсткими розкатниками обробляють отвори діаметром 6...500 мм і завдовжки до 3 м у деталях сталі та кольорових сплавів.

Під час обкочування й розкочування змінюється діаметр оброблюваної деталі в межах 0,005...0,03 мм, але не усуваються неточності геометричної форми – овальність, конусність і хвилястість поверхні.

Основними параметрами, що характеризують процес оброблення роликівом, є радіальне зусилля, поздовжня подача, колова швидкість, діаметр ролика й радіус його профілю. Кількість переходів під час оброблення роликівими – не більше двох. Слід враховувати, що недотримання оптимальних режимів оброблення й перевищення оптимальної кількості переходів у процесі оброблення роликівими може

призвести до лущення оброблюваної поверхні, виникнення тріщин на поверхневому шарі.

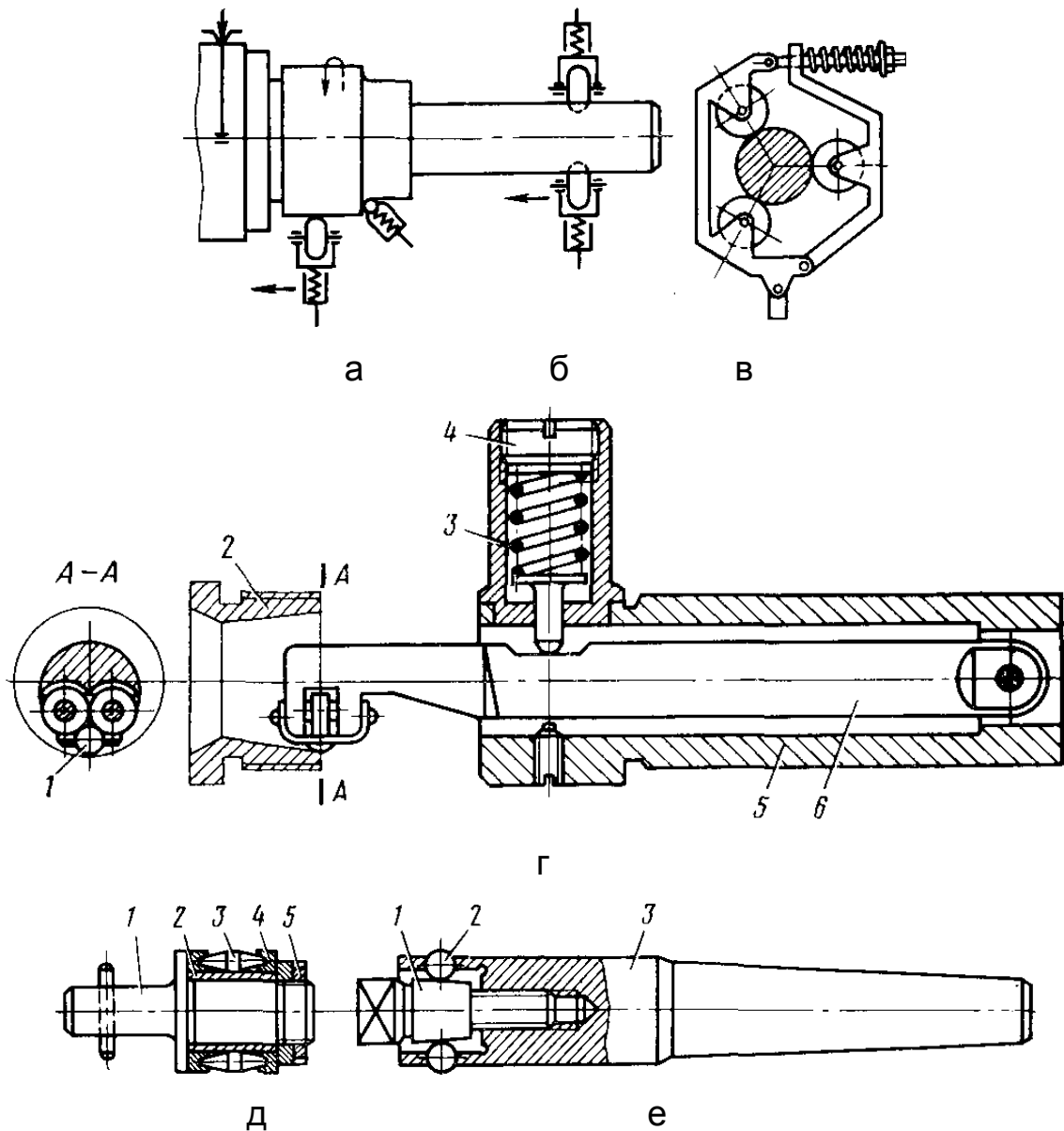


Рис. 12.8. Схеми пристроїв для обкочування й розкочування:
 а – однороликовий, б – кульковий, в – трироликовий обкатники;
 г – кульковий розкатник (1 – кулька, 2 – заготовка, 3 – пружина,
 4 – гвинт, 5 – корпус, 6 – оправка); д – нерегульований роликовий
 розкатник (1 – оправка, 2 – втулка, 3 – ролик, 4 – обойма з гніздами,
 5 – контргайка); е – регульований кульковий розкатник
 (1 – гвинт з конусом, 2 – кулька, 3 – корпус)

12.3.2. Дорнування, обтискання кромки

Дорнування – ефективний процес зміцнювання отворів під болтові з'єднання, особливо в тих випадках, коли оброблення відбувається в пакеті деталей без подальшого його розбирання.

Дорнування отворів діаметром до 40 мм виконується шляхом проштовхування через них з натягом спеціального інструмента – дорна (рис. 12.9, а). Калібрування здійснюється аналогічно з допомогою сталевих полірованих кульок (рис. 12.9, б). Дорнування й калібрування виконуються на пресах, протяжних та інших верстатах.

Щоб зменшити тертя й шорсткість, дорн та оброблювану поверхню перед калібруванням змащують. Унаслідок дорнування може бути підвищена точність обробки отвору на один клас і знижена шорсткість з R_a 40 до R_a 0,32.

Швидкість калібрування несуттєво впливає на точність і шорсткість оброблених поверхонь. Оптимальну величину натягу під час дорнування (до 0,2 мм) визначають залежно від механічних властивостей матеріалу, розміру отворів, початкової шорсткості, якості мастила.

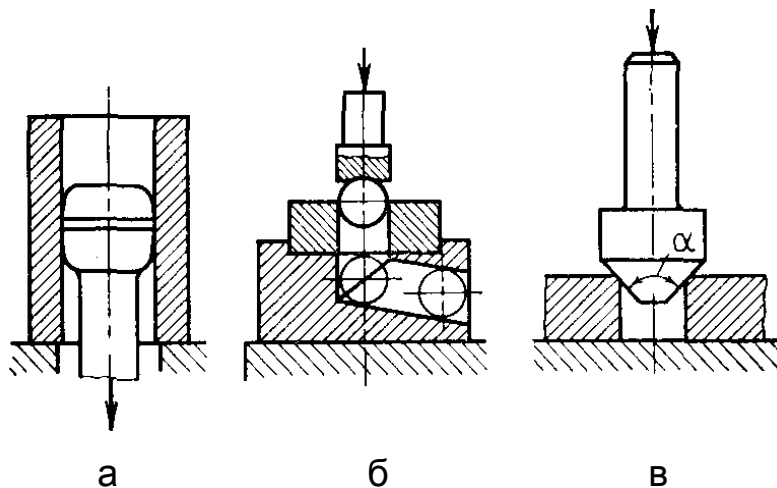


Рис. 12.9. Схеми процесів ППД отворів:

а – дорнування; б – проштовхування кульки; в – обтискання кромки

Критерієм для вибору оптимального режиму дорнування або калібрування, як і для розкочування, є якість зміцнення: поверхня має бути дзеркальною, особливо поблизу кромки отворів, де концентрація напруження є найбільшою.

Обтискання кромки отворів сталевими полірованими кульками (рис. 12.9, в) застосовують, щоб підвищити міцність і витривалість болтових і заклепочних з'єднань, валів з отворами для підведення мастила, проушин шарнірних з'єднань.

Кромки отворів обтискаються статично або в разі потреби сильними й нечастими ударами пневматичного молотка. На робочу поверхню обтискачів перед обтисканням рясно наносять машинне мастило.

Після обтискання кромки отворів поверхня має бути блискучою, з шорсткістю від R_a 0,32 до R_a 0,16, без помітних слідів зсуву або відшарування металу.

Щоб підвищити витривалість особливо відповідальних деталей або зміцнити отвори, розташовані в найбільш навантажених місцях, доцільно комбінувати оброблення – застосовувати дорнування й обтискання кромки.

Ефект від зміцнення зберігається за температури до 200 °С для алюмінієвих сплавів і до 400 °С для сталей.

Контрольні запитання

1. Як впливає поверхнєве зміцнювання на ресурс деталей планера ЛА?
2. Які технологічні схеми ударних способів зміцнювання застосовуються на підприємствах галузі?
3. Які параметри визначають процес віброзміцнювання?
4. Які параметри характеризують пневмодинамічний спосіб зміцнювання?
5. Розробіть принципову схему пневматичного переносного пристрою для місцевого зміцнювального оброблення.
6. За якою схемою здійснюється віброударне зміцнювання довгомірних деталей планера ЛА?
7. Зобразіть схему дробоструминного оброблення деталей типу панелей.
8. Які схеми застосовують для обкочування валів і розкочування отворів?
9. Зобразіть схеми дорнування й калібрування отворів, обтискання кромки отворів.

13. ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАНЕРА ЛА

На сучасних машинобудівних підприємствах універсальним засобом автоматизації керування технологічним устаткуванням є ЧПК.

Керівна програма (КП), введена в пристрій ЧПК верстата, задає траєкторію руху інструменту, приводів подач головного руху і допоміжних пристроїв, що забезпечують виготовлення заданої деталі. Завдяки оснащенню верстатів ЧПК автоматизується керування роботою верстата, а загальні технологічні можливості верстатів зберігаються або розширюються.

На верстатах з ЧПК виконують різання двох видів:

– *контурне* – для оброблення поверхонь змінного профілю, що є характерним для фрезерування й токарної обробки;

– *позиційне* – для отримання поверхонь з геометричними параметрами, що повторюються, наприклад отворів (це здебільшого операції свердління, різенарізування й розточування).

Використання ЧПК зумовило появу нової групи верстатів – багатоопераційних. Зарубіжні фірми скорочено позначають багатоопераційні верстати буквами *МС* (Machining Center).

Під *багатоопераційним верстатом* нині розуміють свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат, обладнаний інструментальним магазином і пристроями для автоматичної заміни інструментів, який дає можливість за КП здійснювати комплексне позиційне й контурне оброблення заготовки.

Багатоопераційні верстати виникли на базі як фрезерних верстатів, яким властива висока потужність приводу головного руху, так і свердлильно-розточувальних, які характеризуються високою точністю оброблення.

За технологічними можливостями всі моделі багатоопераційних верстатів з ЧПК можна поділити на дві групи:

1. Верстати, конструкція й компонування яких залежать від того, яка з технологічних операцій оброблення є більш важливою (найчастіше це фрезерування). До цієї групи належать верстати ФП-27С, ФП27-4С, ФП-17СМН, ФП-7СМН, МА-655А, МА-655В, МА-655СМ3ОА, ВФЗМ8 та ін.

2. Верстати, що мають однакові технологічні можливості щодо виконання широкого кола операцій оброблення. Характерною особливістю цих верстатів є те, що оброблення зазвичай здійснюється

осьовим інструментом (свердлом, зенкером, розверткою тощо). Фрезерні операції на цих верстатах проводяться при більш низьких режимах різання, ніж на верстатах першої групи. До цієї групи належать верстати АПРС-11, СМ400Ф4.5, СМ630Ф4.4, АГП630-800-1.3, АГПН630-800-1.3 та ін.

13.1. Компонування фрезерних верстатів з ЧПК

Під *компонованням* розуміють сукупність вузлів верстата, яка характеризує їхній тип, взаємне розташування, з'єднання й переміщення для забезпечення виконання заданого технологічного процесу (ТП) (рис. 13.1).

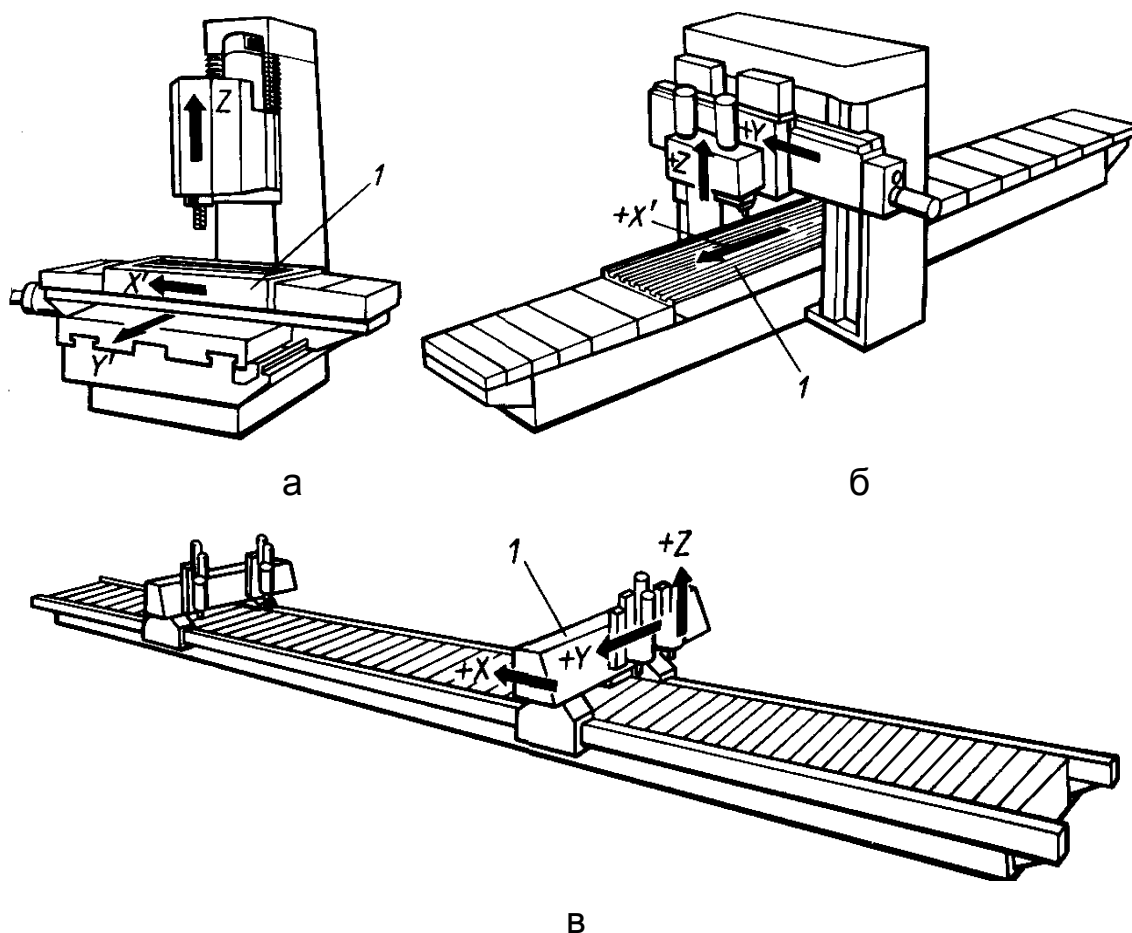


Рис. 13.1. Основні види компоновання фрезерних верстатів з ЧПК із різними ходами переміщення

Для виготовлення широкої номенклатури деталей аерокосмічного виробництва використовуються універсальні й спеціалізовані фрезерні верстати з ЧПК таких видів компоновання:

1. Із хрестоподібним столом 1, розміщеним у горизонтальній площині за координатами X' і Y' , і нерухомою колоною, що підтри-

мує шпindelьну головку, яка переміщується за координатою Z (див. рис. 13.1, а). Таке компонування є характерним для вертикально-фрезерних верстатів, наприклад моделі МА-655, з довжиною переміщення в поперечному напрямку Y до 600 мм і поздовжньому напрямку X до 2000 мм.

2. Портальне з рухомим столом 1, що переміщається за координатою X на відстань до 10000 мм (див. рис. 13.1, б). Одна або дві шпindelьні головки переміщуються за координатами Y і Z . Таке компонування мають верстати моделей ФП-9М, ВФ-3М8.

3. Портальне з рухомим порталом 1, який переміщується за поздовжньою координатою X , з довжиною ходу понад 10000 мм (див. рис. 13, в). Тут стіл верстата нерухомий, а шпindelьні головки переміщуються за координатою Z . Таке компонування є характерним для верстатів моделей ПФП-5, 2ФП-231, 2ФП-242В.

Під *спеціалізованими* верстатами з ЧПК розуміють верстати, параметри яких (довжина ходу, частота обертання шпindelя, компонування, кількість координат робочого переміщення) відрізняються від параметрів верстатів загального призначення [12].

Норми щодо точності й жорсткості, умови експлуатації, автоматизація керування, вимоги техніки безпеки – спільні для спеціалізованих та універсальних верстатів з ЧПК.

13.1.1. Вертикально-фрезерні верстати з ЧПК

В аерокосмічній промисловості найширше використовуються вертикально-фрезерні верстати з ЧПК моделей МА-655 і ФП-14.

Універсальний вертикально-фрезерний верстат МА-655 з хрестоподібним столом (див. рис. 13.1, а) має три координати переміщення інструменту: X – поздовжнє на 1000 мм; Y – поперечне на 500 мм; Z – вертикальне переміщення фрезерної головки на 640 мм. Частота обертання шпindelя – 20...2500 хв⁻¹. Швидкість руху робочих подач регулюється від 0 до 2400 мм/хв, швидкість допоміжного ходу становить 4800 мм/хв. Верстат моделі МА-655СМН оснащено пристроєм заміни інструменту з допомогою восьмипозиційної корони. Найбільш поширеними є такі модифікації верстата моделі МА-655: МА-655СМ3ОА – з магазином на 30 інструментів, МА-655С2 – двошпindelьний, МА-655С5Н – п'ятикоординатний.

Спеціалізований верстат ФП-14 призначено для п'ятикоординатного оброблення заготовок деталей з легких сплавів і високоміцних сталей з поверхнями одинарної та подвійної кривизни на зразок

кронштейнів, фітінгів, нервюр, каркасів ліхтарів і люків з теоретичним контуром. Компонування цього верстата аналогічне компонуванню фрезерного верстата з хрестоподібним столом (див. рис. 13.1, а). Два кутові повороти в поєднанні з трьома лінійними переміщеннями дають можливість установити вісь фрези за нормаллю до оброблюваної поверхні. Максимальний кут повороту фрези відносно робочої площини стола – $\pm 45^\circ$. На верстаті обробляють деталі розміром до 900x630x400 мм з точністю $\pm 0,03$ мм при частоті обертання шпинделя до 3000 хв⁻¹ і швидкостях лінійних подач 2...2000 мм/хв і кутових подач до 120° за хвилину.

13.1.2. Портально-фрезерні верстати з ЧПК

Портально-фрезерні верстати з ЧПК завдяки жорсткості конструкції забезпечують оброблення великогабаритних об'ємних заготовок з алюмінієвих сплавів і високоміцних сталей, які мають багато різних за контуром і глибиною колодязів, вікон і виїмок. Програмне оброблення таких заготовок виконують на спеціалізованих верстатах з *нерухомими порталами* моделей ФП-2М і ВФ-3М8.

Верстат *ФП-9М* – один із спеціалізованих верстатів першого покоління, що використовується на підприємствах галузі. Його модифікація – верстат ПФ-9У зі зниженою частотою обертання шпинделя для оброблення заготовок із високоміцних сталей і титанових сплавів.

Верстат *ВФ-3М8* належить до поздовжньо-фрезерних верстатів сучасного покоління. На відміну від ФП-9М має нерухому за висотою траверсу, пристрій для автоматичної заміни інструменту з допомогою корони на вісім позицій, шнековий конвеєр для відведення стружки, ширший стіл. Разом із фрезеруванням фасонних поверхонь на цьому верстаті можна виконувати свердління, зенкерування, розгортання й розточування отворів. На базі верстата ВФ-3М8 створено модифікації – двошпindelний ВФ-32 (див. рис. 13.1, б) для оброблення одночасно двох заготовок з габаритними розмірами 4000x1100x650 мм, тришпindelний ВФ-33 для оброблення трьох заготовок з габаритними розмірами 4000x650x650 мм, верстат ВФ-3М8Д з подовженим до 6000 мм столом.

Довгомірні деталі, наприклад пресовані панелі стрингерів і лонжеронів, обробляють на спеціалізованих фрезерних верстатах з *рухомими порталами* моделей ПФП-5, 2ФП-231 і 2ФП-242В.

Верстат *ПФП-5* – базовий верстат для трикоординатного оброблення двома порталами одночасно (див. рис. 13.1, в). На ньому обро-

бляють або одну заготовку розмірами до 20000x1400 мм при переміщенні одного порталу, або дві заготовки з розмірами кожної з них до 10000x1400 мм при одночасному переміщенні двох порталів. На кожному порталі встановлено дві фрезерні головки: одну – з частотою обертання шпинделя 1500 хв^{-1} , другу – двошвидкісну з частотою обертання шпинделя 1500 або 3000 хв^{-1} .

Верстат *2ФП-231* – двопортальний верстат (див. рис. 13.1, в) підвищеного технічного рівня для трикоординатного високопродуктивного оброблення заготовок з алюмінієвих сплавів, що мають габаритні розміри до 30000x1800 мм. На ньому можна здійснювати комплексне фрезерно-свердлильне оброблення заготовок деталей із зовнішніми й внутрішніми фасонними поверхнями, карманами, заглибинами, підсічками. Верстат має нерухому секційну станину, на якій у Т-подібних пазах закріплено блоки вакуумного стола для фіксування заготовок. Над столом переміщаються два портали поздовжньої подачі (вісь *X*), кожний з яких має поперечну каретку (вісь *Y*), що підтримує фрезерну головку (вісь *Z*). До порталу прикріплено інструментальний магазин на 16 позицій з пристроєм автоматичної заміни інструментів. На основі базового верстата *2ФП-231* створено модель *2ФП-131* зі зменшеною до 1400 мм шириною стола.

Верстат *2ФП-242В* – чотирикоординатний верстат для оброблення заготовок деталей на зразок панелей, лонжеронів зі змінними шкалами. На кожному з двох порталів встановлено по дві однакові фрезерні головки з силовими приводами за лінійними *X*, *Z* і кутовою *A* координатами. На верстаті можна обробляти одну заготовку з габаритними розмірами до 25000x2500 мм при роботі одного порталу, чотири однакові заготовки з розмірами кожної з них до 12000x1150 мм або чотири заготовки дзеркального відображення – дві праві й дві ліві.

Характерним вузлом зазначених фрезерних верстатів з рухомими порталами є пристрій коригування шаблеподібності. Цей пристрій необхідний для того, щоб відстежувати в процесі оброблення дійсне положення ніжок стрингерів і вносити відповідні корективи до КП оброблення.

13.1.3. Розкрійно-фрезерні верстати з ЧПК

Розкрійно-фрезерні верстати призначені для розкроювання шляхом фрезерування кінцевою фрезою листових заготовок у пакеті завтовшки до 15 мм із будь-яким криволінійним зовнішнім або внутрішнім контуром, а також для свердління отворів діаметром до 8 мм.

Базовою моделлю спеціалізованих розкрійно-фрезерних верстатів з ЧПК є *РФП-1* з двома рухомими порталами однакової конструкції (див. рис. 13.1, в). На базі цієї моделі створено однопортальний верстат *РФП-2* з укороченою станиною.

На верстаті *РФП-1* під час переміщення одного порталу здійснюється розкроювання заготовки завдовжки до 11000 мм і завширшки до 2000 мм, а під час переміщення двох порталів одночасно – розкроювання двох заготовок, кожна з яких – завдовжки до 5500 мм і завширшки до 2000 мм.

Аналогічні операції виконують на верстаті *РФП-2*, якщо довжина заготовки становить до 5500 мм, а ширина – до 2000 мм. Оброблення здійснюється кінцевими фрезами діаметром 8...12 мм з відхиленням від заданого контуру до 0,25 мм.

Спеціалізований фрезерний верстат с ЧПК моделі *РФП-6* створено на базі розкрійно-фрезерних верстатів, він призначений для оброблення торців стільникових заповнювачів просторової форми поздовжніми й поперечними рядками, а також для фрезерування підсічок на торцях стільникового заповнювача грибковими фрезами.

Компонування верстата дає можливість обробляти одночасно за п'ятьма координатами: *X* – поздовжнє переміщення порталу; *Y* – поперечне переміщення каретки відносно порталу; *Z* – вертикальне переміщення каретки відносно порталу; *B* – обертання каретки навколо поперечної осі з кутом $\pm 32^\circ$; *A* – поворот каретки з фрезерною головкою відносно поздовжньої осі на кут $\pm 135^\circ$.

Габаритні розміри заготовок, мм: довжина – 6300; ширина – 1500; висота – 350. Швидкість робочих подач за лінійними координатами може змінюватися безступінчасто і становить до 3300 мм/хв, подача допоміжного ходу становить 4800 мм/хв. Двошвидкісна фрезерна головка має потужність 6 або 3 кВт при частоті обертання, відповідно, 18000 або 9000 хв⁻¹.

Верстат оснащено пристроєм ЧПК моделі Н55-2, керування здійснюється за всіма п'ятьма координатами одночасно через тиристорні перетворювачі й електродвигуни постійного струму.

Пристрій ЧПК моделі Н55-2 забезпечує автоматичну заміну інструменту, коригування еквідистанти траєкторії, перемикання частоти обертання шпинделя, зокрема правого й лівого обертання інструменту, автоматичний вихід у нульову точку верстата за всіма координатами.

13.1.4. Особливості застосування кінцевих фрез

Найпоширенішим інструментом для оброблення широкої номенклатури деталей середніх габаритів на фрезерних верстатах (зокрема, з ЧПК) є стандартні кінцеві фрези з швидкорізальних сталей діаметром 14...30 мм, які централізовано виготовляють інструментальні заводи.

Проте конструкція стандартних кінцевих фрез (рис. 13.2) має низку недоліків, що зумовлюють погане виведення стружки, недостатню жорсткість фрези до вигину та ін.

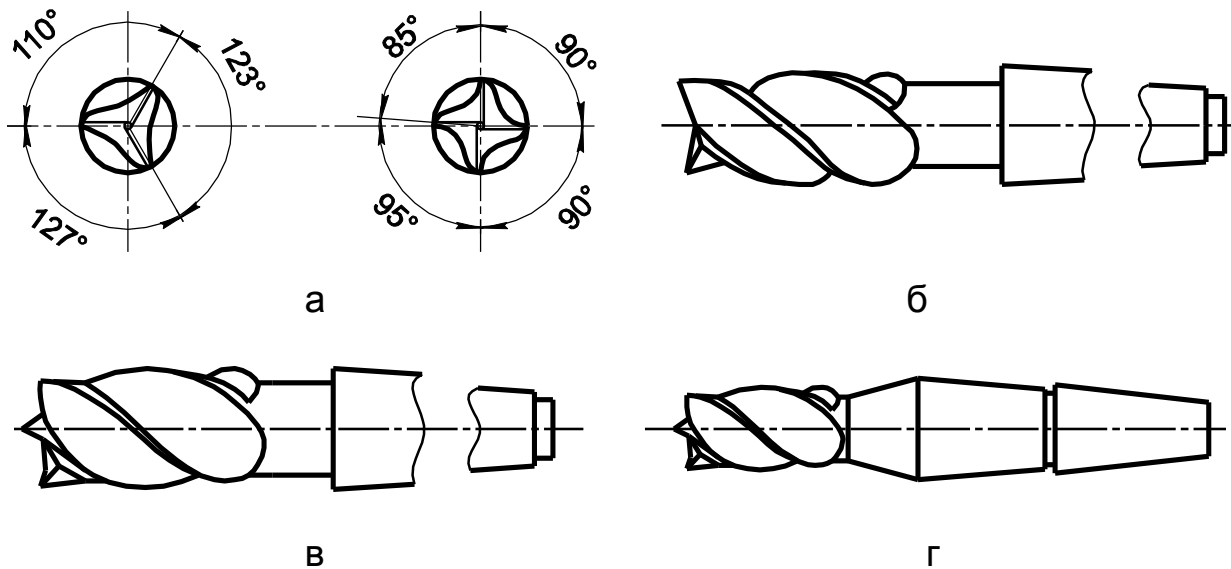


Рис. 13.2. Модифікації стандартних кінцевих фрез

На підприємствах галузі конструкції стандартних фрез удосконалюють за рахунок таких операцій:

- збільшення виходу стружки шляхом змінення кута нахилу гвинтової канавки від 40 до 55°, розширення гвинтової канавки й додаткове полірування її внутрішньої поверхні;
- зменшення радіального биття зубів з 0,2 до 0,05 мм;
- застосування праворізальних фрез з лівою спіраллю й ліворізальних з правою спіраллю, завдяки чому осьовою складовою зусилля різання заготовка притискається до стола верстата;
- зменшення вібрацій інструменту завдяки несиметричному розташуванню зубів фрези (див. рис. 13.2, а);
- заточування перемички на торці фрези, що дає можливість здійснити вертикальне врізування в метал (див. рис. 13.2, б);
- підвищення жорсткості різальної частини інструменту шляхом використання нарізної канавки змінної глибини (див. рис. 13.2, в);

– збільшення вилітання інструменту за рахунок використання підсилювального конуса (див. рис. 13.2, г).

Для оброблення малкованих стінок на каркасних деталях використовують також фасонні фрези (рис. 13.3), форма твірної яких відповідає конфігурації оброблюваної поверхні.

З допомогою фрез, які зображено на рис. 13.3, а, б, можна здійснювати рядкове оброблення вгнутих поверхонь. Фасонна фреза, яку зображено на рис. 13.3, в, призначена для оброблення поверхонь зі змінною малкою й опуклих поверхонь.

Під час об'ємного трикоординатного фрезерування переміщенням інструменту безперервно керують за трьома координатами одночасно.

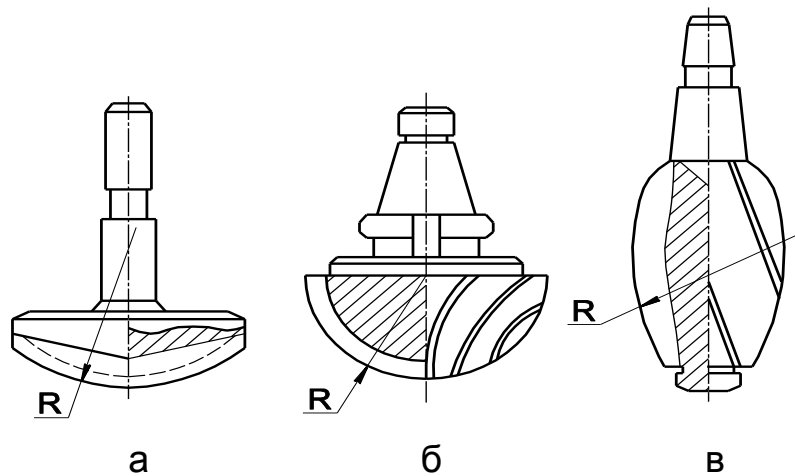


Рис. 13.3. Деякі типи фасонних кінцевих фрез

На рис. 13.4 показано схеми трикоординатного об'ємного фрезерування кінцевою фрезою вздовж і поперек похилої ділянки поверхні з незмінним кутом нахилу.

Відповідно до взятої схеми траєкторії (зигзаг або спіраль) розраховують крок рядка A інструменту під час виконання двох сусідніх робочих ходів траєкторії. Величина кроку залежить від допуску на висоту гребінців оребрення Δ_{op} , що залишаються на оброблюваній поверхні між сусідніми робочими ходами.

Крок рядків фрезерування вздовж похилої ділянки площини (див. рис. 13.4, а) розраховують за формулою

$$A = \frac{2\Delta_{op}}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{d_r \sin \alpha}{\Delta_{op}} - 1}, \quad (13.1)$$

де d_r – діаметр траєкторії тієї точки різальної кромки фрези, яка безпосередньо утворює форму обробленої поверхні: $d_r = d$ для фрез

без скруглення торця, $d_r = d - 2r(1 - \sin \alpha)$ для фрез із радіусом скруглення торця $0 < r < R$, $d_r = d \sin \alpha$ для фрез зі сферичним торцем; $r = R - d = 2R$ – діаметр фрези; α – кут нахилу ділянки.

Крок рядків фрезерування поперек похилої ділянки площини (рис. 13.4, б) для фрез з радіусом скруглення торця $0 < r < R$ або $r = R$ розраховують за формулою

$$A = 2 \cos \alpha \sqrt{2r\Delta_{op} - \Delta_{op}^2} . \quad (13.2)$$

Зазвичай під час трикоординатного об'ємного оброблення різальна кромка фрези переміщається по поверхні зі змінним радіусом кривизни ρ .

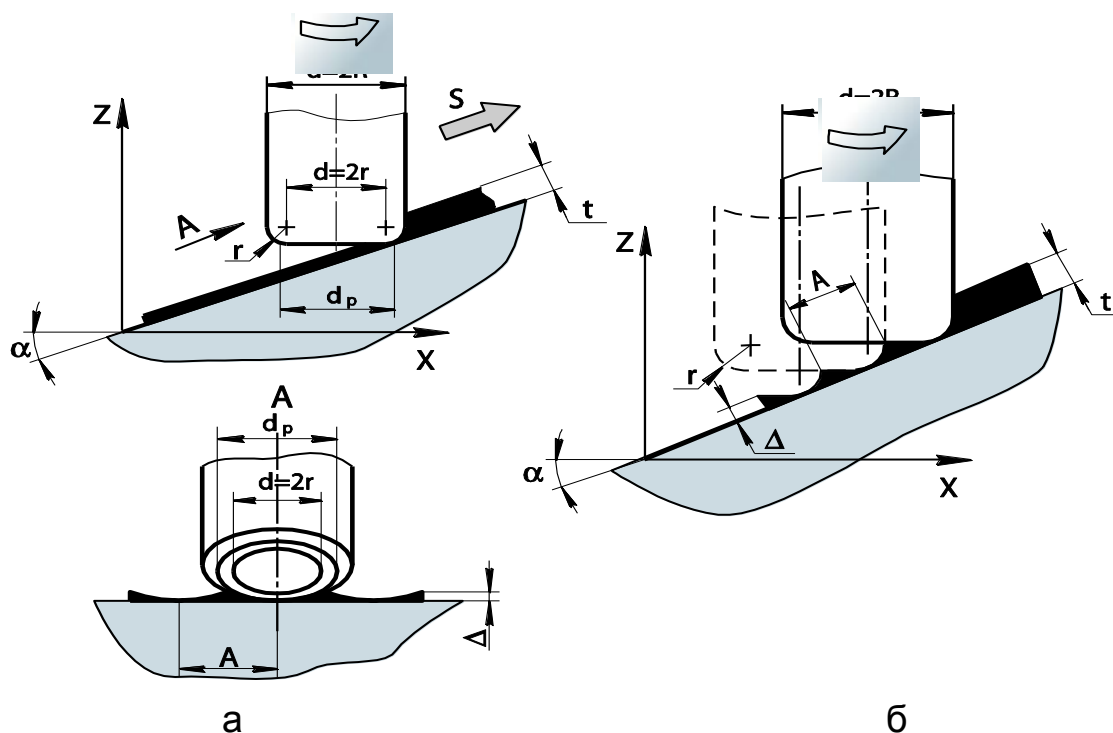


Рис. 13.4. Схеми трикоординатного фрезерування вздовж (а) і поперек (б) похилої ділянки поверхні

Тоді крок рядка A інструменту під час виконання двох сусідніх робочих ходів траєкторії визначають, задаючись допуском на оребріння:

$$A = \sqrt{\frac{8\Delta_{op}}{1/R - 1/\rho}} . \quad (13.3)$$

У виробничій практиці зазвичай беруть такі співвідношення точності обробки й геометричних параметрів поверхні й кінцевої фрези:

$$\Delta_{op} \approx 0,01R \text{ і } \Delta_{op} < (0,01..0,001)\rho .$$

13.1.5. Особливості процесів оброблення на багатоцільових верстатах

У виробництві часто виникають ситуації, коли необхідно виготовляти складні корпусні деталі, які потребують оброблення в шістьох напрямках, а інколи в десяти й більше (якщо деталі мають похилі площини). Кожна зі сторін складного корпусу має виступи, кармани, пази, напрямні, ребра та інші конструктивні елементи, тобто кожна сторона корпусу – це поверхня з кількома глибинними рівнями й складним контуром. Крім того, корпусні деталі мають певну кількість основних і кріпильних отворів (гладких, східчастих, конічних і нарізних), різних за розмірами, глибиною й точністю.

Багатоцільові верстати (БВ) дозволяють поєднати операції фрезерування прямолінійних і криволінійних поверхонь, центрування, свердління, розсвердлення, зенкерування, розгортання, цекування, розточування, розвальцьовування й накатування отворів, нарізування різі (мітчиками, плашками, різцевими головками, різцями), кругове фрезерування зовнішніх і внутрішніх циліндричних, конічних і фасонних поверхонь і кругових пазів кінцевими й дисковими фрезами.

Для досягнення високої ефективності БВ усю обробку заготовок прагнуть виконувати на одному верстаті за один-два установа. Але доводиться зважати на небезпеку деформування форми деталі внаслідок перерозподілу залишкових напружень у початковій заготовці. У цих випадках технологічний процес поділяють на операції чорнової (обдирної) і подальшої обробки. Чорнове оброблення виконують на потужних, особливо жорстких верстатах (із ЧПК або універсальних), а потім піддають їх термообробленню для зняття внутрішніх напружень. Подальше механічне оброблення виконується на багатоопераційному верстаті.

Площини фрезерують торцевими й кінцевими фрезами із твердосплавними багатогранними непереточуваними пластинами (БНП). Зазвичай це роблять за два переходи: перший перехід – чорнове фрезерування – при великих припусках доцільно виконувати послідовними проходами торцевих фрез уздовж оброблюваної поверхні. Ширину поверхні, що оброблюється за один робочий хід інструменту, а отже, і діаметр фрези вибирають такими, щоб віджимання інструменту не впливало на точність чистового переходу. Якщо припуск великий і нерівномірний, то діаметр фрези доводиться зменшувати. Для другого, чистового, переходу використовують фрезу, діаметр якої дозволяє охопити всю зону обробки.

Для одержання особливо дрібної шорсткості поверхні при малих припусках застосовують торцеві фрези із пластинами з ельбору й мінералокераміки.

Кінцевими фрезами відкриті площини обробляють рідше, головним чином, тоді, коли ту саму фрезу використовують для фрезерування інших поверхонь (уступів, пазів), щоб зменшити номенклатуру застосовуваних інструментів.

Пази, вікна й уступи зазвичай обробляють кінцевими фрезами, які оснащено твердосплавними пластинами.

Щоб підвищити точність обробки по ширині паза й зменшити номенклатуру інструментів, діаметр фрези беруть трохи меншим за розмір паза. Оброблення виконують послідовно: спочатку фрезерують середню частину паза, потім обидві сторони, використовуючи можливість одержання високої точності паза по ширині шляхом введення корекції радіуса фрези. Наприкінці циклу корекцію скасовують.

Для підвищення стійкості інструменту, поліпшення умов відведення стружки під час оброблення глухих пазів застосовують кінцеві фрези зі збільшеним кутом нахилу спіралі й полірованих канавок. Для полегшення врізання з осьовою подачею використовують фрезу з торцевими зубами особливого заточення. Підвищену твердість має фреза з посиленою серцевиною конічної форми й канавками змінної глибини. При збільшених вильотах фрези, що обумовлені конфігурацією заготовки, застосовують фрези з підсилювальним конусом. Віб-рації можна зменшити, якщо застосовувати різношагові фрези – фрези з трьома або чотирма зубами, відстані між якими неоднакові.

Кругове фрезерування – нова операція, що стала можливою з появою фрезерних і багатоцільових верстатів з ЧПК. Отвори в корпусних деталях завжди обробляли розточуванням. На верстаті з ЧПК вони можуть бути оброблені фрезеруванням, якщо для фрези задати кругову подачу.

Як показує аналіз даних побудов ТП фрезерних операцій, у сучасних умовах круговому фрезеруванню віддають перевагу завжди, коли застосування цього процесу можливе. Обмеженнями є лише глибина отвору (яка обумовлена довжиною звичайних кінцевих фрез і становить 60...80 мм), його діаметр і точність обробки. Слід зазначити, що особливо успішно використовують кругове фрезерування для попередньої обробки отворів у литих заготовках (для зняття чорнового припуску).

Обробка отворів – найпоширеніший вид технологічних переходів

на БВ. Серед них – свердління й нарізування різі в кріпильних отворах під болти, гвинти та шпильки; свердління, зенкерування, розгортання, розточування точних посадкових отворів – гладких й східчастих; обробка отворів у литих деталях.

Співвісні отвори в протилежних стінках корпусних деталей обробляють на БВ консольно закріпленими інструментами послідовно з поворотом заготовки разом зі столом верстата на 180° . Співвісність отворів залежить від точності ділильного стола. Похибка розподілу не повинна перевищувати половини поля допуску на відхилення взаємного розташування отворів згідно з кресленням деталі. Для збільшення твердості шпиндельного вузла отвори розточують з постійним вильотом шпинделя шляхом переміщення стола або стояка верстата.

Якщо вимоги до точності обробки отворів *осьовим інструментом* невисокі, то операції виконують у такій послідовності: спочатку обробляють усі отвори одним інструментом, потім іншим (за умови, що заміна інструменту на даному верстаті потребує більше часу, ніж позиціонування стола). Якщо вимоги до точності діаметрів і форми отворів є високими, то кожний отвір обробляють окремо, замінюючи інструмент для кожного отвору, а шпиндель здійснює переміщення тільки по осі Z. У протилежному випадку похибка обробки буде збільшуватися за рахунок похибки позиціонування.

Для скорочення часу свердління *спіральними свердлами* й підвищення стійкості інструментів використовують швидке автоматичне змінення режиму різання. Після прискореного підведення свердла до заготовки включають робочу подачу, а коли більша частина отвору буде просвердлена, подачу зменшують, щоб уникнути поломки інструменту через стрибкоподібне змінення навантаження під час виходу свердла з отвору. Якщо на вході в отвір або на виході з нього є ливарна кірка, то в програмі має бути передбачене зменшення частоти обертання шпинделя на цих ділянках.

У зв'язку з тим, що на БВ під час свердління кондуктор, як правило, не використовується, широко застосовують засвердлення отворів короткими твердими свердлами – своєрідну розмітку розташування майбутніх отворів. За наявності ливарної кірки ця операція дає можливість вирішити й інші завдання: полегшити врізання, підвищити стійкість свердел з невеликими діаметрами й разом з цим зняти фаску на вході в отвір, якщо її передбачено на кресленні. Засвердлення доцільно застосовувати для оброблення отворів діаметром до 8...15 мм у деталях із чорних металів.

Для оброблення *отворів у корпусних заготовках* досить ефективним є використання інструментів, що призначалися раніше тільки для свердління глибоких отворів, наприклад двокромкових свердел з механічно закріпленими тригранними твердосплавними пластинами. Застосування таких свердел разом із розподілом припуску по ширині зрізу й внутрішнім підведенням МОЖ дає можливість у три–п'ять разів підвищити ефективність різання порівняно зі звичайними спіральними свердлами.

Велика кількість оброблюваних поверхонь, наявність чорнових, напівчистових і чистових проходів під час оброблення кожної поверхні, значна кількість інструментів у магазині ускладнюють вибір плану обробки деталі на БВ. Необхідно вибрати такий варіант, що буде найбільш ефективним. Можливостей для цього досить багато: можна, наприклад, спочатку повністю обробити деталь з одного боку, потім розгорнути її; можна спочатку обробити деталь із усіх боків начорно, потім розпочати чистове оброблення; можна спочатку обробити всі площини, потім розпочати оброблення отворів. Для деталей зі співвісними отворами доцільно застосовувати послідовне оброблення із двох протилежних боків і т.д.

На прийняття конкретного рішення впливає багато різноманітних факторів. Існує кілька загальних принципів, якими варто керуватися при цьому: чим вищою є точність елемента конструкції, тим пізніше варто передбачати його обробку; спочатку слід планувати чорнову обробку, а потім чистову; чим менше час спрацьовування виконавчого органа (заміна інструменту, поворот стола та ін.), тим частіше цей орган має функціонувати. Найвищої точності досягають, якщо деталь обробляється з одного установу. Для деталей із великими припусками необхідно передбачити розвантажувальні операції, частину яких доцільно виконувати на універсальному або спеціалізованому устаткуванні.

Вибираючи план обробки деталей на багатоцільових верстатах, насамперед доцільно використовувати типові схеми, які наведено у відповідних нормативних документах [20, 21]. Зазвичай у цих документах рекомендується вибрати послідовність переходів операцій залежно від типу деталі й заготовки, виду оброблюваних поверхонь та точності їхньої обробки тощо.

Приклад. Зміст і послідовність переходів під час оброблення деталі типу «корпус» на багатоцільовому верстаті (рис. 13.5):

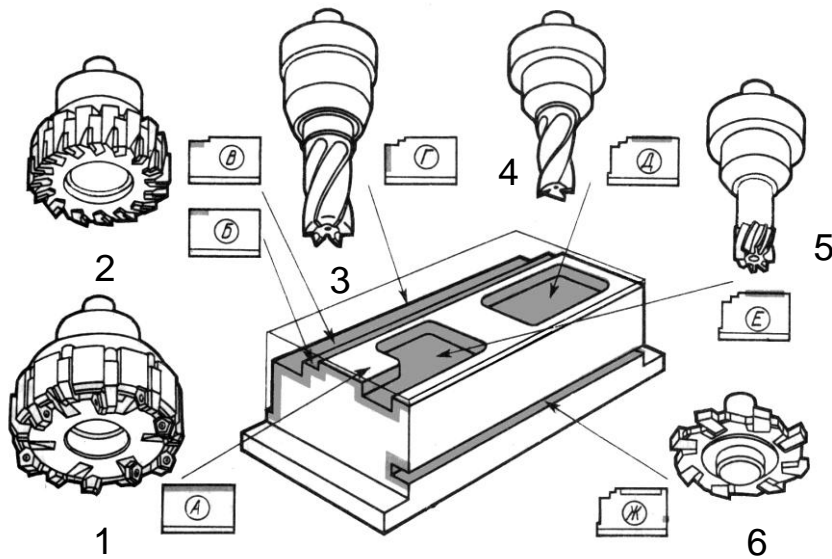


Рис. 13.5. Схема оброблення деталі типу «корпус»: 1 – фреза торцева; 2 – фреза торцева зі вставними ножами з прямим кутом; 3 – фреза кінцева швидкорізальна; 4 – фреза кінцева швидкорізальна із торцевими зубами; 5 – фреза кінцева швидкорізальна; 6 – фреза кінцева пазова із твердосплавними вставними ножами

- 1) фрезерування верхньої площини (зона А), фреза торцева;
- 2) фрезерування верхнього уступу (зона Б), фреза торцева зі вставними ножами з прямим кутом;
- 3) фрезерування нижнього уступу (зона В), фреза торцева зі вставними ножами з прямим кутом;
- 4) фрезерування бічної поверхні (зона Г), фреза кінцева швидкокорізальна;
- 5) фрезерування вікна (зона Д), фреза кінцева швидкокорізальна із торцевими зубами;
- 6) фрезерування контурної виїмки (зона Е), фреза кінцева швидкокорізальна;
- 7) фрезерування поздовжнього паза (зона Ж), фреза кінцева пазова із твердосплавними вставними ножами.

13.2. Виготовлення характерних деталей планера ЛА на трикоординатних фрезерних верстатах

13.2.1. Оброблення пресованих стрингерних панелей

До великої групи деталей силового набору планера сучасних літаків належать пресовані стрингерні панелі. Наприклад, у конструкції

широкофюзеляжного літака Іл-86 на монолітні панелі припадає близько 500 м^2 зовнішньої поверхні крила і 200 м^2 поверхні фюзеляжу [3].

Пресовані стрингерні панелі виготовляють найчастіше з алюмінієвих сплавів В95-Т і Д16-Т (рис. 13.6).

Кінцевими фрезами в стрингерній панелі обробляють такі поверхні: бічні стінки 1 за довжиною, торці 4, полиці 3, фестони 2 на полицях стрингерів, закруглення полиць 5, вирізи й зрізи 7, міжстрингерні заглибини 6 на полотні й площині поздовжніх стиків. Фестони стрингерів і міжстрингерні заглибини обробляють урівень із ребрами стрингерів, не зачіпаючи самих ребер.

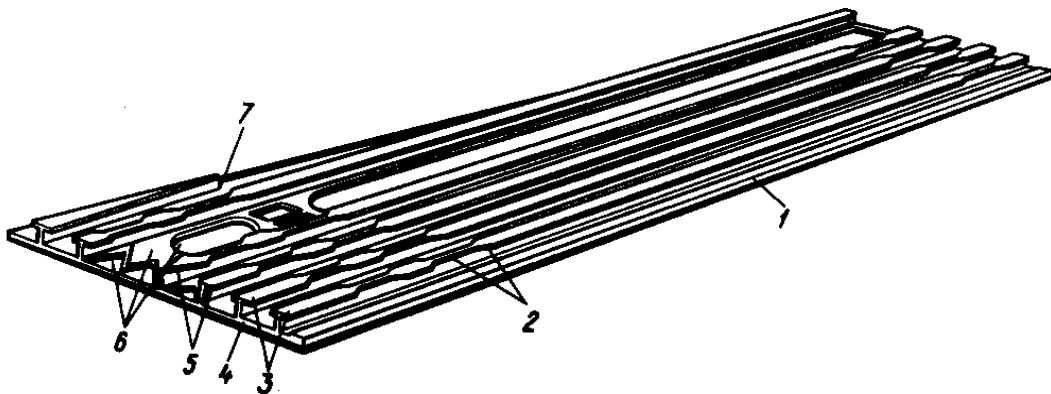


Рис. 13.6. Типова конструкція панелі стрингера

Товщина полотна стрингерних панелей коливається від 2,5 мм у зоні заглибин між стрингерами до 8 мм у зонах привалкових площин. Нижні панелі консольної частини крила мають монтажні отвори з криволінійним контуром.

Після чорнової обробки поздовжніх ребер і міжреберних заглибин обробляють монтажні люки й привалкові площини, а потім здійснюють остаточне оброблення ребер.

Остаточне оброблення ребер стрингерів здійснюють на менших робочих подачах, щоб виключити взаємне відтискання ребра й інструменту й досягти високої точності виготовлення.

Вікна й отвори панелі обробляють у два етапи: спочатку вирізають отвір, який обробляють по контуру з боку стрингерів (внутрішній контур), а потім виконують операцію окантовки під ущільнення з боку зовнішнього теоретичного контуру.

Для базування й закріплення заготовки на столі верстата передбачено спеціальні ложементи, які дають можливість з високою точністю встановити деталь у системі координат верстата.

З метою підвищення продуктивності такі заготовки через їхню

велику довжину обробляють одночасно двома порталами, за винятком деяких операцій, коли вимоги до якості обробки поверхні диктують необхідність безперервного оброблення одним інструментом.

Деталь розбивають на чотири секції, з яких першу й третю обробляють одночасно першим і другим порталами відповідно. Друга секція, довжина якої має бути не меншою за 4500 мм, запобігає зіткненню порталів, і її обробляють одночасно з четвертою секцією.

13.2.2. Виготовлення рейок механізації крила

Рейки механізації крила – це великогабаритні високонавантажені деталі, які виготовляються зі сталевих і титанових поковок і штамповок.

Конструктивними особливостями цих деталей є реборди-полози, утворені дугами кіл, а також фігурні колодязі й глухі пази (рис. 13.7).

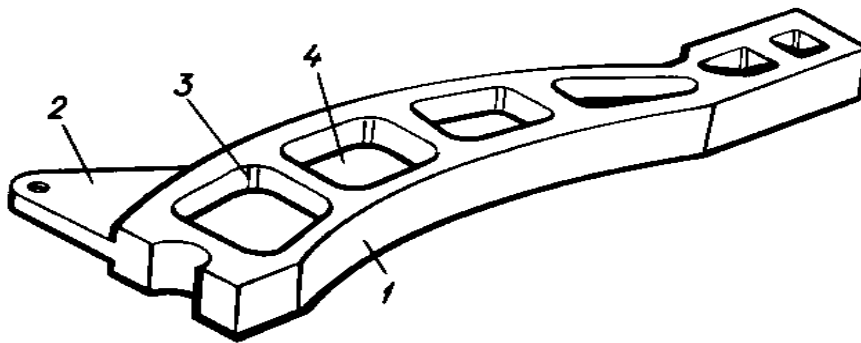


Рис. 13.7. Типова конструкція рейки механізації крила:

1 – зовнішній контур; 2 – площина вушка;

3 – внутрішні контури колодязів; 4 – дно колодязів

Деталі на зразок рейок обробляють на верстатах моделей МА-655, ФП-7М, ФП-17 і ФП-27 кінцевими й кутовими фрезами з робочою частиною зі швидкорізальних сталей або твердого сплаву ВК8.

Типова послідовність оброблення рейок:

- фрезерування зовнішнього контуру з двох боків;
- спіральне фрезерування під захід фрези в колодязях;
- фрезерування масиву матеріалу заготовки між ребордами;
- фрезерування колодязів на зовнішньому боці та в хвостовій частині реборди;
- чорнове й чистове оброблення колодязів під захід кутових фрез з підбиранням радіусів у кутах;
- попереднє й остаточне фрезерування внутрішніх і зовнішніх пазів, ребер і скосів;

– оброблення отворів свердлінням, зенкеруванням, зенкуванням, розгортанням.

Заготовку рейки базують у пристроях блокового типу з фіксуванням по двох отворах. Якщо заготовкою рейки є поковка, то спочатку її обробляють на верстаті з ЧПК по контуру з двох боків.

Після термічного оброблення технологічний припуск по ребордах знімають на токарно-карусельному верстаті моделі 1550 з остаточним доведенням шліфувальними головками або шляхом оброблення на спеціалізованому шліфувальному верстаті моделі СШР.

13.2.3. Оброблення великогабаритних деталей силового каркаса

Виготовлення великогабаритних деталей силового каркаса планера ЛА, насамперед силових шпангоутів фюзеляжу (рис. 13.8), з монолітних заготовок на верстатах з ЧПК є складним і трудомістким процесом.

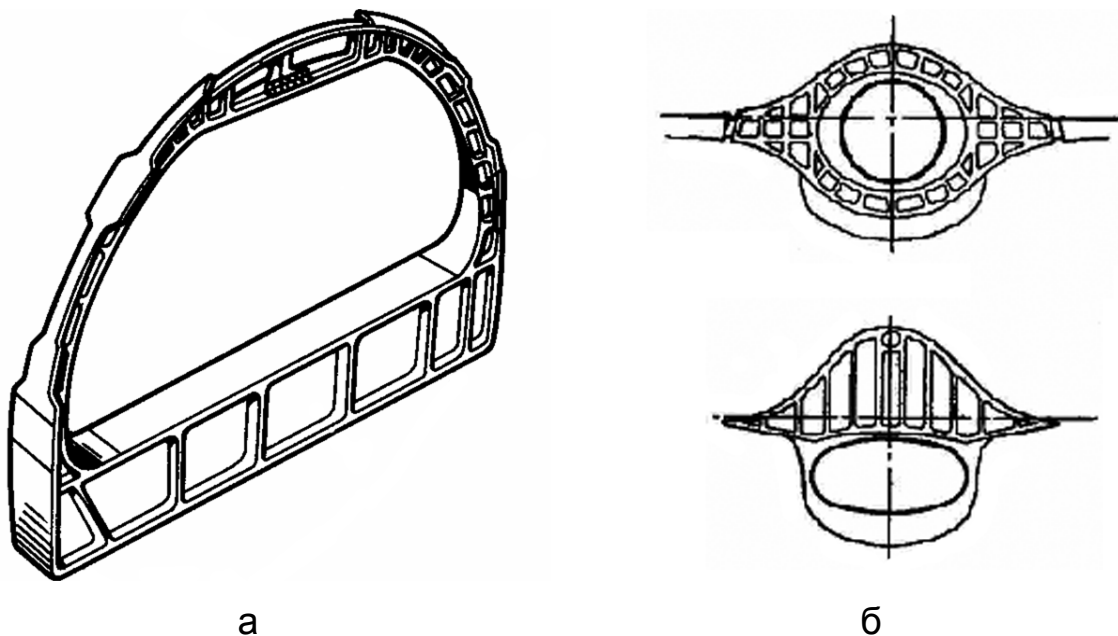


Рис. 13.8. Типова конфігурація силових шпангоутів:
а – транспортного літака; б – винищувача

Розробляючи маршрутні й операційні технології оброблення цих деталей, слід враховувати пластичні деформації (поводки) заготовки, що виникають унаслідок перерозподілу внутрішнього напруження в процесі знімання з неї металу.

Під час фрезерування штампованих або кованих заготовок середніх розмірів ці деформації, як правило, є досить малими й не впливають на точність форми заготовки. Водночас величина пластич-

них деформацій великих заготовок може становити 10 мм.

Дійовим методом скорочення поводок і забезпечення заданої точності параметрів обробки деталей є розробка такого ТП, коли матеріал заготовки знімають пошарово, чергуючи ці шари відносно нейтральної за напруженням площини деталі.

Типова послідовність оброблення силових шпангоутів:

– попереднє оброблення зовнішнього контуру з припуском до 5 мм при базуванні за заздалегідь підготовленими отворами;

– попереднє оброблення за висотою ребер жорсткості, стовщень полотна й бобишок, торців поясів;

– попереднє оброблення колодязів і карманів з припусками до 3 мм по полотну й до 5 мм по контуру, причому оброблення здійснюють від центра кожного типового елемента до його периферії;

– переустановлення заготовки й повторення всіх попередніх операцій на протилежному боці заготовки;

– чистове оброблення зовнішніх контурів і конструктивних елементів у такій самій послідовності.

Як правило, витримавши рекомендовану послідовність фрезерування й усі технологічні умови, можна отримати необхідну геометрію деталі після попереднього оброблення. Щоб забезпечити жорсткість конструктивних елементів заготовки, у процесі оброблення до пристрою вводять додаткову кількість затискних елементів. Передбачено технологічні паузи для переустановлення затискних елементів з однієї зони в іншу.

13.2.4. Оброблення петльових шомпольних з'єднань

У конструкції планера ЛА широко використовуються петльові шомпольні з'єднання, що є силовими елементами. Виготовлення їх пов'язане з певними утрудненнями й потребує ретельної підготовки виробництва.

На рис. 13.9 показано типові конструкції петель відхилюваних носків крила надзвукового винищувача. З'єднання петель між собою шомпольне: по отвору – із зазором 0,5 мм, по торцях – зі з'єднанням по посадці $H11/d11$. Матеріал петель – титановий сплав марки ВТ5. Напівфабрикатом для виготовлення петель є точний пресований профіль постійного перерізу з від'ємною (див. рис. 13.9, а) або нульовою (див. рис. 13.9, б) малкою.

Основними операціями у процесі механічного оброблення петель є фрезерування ділянок по кроку (див. рис 10.8, в) і розсвердлю-

вання шомпольного отвору діаметром 5 мм до діаметра $6,5^{+0,2}$ мм.

Фрезерування ділянок здійснюється на фрезерному верстаті з ЧПК моделі ФП-17М в уніфікованому гідравлічному пристрої спеціальною фрезою, що складається з трьох секцій.

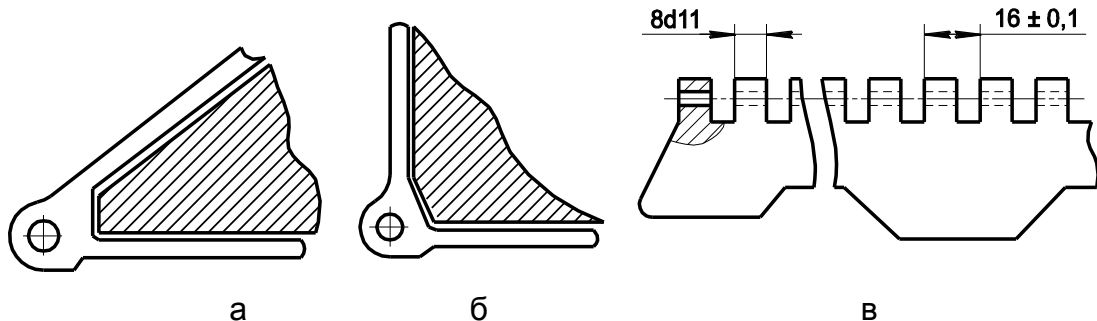


Рис. 13.9. Типові конструкції петлі носка крила, що відхиляється

Режим різання в процесі фрезерування ділянок: швидкість – 25 м/хв; хвилинна подача – 15 мм/хв. Розсвердлювання отвору з виправленням прямолінійності його осі здійснюють на спеціальному горизонтально-свердильному верстаті, застосовуючи кондуктор, свердлами зі швидкорізальної сталі марки Р9К10. Режим різання під час розсвердлювання: швидкість – 10 м/хв; хвилинна подача – 0,1 мм/хв.

13.3. Виготовлення характерних деталей планера ЛА на п'ятикоординатних фрезерних верстатах

13.3.1. Особливості багатокординатного фрезерування

Кількість деталей, вузлів та елементів оснащення, які мають поверхні, що частково виходять на зовнішні аеродинамічні обводи, зі змінною малкою, значною кривизною й великим діапазоном закручення вектора нормалі, перевищує 60 % від загальної кількості деталей, що виготовляються з видаленням припуску [1, 11, 21].

За розширеною класифікацією розрізняють такі характерні об'єкти багатокординатного фрезерування:

- деталі силового каркаса фюзеляжу, обмежені поверхнями подвійної кривизни (окантовки люків, дверей, рамки ліхтарів пілота й штурмана);
- елементи силового набору крила зі змінною малкою (стиківі фітинги, нервюри, каретки);
- елементи механізації крила, обмежені лінійчатими поверхнями (деталі передкрилків, закрилків, дефлекторів);
- елементи об'ємного обводотвірного оснащення (макети поверхонь, болванки, обтяжні пуансони, виклеювальні пристрої, малковані рубильники, формблоки).

Деталі двох перших груп виготовляють з монолітних штампованих заготовок різних розмірів. Елементи механізації крила є конструкціями, що складаються з каркаса й стільникового заповнювача, які закрито тонкою листовою обшивкою.

Раніше попереднє програмне оброблення таких заготовок виконували на трикоординатних фрезерних верстатах за декілька встановлень з подальшим дообробленням ручним інструментом.

Спроби розширити технологічні можливості трикоординатних верстатів з ЧПК шляхом установаження поворотних пристроїв, використання бочкоподібних фрез і фрез зі змінною геометрією дали позитивні результати лише для деталей з постійною малкою або з малкою, що змінюється в невеликих межах.

Методику програмування багатокоординатного оброблення реалізовано на спеціалізованих фрезерних верстатах з ЧПК моделей ФП-11, ФП-14, МА-655С5Н різних модифікацій.

Основне призначення типових ТП виготовлення деталей на багатокоординатних верстатах – практично повністю виключити трудомісткі ручні підганяльні роботи, підвищити продуктивність оброблення, точність і взаємозамінність деталей в агрегатах.

Для багатокоординатного оброблення необхідно розрахувати квазіеквідистантну траєкторію переміщення центра, відносно якої здійснюється поворот інструменту за кутовими координатами, додержуючись величини його вилітання.

Розрахунок лінійних координат залежить від виду програмного оброблення, тобто від того, як здійснюється оброблення – торцем (рис. 13.10, а), периферією (рис. 13.10, б) чи торцевою частиною (рис. 13.10, в) циліндричної або конічної кінцевої фрези.

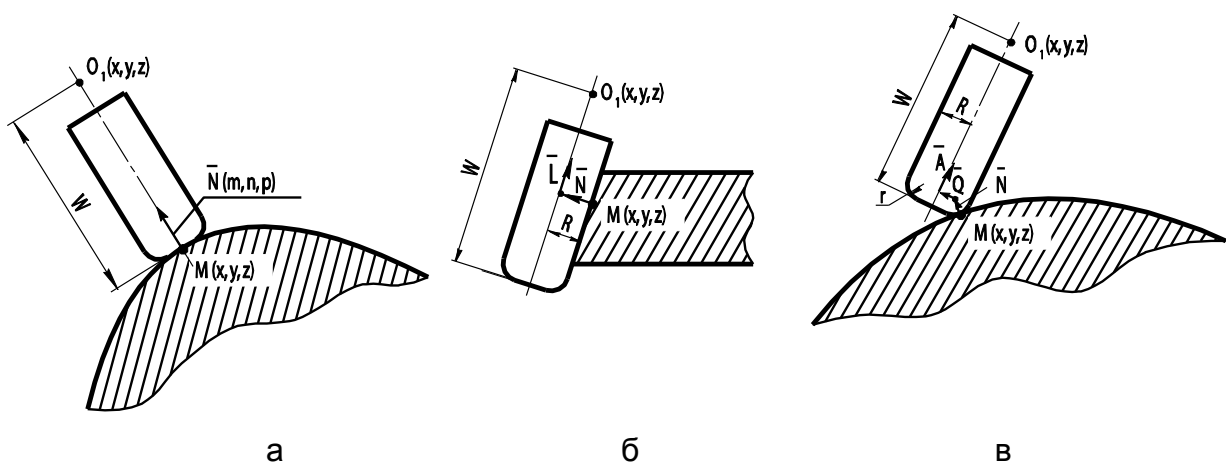


Рис. 13.10. Основні види п'ятикоординатного фрезерування:
а – торцем; б – периферією; в – торовою частиною фрези

На рис. 13.10 наведено такі позначення: x, y, z – координати змінної опорної точки M траєкторії оброблення; W – виліт торця фрези; m, n, p – компоненти одиничних векторів; \bar{N} – вектор нормалі до оброблюваної поверхні в опорній точці; R – радіус фрези; \bar{L} – вектор твірної лінійчастої поверхні в опорній точці; r – радіус скруглення фрези; \bar{Q} – вектор торової частини фрези; \bar{A} – вектор напрямку осі фрези.

Оброблення на багатокоординатних верстатах супроводжується специфічними явищами в області режимів різання внаслідок кутових переміщень інструменту.

Так, під час розвертання інструменту в площині в напрямку подачі змінюється кут входження зуба фрези в метал, тобто фактично змінюється геометрія інструменту, а отже, і характер процесу різання.

Одночасно відбувається значне (до двох разів) змінення величини результуючої подачі внаслідок алгебричного складання швидкості кутових переміщень і заданої за розрахунковими режимами швидкості лінійної подачі.

Одним із основних завдань під час оброблення на багатокоординатному верстаті з ЧПК є зведення до мінімуму кількості встановлень деталей через складність їхньої конфігурації й, відповідно, складність базування.

13.3.2. Оброблення деталей каркаса фюзеляжу

На рис. 13.11 зображено типові деталі каркаса фюзеляжу, програмне оброблення яких стало можливим завдяки використанню п'ятикоординатних фрезерних верстатів з ЧПК моделей ФП-14, ФП-14МЛ, ФП-14В. Заготовки для цих деталей на п'ятикоординатних фрезерних верстатах з ЧПК обробляють за два встановлення.

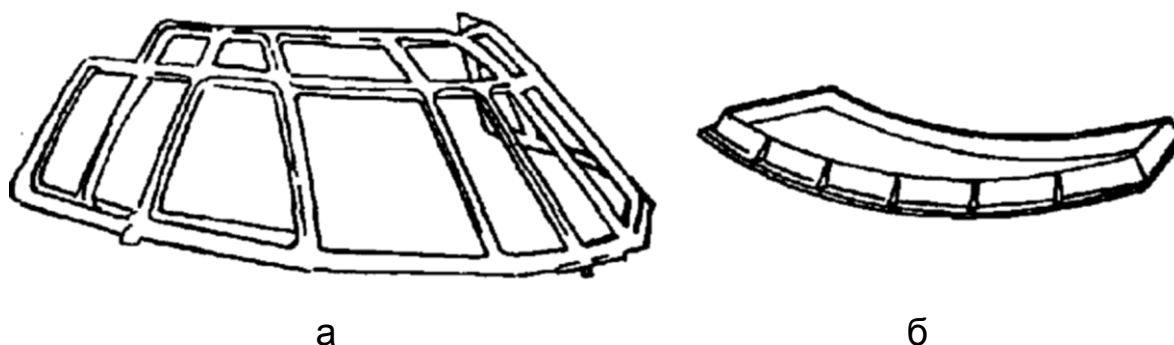


Рис. 13.11. Деталі каркаса фюзеляжу:
а – рамка ліхтаря пілота; б – каркас люка

Під час оброблення насамперед формують поверхню, що виходить на теоретичний контур. Ця поверхня є частиною конуса (рамка ліхтаря пілота) або циліндра (каркас люка), у яку вписано конструктивні елементи – фітинги й підсічки.

Оброблення здійснюється фрезою діаметром 50 мм, причому під час формування зовнішньої поверхні деталі вісь фрези постійно розвертається за нормаллю до дотичної теоретичного контуру в змінних координатах.

Потім фрезерують внутрішній бік з базуванням на вже обробленій поверхні теоретичного контуру, причому ложемент оснастки внаслідок високої геометричної складності базової поверхні виготовляють за тією самою КП, що й зовнішню поверхню.

13.3.3. Оброблення деталей силового набору крила

П'ятикоординатне оброблення деталей силового набору крила зі штампованих заготовок здійснюють на п'ятикоординатних фрезерних верстатах з ЧПК моделей ФП-14, ФП-14МЛ, ФП-14В.

Стикову гребінку консолі крила (рис. 13.12, а) обробляють по контурах і внутрішніх обводах 2, розташованих на криволінійній поверхні 1. Щока каретки дефлектора закрилка (рис. 13.12, б) обробляється по зовнішньому контуру 5 з малкованою поверхнею, внутрішніх контурах 1 і дну 2, а також по внутрішніх контурах з малкованими поверхнями 3 і 4.

Ця деталь, посилена ребрами жорсткості, є обмеженою по контуру лінійчастою поверхнею з висотою борту 50 мм, але діапазон змінення малок уздовж порівняно невеликої ділянки контуру деталі дуже широкий – від нульової малки до кута 30° . Щоки каретки дефлектора закрилка потребують високої точності положення теоретичного контуру відносно класних отворів.

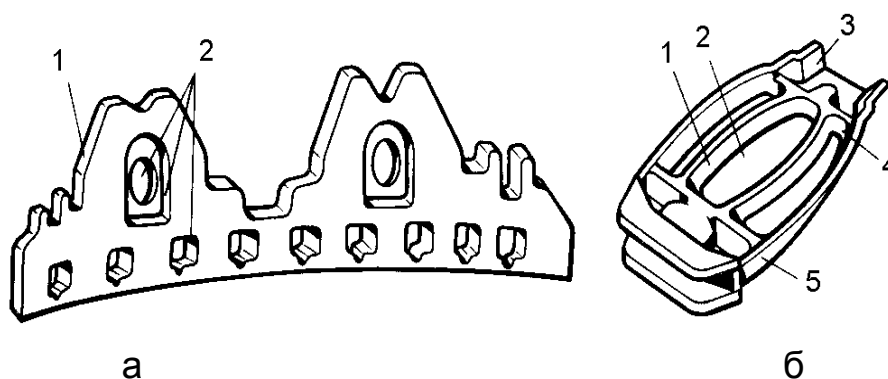


Рис. 13.12. Деталі силового набору крила:
а – гребінка консолі крила; б - щока

Заготовку щоки каретки дефлектора закріпка базують у пристрої за двома координатно-фіксувальними отворами діаметром 8 мм і кріплять через попередньо розкриті стикувальні отвори, що дає можливість здійснювати оброблення за одне встановлення.

Типова послідовність оброблення щоки каретки:

– фрезерування зовнішнього контуру в п'ятикоординатному режимі за замкнутою траєкторією з петлеподібним відведенням фрези для її розвороту поза контактом із заготовкою, щоб уникнути підрізів;

– торцювання ребер поверхонь за висотою в п'ятикоординатному режимі;

– вибирання внутрішньої поверхні колодязів у трикоординатному режимі з остаточним формуванням полотна за товщиною.

Далі обробляють внутрішній контур 1 у трикоординатному режимі: попередньо фрезую діаметром 16 мм з припуском 1 мм й остаточно фрезую діаметром 12 мм.

13.3.4. Оброблення стільникового заповнювача

Для стільникових конструкцій вузлів механізації крила літака й хвостових відсіків лопаті вертольота потрібно обробляти торці стільникових заповнювачів, безпосередньо з'єднаних з елементами аеродинамічного обводу, утвореного процентними поверхнями.

Стільникові блоки як заготовки стільникового заповнювача виготовляють із фольги АМГ2-Н завтовшки 0,03 мм (комірка розміром 2,5 мм) або поліамідного паперу, що має назву полімерсотопласта, марки ПСП-1, а також із фольги з титанових сплавів або корозійностійкої сталі [8, 11].

Механічне оброблення стільникових заповнювачів складається з операцій розрізання стільникових блоків під заготовки, фрезерування, обрізання припуску по контуру, плоского й криволінійного шліфування, виконання отворів, пазів, уступів, прорізів.

Ці процеси потребують спеціального підходу під час вибору режимів різання, способів базування й закріплення заготовок, схем оброблення, конструкції й форми різального інструменту, засобів видалення пилу та стружки.

Розрізання стільникових блоків з алюмінієвих сплавів та обрізання їх по контуру здійснюють на стрічкових пилках моделі ЛС-80-3 при швидкості різання 900 м/хв і хвилинній подачі 300...600 мм/хв.

Стільникові блоки з титанових сплавів або корозійностійкої сталі

розрізають на анодно-механічній пилці типу 4822.

Фрезерування прямолінійних і криволінійних поверхонь стільникових блоків, а також торців стільників здійснюють на спеціальних верстатах з ЧПК моделей РФП-4, РФП-6. Стільниковий заповнювач фрезерують спеціальними грибковими фрезами зі швидкорізальної сталі діаметрами 50 і 100 мм.

Обробляючи вгнутий бік, торці стільників базують на площині, фрезеруючи опуклий бік, торці стільників базують на технологічній плиті-супутнику по вже обробленій увігнутій поверхні (рис. 13.13, а).

За точністю найбільш раціональною є човникова схема оброблення вздовж процентних ліній (рис. 13.13, б). У цьому випадку глибина огранування Δ на опуклому й увігнутому боках стільникового заповнювача не перевищує $\pm 0,04$ мм. Оброблення вгнутої поверхні стільникового заповнювача й виготовлення технологічної плити-супутника здійснюється за однією КП, що забезпечує високу точність.

Прийнятий режим різання: частота обертання грибкової фрези – 18000 хв^{-1} , хвилинна подача – до 3500 мм/хв. Перед обробленням стільниковий блок закріплюють на технологічній плиті з допомогою спеціального клею – поліетиленгліколю [1].

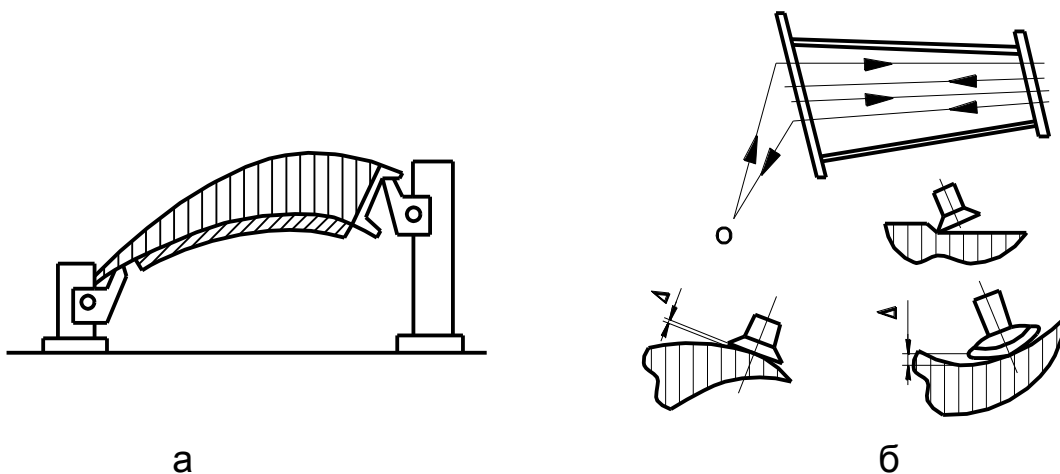


Рис. 13.13. Схеми базування (а) і оброблення (б) стільникового заповнювача

Шліфування застосовують для отримання поверхонь високої точності. Плоскі поверхні стільникових блоків шліфуються на стрічкошліфувальних верстатах абразивними стрічками, а криволінійні – на спеціальних шліфувальних верстатах з ЧПК. Режим шліфування витримують у діапазоні: швидкість різання – 5...10 м/с, хвилинна подача –

3000...5000 мм/хв.

Отвори в стільникових заповнювачах утворюють на універсально-свердлильних і фрезерних верстатах свердлами зі швидкорізальної сталі марки Р18, застосовуючи кондукторні пристрої, при частоті обертання інструменту не менше 1500 хв^{-1} .

13.4. Виготовлення характерних деталей лопаті вертольота

13.4.1. Особливості деталей лопаті вертольота

Деталі лопатей тримального (ТГ) і кермового (КГ) гвинтів вертольота експлуатуються в умовах циклічних навантажень, тому мають підвищені вимоги до надійності та витривалості.

Незважаючи на інтенсивне використання лопатей із ПКМ, застосування суцільнометалевих лопатей (СМЛ) у конструкціях тримальних гвинтів важких транспортних типу Мі-26 та універсальних типу Мі-8 вертольотів є економічно вигіднішим.

Найбільш характерними деталями й вузлами СМЛ, що визначають її конструктивно-силову схему, є комлева частина (наконечник лопаті), лонжерон і хвостовий відсік.

Основним силовим елементом лопаті ТГ (рис. 13.14) є лонжерон 1 (сталевий трубчастий зі сталі 40ХНМА або дюралевий пресований зі сплаву АВТ-1 або ПЕКЛО-33), що має змінний переріз за розмахом лопаті.

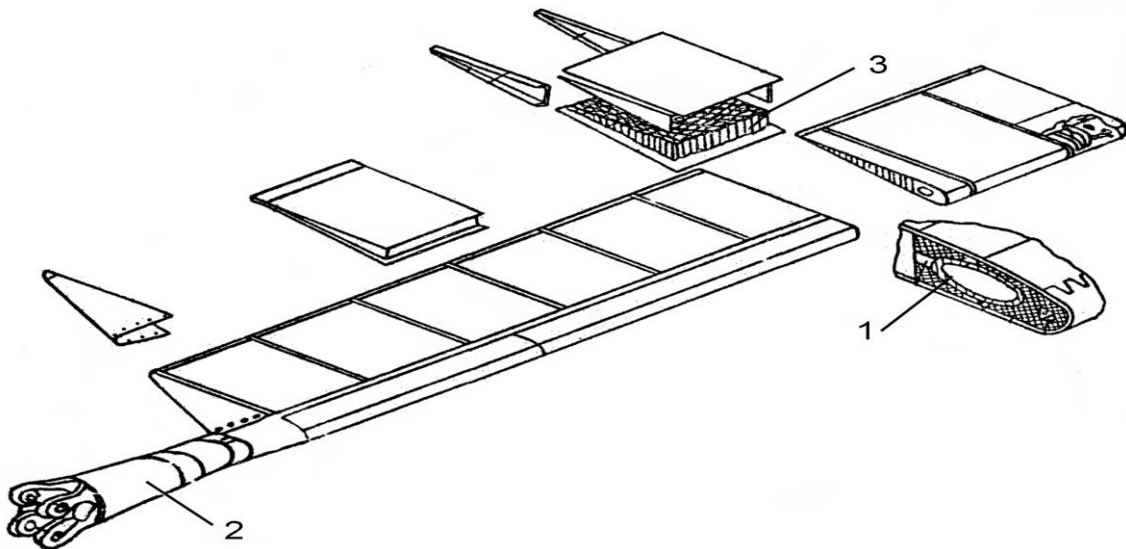


Рис. 13.14. Схема технологічного членування типової СМЛ

Наконечник 2 з вушками для навішування лопаті на втулку ТГ, виготовлений з високоміцної сталі 30ХГСНА, до трубчастого сталевов-

го лонжерона кріпиться шляхом аргонодугового зварювання, а до пресованого дюралевого – з допомогою болтів. Кожний хвостовий відсік лопаті має алюмінієвий або полімерний стільниковий заповнювач 3.

Окрім конструкції хвостового відсіку з ПКМ відпрацьовано технологію виготовлення металевого відсіку, який дешевший, ніж відсік з ПКМ. У цьому випадку обшивку й нервюри відсіку виготовляють з алюмінієвого сплаву АВТ-1 завтовшки 0,3 мм, а стільниковий заповнювач – з фольги Амг2-н завтовшки 0,03 мм.

13.4.2. Виготовлення наконечника лопаті

Маршрутна технологія виготовлення наконечника лопаті:

– вхідний рентген-контроль заготовки на відсутність тріщин, волосовини (рентген-апарат РУП-600);

– фрезерування площин вушок і вилки з припуском на шліфування (фрезерний верстат з ЧПК моделі МА-655СМН із магазином інструментів);

– свердління, зенкерування, розгортання отворів у вушках для навішування лопаті на втулку ТГ; зенкування фасок, цекування гнізд під головки болтів і гайок кріплення пресованого лонжерона (вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі МА-655СМН із магазином інструментів);

– термічне оброблення (піч індукційна моделі УНКЗ-2);

– шліфування площин вушок і вилки (плоскошліфувальний верстат моделі ЗП722ДВ), притуплення гострих кромок;

– калібрування, дорнування отворів (гідропрес моделі ЛС6-НА);

– розкочування, обкочування перехідних галтелів, віброзміцнювання наконечника (віброустановка моделі ВУД-630), промивання;

– технічний контроль (контрольно-вимірювальна машина з ЧПК моделі DELTA-AB), зважування;

– антикорозійне оброблення – кадміювання (гальванічна ванна).

Операції фрезерування, свердління, зенкерування, розгортання, цекування виконуються за одне встановлення заготовки на верстаті.

Процеси зміцнювання методами ППД є фінішними, їх здійснюють після механічного, термічного й чистового оброблення наконечника.

13.4.3. Виготовлення алюмінієвого пресованого лонжерона

Заготовку лонжерона з високоміцного алюмінієвого сплаву мар-

ки АВТ-1 або АД-33 отримують гарячим пресуванням в язичковій матриці, яка на виході зварює декілька потоків зливка в замкнутий контур постійного перерізу з перемичками всередині або ребрами жорсткості.

Після вхідного рентген-контролю на виявлення тріщин, волосовини та інших дефектів заготовку лонжерона фрезерують на поздовжньому копіювально-фрезерному верстаті моделі ВКФ-1, обладнаному двома горизонтальними (для чорнового й чистового оброблення) й однією вертикальною фрезерними головками. Фрезерування виконується фасонними фрезами. Заготовку лонжерона закріплюють на столі верстата гідравлічними притискачами.

Зовнішній контур лонжерона має ділянки з постійним за його довжиною поперечним перерізом і перехідні плавні ділянки. Товщина стінок лонжерона після фрезерування змінюється від 3 мм у консольній частині до 20 мм у комлевій. Після фрезерування зовнішню поверхню лонжерона пришабрують і доводять до точного контуру перерізу за допомогою переносних пневматичних шліфувальних машин.

Відповідно до вимог аеродинаміки лопаті лонжерон має геометричну скрученість за довжиною. Закручування лонжерона виконують у холодному стані на установці моделі УЗЛ-1.

У внутрішній канал заготовки лонжерона вводять набірну оправку, яка утримується тросовими розтяжками в зоні скручування. Лонжерон наочують роликами на ложементи, затискають силовими скобами через гідроциліндр. Ложементи самоорієнтуються по зовнішньому контуру лонжерона й обертаються від силового гідроприводу з автоматичним обліком кута пружини лопаті після зняття навантаження. Після переміщення на заданий крок лонжерон закріплюють силовими скобами, цикл скручування повторюється.

Після операції геометричного скручування в комлевій частині лонжерона розсвердлюють і розгортають за два переходи отвори кріплення комлевого наконечника. Після розгортання отвори дорнують, а їхні кромки – обтискають. Як зміцнювальне оброблення пресованого лонжерона застосовують віброударне зміцнювання на установці моделі УБЯ-3-11.

Після зміцнювального оброблення й промивання поверхню лонжерона декапірують у розчині кислоти, щоб видалити тонку плівку оксидів перед нанесенням захисного гальванопокриття.

Перед установленим в стапель для складання лопаті лонжерон з комлевим наконечником піддають геометричному контролю і зважують.

13.4.4. Виготовлення сталевого трубчастого лонжерона

Для важких вертольотів лонжерон СМЛ виготовляють зі сталеві холоднокатаної труби (матеріал 40ХНМА). Заготовка його має за розмахом змінні товщину й форму поперечного перерізу (від круглого в комлі до овального в консольній частині).

Після вхідного рентген-контролю й загартування заготовку шліфують по зовнішній і внутрішній поверхнях на спеціалізованих стрічкошліфувальних верстатах моделей СШСЗ (зовнішнє шліфування) і СШСВ (внутрішнє шліфування).

Рядкове шліфування зовнішньої стінки лонжерона 1 (рис. 13.15, а) виконується абразивною стрічкою 2 завширшки 90...100 мм. До оброблюваної поверхні стрічка притискається пневматичним контактним роликком 3.

У процесі оброблення заготовка лонжерона 1 переміщається за поздовжньою віссю верстата з подачею 5...25 м/хв і в проміжках між робочими циклами повертається на заданий кут.

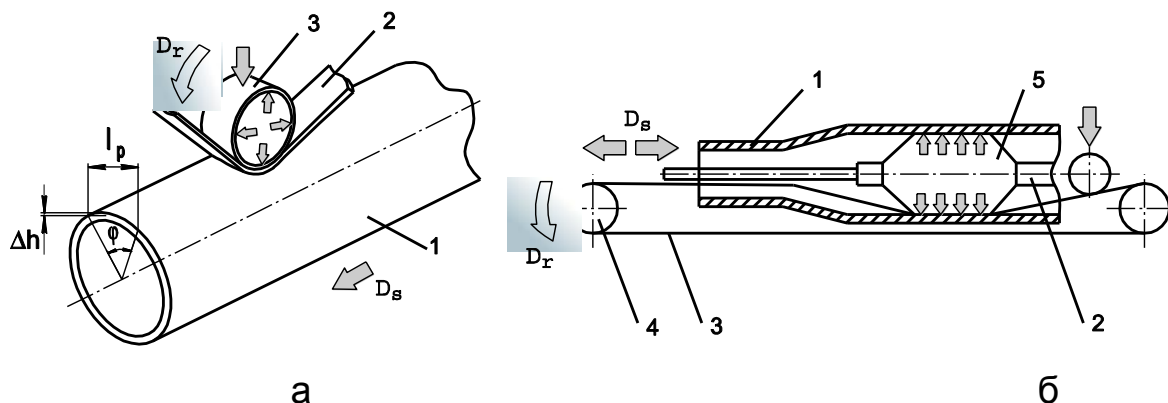


Рис. 13.15. Схема шліфування сталевого трубчастого лонжерона

Гідравлічна система верстата стежить за профілем виробу через ролики, зміщенням яких регулюється сила притискання абразивної стрічки (0,2...1,2 МПа) залежно від радіуса кривизни перерізу лонжерона. Технологічні параметри стрічкового шліфування – глибина h і ширина l знятого шару металу.

На рис. 13.15, б зображено схему шліфування внутрішньої пове-

рхні заготовки лонжерона на верстаті моделі СШЛВ.

Перед шліфуванням у заготовку 1, установлену в привідних люнетах і затиснуту в патронах верстата, за допомогою штанги 2 протягують абразивну стрічку 3 завширшки 90...100 мм і кінці її склеюють. Електродвигун приводить в обертання приводний шків 4, на якому закріплено абразивну стрічку. Стрічка притиснута до оброблюваної поверхні пружним елементом 5, наповненим стисненим повітрям через штангу 2. Тиск повітря в пружному елементі – 0,03...0,08 Мпа, швидкість переміщення стрічки по рядку шліфування за рахунок подачі притискного елемента – 5...6 м/хв, швидкість головного руху шліфувальної стрічки – 20...25 м/с.

Щоб підвищити міцність від утомленості сталевого лонжерона при динамічних навантаженнях, застосовують обкочування роликми, віброударне й пневмодинамічне оброблення.

Заготовку трубчастого лонжерона 2 (рис. 13.16) обкочують за два робочі ходи під час зустрічного й збіжного обертання обкатника 3 та лонжерона. Частота обертання обкатника – 2500 хв^{-1} , лонжерона – $5...6 \text{ хв}^{-1}$, поздовжня подача обкатника – 0,1...0,2 мм/об. Поверхні лонжерона циліндричної й овалної форми обкочуються три- або п'ятирядними роликковими обкатниками 3.

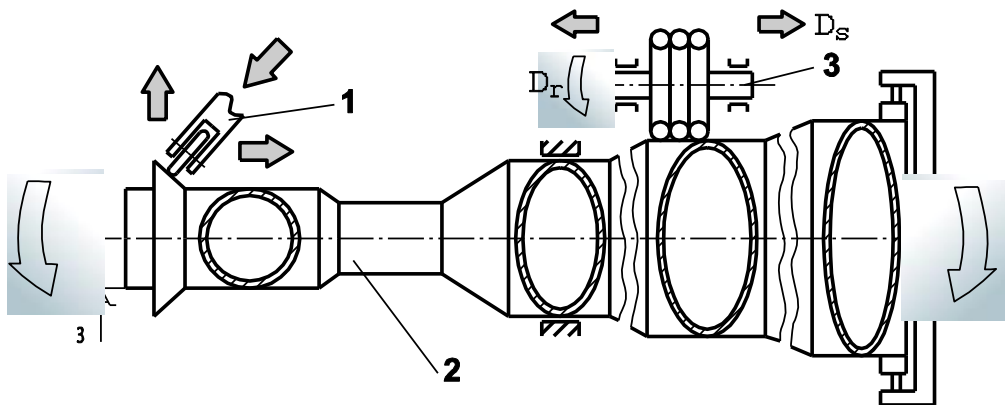


Рис. 13.16. Схема обкочування заготовки трубчастого лонжерона

Галтелі зміцнюють однорядними роликковими обкатниками 1. Тиск інструменту на обкочувану поверхню забезпечують таровані пружини в межах 50...60 Н. Для з'єднання сталевого наконечника (копля) і трубчастого лонжерона застосовується аргонодугове зварювання. Кільцевий шов зварюють на спеціальній установці моделі

УСМК-2 в середовищі аргону.

Далі з'єднання наконечника з лонжероном піддають термообробленню, щоб зняти зварювальне напруження.

Після ґрунтування внутрішньої поверхні атмосферостійким покриттям готовий лонжерон надходить до стапеля для виготовлення носової частини лопаті.

Контрольні запитання

1. Назвіть типові види компонування фрезерних верстатів з ЧПК, які застосовуються на підприємствах галузі.
2. Які модифікації стандартних кінцевих фрез використовуються для фрезерного оброблення?
3. Які типи фасонних кінцевих фрез застосовуються для фрезерування просторово-складних поверхонь?
4. Наведіть схеми поздовжнього й поперечного трикоординатного фрезерування похилої ділянки поверхні, деталі або оснащення.
5. Які технологічні особливості має програмне оброблення пресованих деталей стрингерів?
6. Назвіть чинники, що визначають послідовність оброблення силових шпангоутів фюзеляжу.
7. Які види п'ятикоординатного фрезерування застосовуються для виготовлення деталей ЛА й технологічного оснащення?
8. Наведіть схему фрезерного оброблення торцевих поверхонь стільникового заповнювача вузлів механізації крила.
9. Назвіть маршрутну технологію виготовлення алюмінієвого пресованого лонжерона лопаті вертольота.
10. Наведіть схеми зовнішнього й внутрішнього шліфування сталевого трубчастого лонжерона лопаті вертольота.
11. За якою схемою здійснюється обкочування заготовки сталевого трубчастого лонжерона?

14. ОСНОВНІ НАПРЯМИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ОБРОБЛЕННЯ З ВИДАЛЕННЯМ ЗАЙВОГО МАТЕРІАЛУ

У зв'язку з необхідністю зменшення трудомісткості обробки великої актуальності набувають такі напрями підвищення ефективності процесів оброблення з видаленням зайвого матеріалу:

– інтенсифікація існуючих процесів оброблення різанням переважно за рахунок використання нових марок інструментальних матеріалів, удосконалення конструкцій різального інструменту, оптимізація режимів різання й технологічних схем оброблення;

– застосування нових процесів і методів оброблення, що ґрунтуються на додатковому впливі на оброблювані заготовки різних видів енергії (наприклад, місцевого нагрівання заготовки, накладання вібрацій, коливань ультразвукової частоти).

Особливе місце займає оброблення важкооброблюваних матеріалів різними видами електрофізичної, електрохімічної й хімічної обробки.

14.1. Удосконалення інструментальних матеріалів

Розроблення інструментальних матеріалів підвищеної твердості, міцності, тепло- й червоностійкості, високої опірності зношенню зумовлено дедалі ширшим використанням у конструкції планера ЛА деталей з високоміцних, нержавіючих і жароміцних сталей і сплавів [3, 10, 11, 21].

Для їх оброблення спочатку використовували швидкорізальні сталі марок Р18, Р9, Р12, Р6М3, що відрізнялися від інструментальних матеріалів, які застосовувалися раніше, значно більшим вмістом легувальних елементів (ванадію, молібдену, хрому, вольфраму). Ці швидкорізальні сталі зберігають свої властивості за умов підвищення температури в зоні оброблення до 600°C, що дало можливість збільшити швидкість різання в 2-3 рази.

Далі до діючих стандартів було введено нові марки швидкорізальних сталей підвищеної продуктивності, які за складом можна поділити на три групи:

– *кобальтові* (Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р12Ф4К5), що мають високу твердість і червоностійкість і призначені для чорнового й напівчистового оброблення високоміцних матеріалів;

– *ванадієві* (Р9Ф5, Р14Ф4, Р12Ф5М), що мають підвищену зносостійкість за умов роботи в зоні невисоких температур і добре себе зарекомендували під час чистового оброблення;

– *кобальто-молібденові* (Р6М5К5, Р9М4К8, Р12Ф2К8М3), що мають високу твердість і червоностійкість і забезпечують високі пока-

знижки під час оброблення жароміцних і титанових сплавів.

Швидкорізальні сталі нових марок, маючи найвищі показники за твердістю, червоностійкістю й теплопровідністю, забезпечили підвищення стійкості інструменту в 2-3 рази порівняно зі швидкорізальною сталлю марки Р18.

Щоб поліпшити якість швидкорізальних сталей, під час їх виготовлення було застосовано метод порошкової металургії. Виробничі випробування показали, що інструмент зі швидкорізальних сталей марок Р6М5К5 і Р9М4К8, виготовлений методами порошкової металургії, має підвищену на 30...70 % стійкість порівняно з інструментом, виготовленим звичайним способом.

На багатьох підприємствах галузі було успішно впроваджено *дисперсійно-тверді* інструментальні сплави марок ЕП634, ЕП-723 і ЕП831, які під час оброблення деталей із титанових сплавів і високоміцних сталей забезпечують семикратне підвищення стійкості інструменту порівняно зі швидкорізальною сталлю марки Р18.

Подальша інтенсифікація оброблення різанням пов'язана з використанням як інструментальних матеріалів твердих сплавів, мінералокерамічних надтвердих матеріалів.

Сьогодні в авіабудуванні досить широко застосовуються такі групи твердих сплавів:

– *вольфраміві* марок ВК8 і ВК8В – для обдирного й чорнового оброблення високоміцних матеріалів, аналогічні тверді сплави дрібнозернистої структури марок ВК6М і ВК10М й особливодрібнозернистої структури марок ВК60М і ВК100М – для напівчистового й чистового оброблення;

– *титановольфраміві* – як для чорнового (сплав марки Т5К10), так і для чистового (сплав марки Т15К6) оброблення деталей із теплостійких і нержавіючих сталей;

– *титанотанталовольфраміві* марок ТТ10К8А і ТТ10К8Б – замість сплаву ВК8 для оброблення сталевих деталей.

Ефективним способом підвищення продуктивності різання під час оброблення деталей із високоміцних матеріалів є застосування мінералокерамічних і надтвердих інструментальних матеріалів, виготовлених на основі полікристалічних синтетичних матеріалів. *Мінералокерамічні інструментальні матеріали* для різальних інструментів виготовляють у вигляді пластинок з окислу алюмінію методом пресування під великим тиском з подальшим спіканням. Вони мають високі твердість і зносостійкість, міцність, температуростійкість до 1200 °С.

Мінералокерамічні пластинки зі сплавів марок В-3, ВОК-60 і ВОК-63 застосовуються для чистового оброблення високоміцних тер-

мічно оброблених сталей. Кріплять їх до корпусу фрези або державки різця механічним шляхом, напаюванням або приклеюванням.

Отримання великих полікристалічних утворень на основі нітриду бору, які практично не поступаються алмазу за твердістю, відкрило широкі можливості для оснащення різальних інструментів *синтетичними надтвердими матеріалами* (СНМ).

Різці й фрези з цих матеріалів – ельбору-Р і гексаніту-Р – застосовують зазвичай для виконання чистових операцій оброблення заготовок із загартованих сталей і титанових сплавів.

Унаслідок тонкого точіння, розточування й фрезерування інструментами, оснащеними цими матеріалами, забезпечуються такі самі параметри з точності обробки й шорсткості поверхні, що й під час шліфування, але при цьому отримують якісніший поверхневий шар, оскільки він не має характерних для шліфування дефектів – припиків, структурних перетворень, шаржування абразивом.

14.1.1. Удосконалення конструкції інструментів

Значно інтенсифікувати процеси розмірного оброблення можна змінням конструкції різальних інструментів, у першу чергу, інструментів з механічним кріпленням багатограних різальних пластин (БРП) із твердого сплаву, мінералокераміки й полікристалічних СНМ.

Асортимент пластин дає можливість, наприклад, укомплектувати набір спеціалізованих токарних різців із БРП для оброблення широкої номенклатури деталей на токарних верстатах з ЧПК (рис. 14.1).

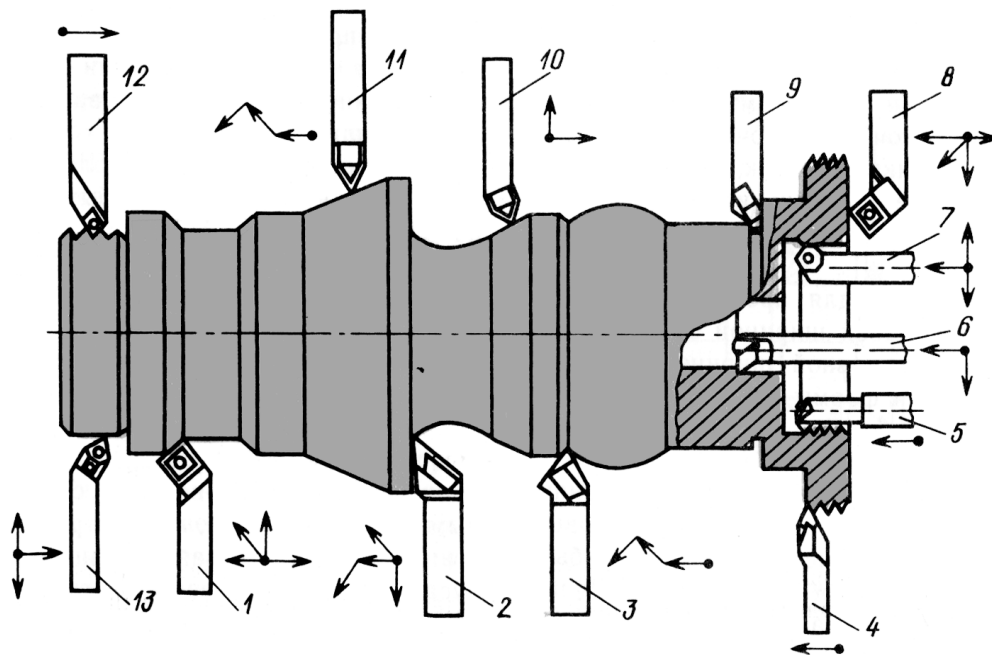


Рис. 14.1. Схема оброблення основних типових поверхонь токарними різцями з БРП

До комплекту інструментів для токарних верстатів з ЧПК зазвичай входять такі різці (див. рис. 14.1):

– 1 – прохідні відігнуті праві з $\varphi = 45^\circ$ для патронного оброблення деталей на зразок фланців: зовнішнього обточування, проточування торців, знімання фасок;

– 2 – контурні з $\varphi = 93\dots 95^\circ$, які дають можливість обточувати деталі по циліндру й зворотному конусу з кутом спаду до 30° , обробляти радіусні, торцеві поверхні та галтелі;

– 3 – контурні з $\varphi = 63^\circ$ для оброблення напівсферичних поверхонь і конусів з кутом спаду до 60° ;

– 4 – нарізні з ромбічними пластинами, які дають можливість нарізувати різь із кроком 2...6 мм (кут профілю забезпечується формою пластини);

– 5 – нарізні для нарізування внутрішньої різі, що дають можливість нарізувати різь із кроком до 2 мм з підходом до торця отвору;

– 6 – розточувальні з $\varphi = 95^\circ$ для розточування наскрізних отворів;

– 7 – розточувальні з $\varphi = 92^\circ$, які дають можливість розточувати отвори діаметром 22 мм і більше;

– 8 – прохідні з $\varphi = 45^\circ$ і квадратними пластинами для зовнішнього обточування, проточування торців деталей, знімання фасок;

– 9 – канавкові для проточування зовнішніх канавок завширшки 1...6 мм з глибиною, що дорівнює ширині (розроблено різці з використанням двосторонніх БРП для проточування внутрішніх і зовнішніх куткових канавок);

– 10 – прохідні з БРП тригранної форми і $\varphi = 93^\circ$, які дають можливість проточувати циліндричні й фасонні поверхні;

– 11 – прохідні з БРП тригранної форми з $\varphi = 63^\circ$;

– 12 – нарізні для зовнішнього різання з кроком до 2 мм; профіль вершини різця забезпечується заточуванням пластин під кутом, що дорівнює куту профілю різання;

– 13 – прохідні упорні з БРП тригранної неправильної форми з $\varphi = 92\dots 95^\circ$ для проточування ступінчастих поверхонь, фасок, торців рухом від зовнішнього діаметра до центра деталі.

Основні переваги використання інструментів з механічним кріпленням БРП:

– відсутність операцій паяння різальних пластин і, отже, термічного напруження, яке спричиняється паянням, а це виключає появу тріщин і підвищує запас міцності інструменту під час експлуатації;

- стабільність геометрії різального інструменту під час заміни пластин, забезпечення постійної шорсткості різальних кромки;
- можливість більш економного використання твердих сплавів та інших інструментальних матеріалів.

Державки токарних різців виготовляють різних розмірів: повнорозмірні, укорочені й різці-вставки. Різці-вставки дають можливість створювати різні типи одно- і багаторізованих регульованих інструментів.

Інструменти встановлюють у паз інструментальної головки (різцевого блоку) або різцетримача й задають точність обробки.

Серед інструментів із БРП група токарних різців найбільш показана. Створено єдину систему кодування окремих символів токарних різців із БРП.

Приклад побудови позначень розточувальних різців згідно з рекомендаціями ISO (ISO – International Standard Organisation) наведено на рис. 14.2. Інші типи токарних різців кодують відповідно до цієї схеми.

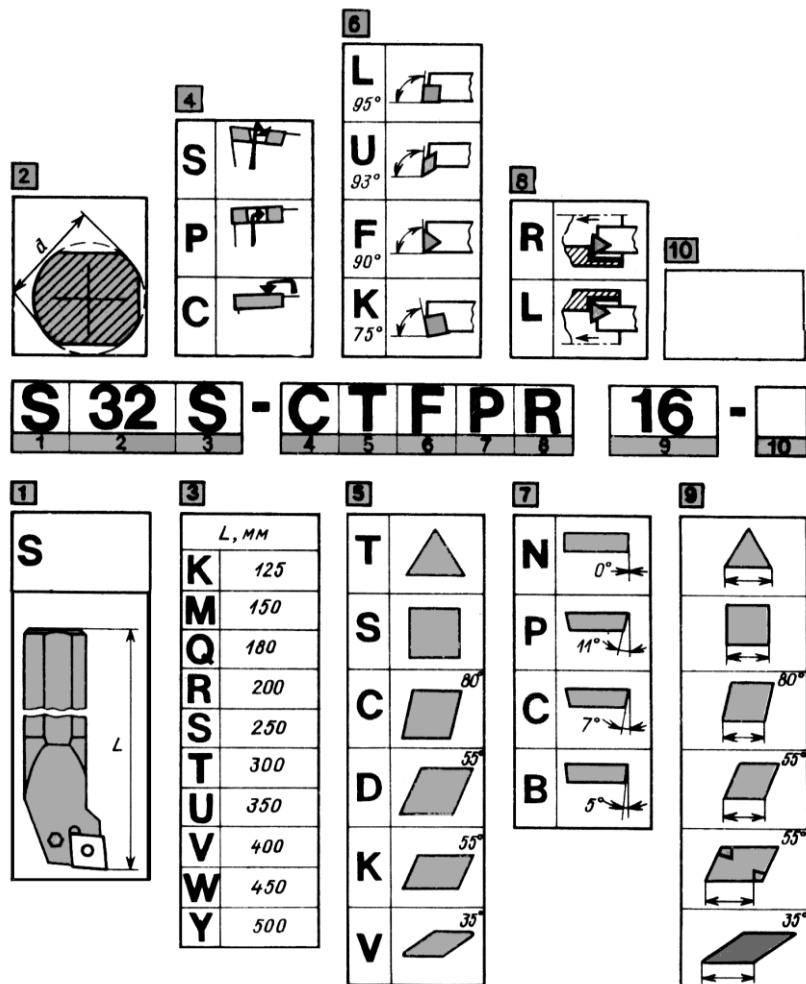


Рис. 14.2. Схема побудови позначень розточувальних різців

Схема побудови позначень розточувальних різців (див. рис. 14.2)

містить такі елементи: 1 – вид оправки (S – цілісна сталева); 2 – діаметр; 3 – довжина; 4 – механізм кріплення (S – гвинтом, P – через отвір, C – прихоплювачем); 5 – форма пластини; 6 – тип оправки; 7 – задній кут пластини; 8 – виконання оправки; 9 – довжина різальної кромки; 10 – позначення заводу-виготовлювача.

14.1.2. Методи підвищення стійкості інструментів

Спрацювання різального інструменту – це процес руйнування поверхневих шарів, що призводить до поступового змінення форми й стану поверхонь різання інструменту. У разі оброблення різанням тертя й пов'язане з ним спрацювання інструменту відрізняються від спрацювання тертям деталей конструкцій. У процесі різання відбувається тертя знов утворюваних поверхонь стружки, що сходиться, з передніми й задніми поверхнями інструменту.

Маслоохолодні технологічні середовища (МОТС) забезпечують найбільш сприятливі умови перебігу процесу механічного оброблення різанням (максимальна стійкість інструменту, оптимальна температура заготовки й ін.). До МОТС належать мастилоохолодні рідини (МОР), стиснене повітря, інертні гази для обдування. МОР становлять близько 97 % від усіх застосовуваних у промисловості МОТС, і використовуються здебільшого для відведення тепла із зони різання з метою зниження температури й, отже, підвищення стійкості різального інструменту.

У процесі чистового оброблення завдяки МОР отримують поверхні з мінімальною шорсткістю. МОР також запобігають корозії різального інструменту й оброблених поверхонь заготовки. Існують різні методи підведення МОР у зону різання: поливання, подавання під тиском з боку задньої поверхні інструменту, розпилення (аерозольне або туманом).

Нанесення зносостійких покриттів є особливо ефективним для інструментів, які заточуються лише по передній поверхні (наприклад, для фасонних фрез). У цьому випадку навіть після подальших переточувань зносостійкі покриття зберігають свій позитивний вплив на працездатність інструмента.

Стійкість твердосплавного інструменту підвищується до шести разів, якщо нанести на його поверхню зносостійкий шар завтовшки 5...15 мкм з карбіду титану, ніобію, бориду або нітриду. Зносостійкість інструменту зі швидкорізальної сталі з покриттям з нітриду титану підвищується в 2 – 5 разів.

Подальшого підвищення стійкості інструменту було досягнуто розділенням указаної товщини покриття на окремі шари. Кожний шар

виконує певну функцію щодо різних видів спрацювання, міцності зчеплення й термічного розширення. Покриття на пластинки твердих сплавів наносять газофазним і термодифузійним методами.

Фірма «Сандвік» (Німеччина), наприклад, рекомендує таке тришарове покриття з товщиною кожного з шарів 1...3 мкм:

- внутрішній шар із карбіду титану забезпечує високу зносостійкість і хорошу адгезію покриття з твердим сплавом;

- проміжний шар з оксиду алюмінію надає необхідної стійкості до теплового впливу;

- зовнішній шар із нітриду титану зменшує тертя по передній поверхні різального інструменту.

Попереднє нагрівання матеріалу заготовки є одним із способів інтенсифікації процесів різання важкооброблюваних матеріалів. Застосовуються методи індуктивного, електродугового, електроконтактного, плазмового нагрівання заготовок.

Унаслідок нагрівання підвищується оброблюваність виробу завдяки зміні механічних характеристик матеріалу в зоні стружкоутворення, підвищенню його пластичності й зниженню міцності й твердості.

Змінення механічних характеристик M_2 оброблюваного матеріалу внаслідок підвищення температури від T_1 до T_2 визначається формулою

$$M_2 = M_1 \exp[-\alpha_T (T_2 - T_1)], \quad (14.1)$$

де M_1 – механічні характеристики матеріалу за температури T_1 ; α_T – температурний коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу й умов пластичного деформування.

Унаслідок змінення механічних характеристик матеріалу заготовки зменшується зусилля різання, знижується інтенсивність спрацювання різального інструменту, підвищується швидкість різання.

Проте застосування нагрівання заготовки доцільне лише доти, доки знеміцнення заготовки має перевагу над знеміцненням робочих поверхонь інструменту. Тому для різання з нагріванням використовують здебільшого твердосплавні й мінералокерамічні різці.

Різання з попереднім пластичним деформуванням заготовки (рис. 14.3) забезпечує змінення фізико-механічних властивостей матеріалу зрізаного шару. Попереднє пластичне деформування оброблюваної поверхні з зусиллям P виконує накатний ролик (див. рис. 14.3, а), розташований перед різцем. Ролик і токарний різець переміщуються вздовж осі заготовки з постійною поздовжньою подачею.

Різець, що рухається за роликом, знімає попередньо ослаблений шар матеріалу, унаслідок чого вичерпується запас пластичності

оброблюваного матеріалу й підвищується його оброблюваність різанням. Точіння з попереднім пластичним деформуванням значно підвищує оброблюваність різанням в'язких високоміцних сталей типу X18H9T, E1437Б, E1811 тощо.

Проникнення в тіло заготовки клиновидного ролика (див. рис. 14.3, б) дає можливість створити в поверхневому шарі матеріалу сітку мікротріщин, що значною мірою підвищує оброблюваність і стійкість твёрдосплавного інструменту.

Різання з накладанням вібрацій є одним із шляхів інтенсифікації процесів оброблення високоміцних матеріалів. Суть цього процесу полягає в тому, що на кінематичну схему оброблення накладається додатковий коливальний рух інструменту в напрямку руху подачі або перпендикулярно до поверхні заготовки. Найчастіше це вібрації синусоїдальної форми.

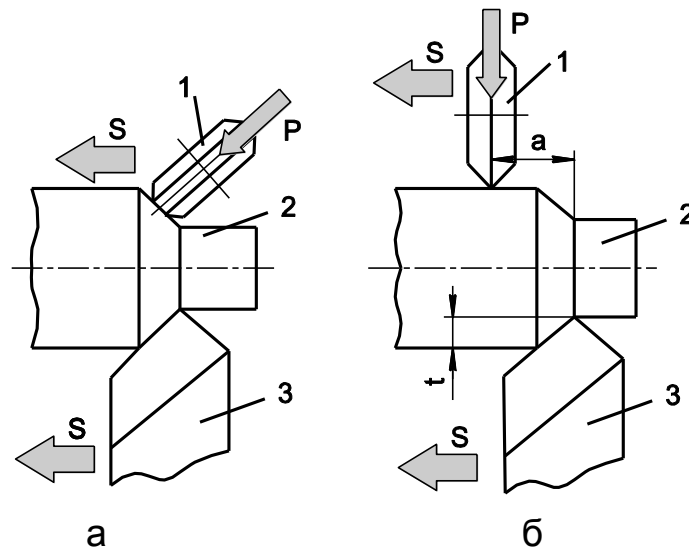


Рис. 14.3. Схеми процесу різання з попереднім пластичним деформуванням:

1 – накатний ролик; 2 – заготовка; 3 – токарний різець

Різання з осьовими коливаннями забезпечує надійне дроблення стружки, що є особливо важливим для оброблення заготовок з в'язких матеріалів на верстатах з ЧПК. Унаслідок різання з вібраціями підвищується оброблюваність високоміцних сталей за рахунок зниження інтенсивності спрацьовування інструменту, зменшення опору руху різання, зниження температури в зоні оброблення. Процес різання з вібраціями підвищує ефективність дії МОР на різальний клин інструменту.

14.2. Високошвидкісне оброблення різанням

Метод високошвидкісного оброблення різанням *HSC* (*HSC* – high speed cutting) забезпечує такі принципові змінення, у першу чергу, під

час фрезерування:

- збільшення швидкості руху подачі фрези до 20 м/хв (максимальна швидкість для звичайного оброблення – 0,5 м/хв);
- збільшення питомого об'єму стружки до $100 \text{ см}^3/(\text{хв} \cdot \text{кВт})$ (максимальний об'єм для звичайного оброблення – $40 \text{ см}^3/(\text{хв} \cdot \text{кВт})$);
- збільшення частоти обертання шпиндельних вузлів до 20000 хв^{-1} (максимальна частота обертання в серійному фрезерному устаткуванні на сьогодні не перевищує 5000 хв^{-1});
- скорочення основного (машинного) часу фрезерного оброблення в 3 – 5 разів.

Особливо ефективний цей спосіб для оброблення тонкостінних ребер і стінок завдяки зменшенню сил різання в 3 – 4 рази і практично повній відсутності нагрівання заготовки в процесі різання.

Фірмою «Форест–Ліне» (Франція) створено верстат моделі H1.1600UTGV для високошвидкісного оброблення заготовок з алюмінієвих сплавів із габаритними розмірами $4000 \times 1600 \times 400 \text{ мм}$ [12].

Верстат є рухомим порталом, що переміщається по напрямних вертикальної станини, на вакуумному столі якої закріплюють оброблювану заготовку (рис. 14.4). Таке компонування є типовим для верстатного устаткування, що реалізує технологію *HSC*.

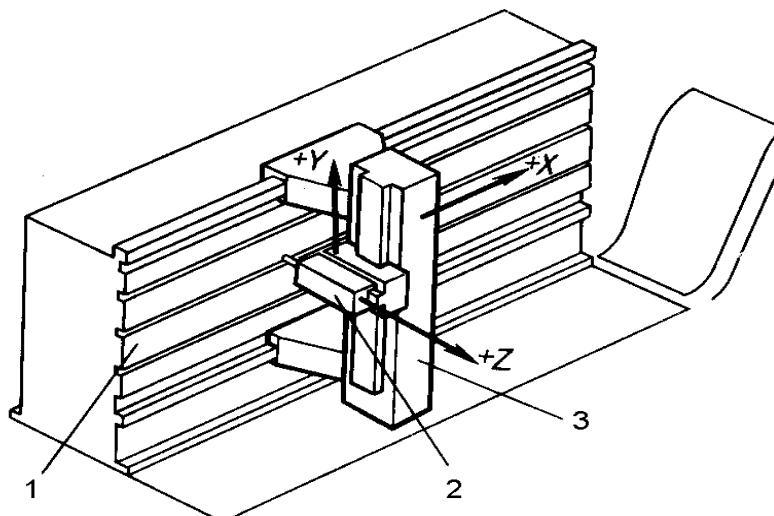


Рис. 14.4. Компонування верстата для високошвидкісного оброблення

Для природного відведення стружки із зони різання стіл 1 верстата розташовано вертикально; шпиндельна головка 2 з горизонтальним шпинделем розміщується на порталі 3, що охоплює стіл верстата. Шпиндельну головку оснащено високошвидкісним електродвигуном, ротор якого встановлений на активних магнітних підшипниках. Шпиндель має два напрями обертання, частота обертання регулюється від 3000 до 30000 хв^{-1} електронним перетворювачем частот при

постійному крутному моменті.

На верстаті передбачено автоматичну заміну інструменту в шпинделі на інструмент з нерухомого магазину, що містить 14 інструментів, шляхом допоміжних переміщень фрезерної головки.

Портал і вертикальна каретка (осі X і Y) мають аеростатичні напрямні, за рахунок яких забезпечуються високі значення точності й швидкості координатних переміщень. Фрезерна головка (вісь Z) переміщається по напрямних із пластика.

Приводи подач оснащено високомоментними електродвигунами постійного струму з електронними регуляторами. Спеціальний сервопривід відстежує високу динаміку верстата такого типу й реалізує прискорення до 10 м/с^2 . Для відведення стружки передбачено конвеєр, розташований у передній частині верстата.

Приводи поздовжнього (вісь X) і горизонтального поперечного (вісь Z) переміщень фрезерної головки – двосторонні, синхронізовані електронною системою й виконані у вигляді шестерень і рейок з пристроєм для усунення зазору. Привід вертикального переміщення каретки (вісь Y) виконано у вигляді попередньо навантаженого кулькового гвинта з дуже великим кроком для забезпечення високих швидкостей руху подач. Розвантаження вертикальної каретки здійснюється з допомогою пневматичного циліндра.

Верстат обладнано пристроєм ЧПК з одночасним керуванням переміщень за трьома координатними осями, що забезпечує швидкість руху подачі робочих ходів до 20 м/хв у площині XY і до 10 м/хв у площинах XZ і YZ . Швидкість руху подачі допоміжного ходу – до 30 м/хв .

Розроблення верстатного устаткування з ЧПК для процесів високошвидкісного оброблення методом *HSC* потребує вирішення такого комплексу технічних і технологічних проблем:

1. Створення різального інструменту гарантованої стійкості. Для високошвидкісного різання найбільш придатним є інструмент із твердого сплаву з багат шаровим покриттям.

2. Виготовлення шпиндельних вузлів верстатного устаткування з частотою обертання $10000 \dots 60000 \text{ хв}^{-1}$ при потужності до 100 кВт .

3. Створення засобів активного автоматичного контролю геометричних параметрів заготовки й стану різального інструмента в процесі оброблення. За умов контролю деталей поза верстатом констатується лише результат обробки й виключається активний вплив етапу контролю на забезпечення необхідної точності обробки.

4. Висока швидкість розлітання відламків різального інструменту у випадку його поломки й великий об'єм стружки потребують спеціа-

льних рішень щодо компонування для забезпечення вимог техніки безпеки в зоні оброблення. Вирішенням цієї проблеми може бути типове компонування верстата (див. рис. 14.4) – надійне відведення стружки із зони різання завдяки вертикальному розташуванню стола, захищеність зони різання кожухом і дистанційний контроль процесу оброблення.

5. Виключення динамічних похибок у разі збереження заданої швидкості руху подачі. Це потребує додаткового зменшення довжини лінійних відрізків траєкторії, що зумовлює відповідне збільшення обсягу КП. Для високошвидкісного оброблення необхідно, щоб кути у місцях різкого змінення напрямку руху інструменту були скруглені, а переміщення підведення й відведення інструменту виконувалися за дотичною дугою.

6. Розвиток програмно-технічних засобів сполучення ЕОМ з пристроями ЧПК верстатів, чим забезпечується паралельне з обробленням завантаження КП великого обсягу в міру їх виконання (режим сегментованого завантаження).

14.2.1. Модернізація верстатного устаткування

Сьогодні на підприємствах аерокосмічної галузі найчастіше використовуються такі моделі фрезерних верстатів з ЧПК, як МА655, ФП7, ФП17 усіх модифікацій, поздовжньо-фрезерний п'ятикоординатний ВФ5Н, поздовжньо-фрезерний з рухомим порталом 2ФП241С та ін.

Верстатобудівне підприємство Савеловське ВАТ «САВМА» (колишня назва – ВО «Прогрес») виготовило понад 30 тис. високоточних верстатів з ЧПК для аерокосмічної промисловості.

Верстати, що знаходяться сьогодні на цих підприємствах, можуть бути реконструйовані для широкого використання технології високошвидкісного оброблення *HSC*.

Один модернізований фрезерний верстат за рахунок вищої якості обробки й нових технологічних можливостей може замінити два – чотири звичайні верстати тієї ж моделі.

Вертикально-фрезерний багатоопераційний верстат моделі ФП7/17ВС3 було створено шляхом модернізації верстата моделі ФП7, різних модифікацій якого для аерокосмічної галузі було випущено близько 15 тис. штук.

Верстат моделі ФП7/17ВС3 має підвищені параметри: частота обертання шпинделя – 12000 хв^{-1} ; швидкість робочих переміщень за координатами – 16000 мм/хв. ; збільшена до 45 кВт номінальна потужність шпинделя. Цей верстат з повною захищеністю зони різання має новий механізм заміни інструменту на 12 позицій, розмір його робочої зони становить $3000 \times 1600 \times 500 \text{ мм}$.

На верстаті встановлено швидкісні динамічні цифрові приводи змінного струму з інтерфейсом реального часу (*SERCOS-інтерфейс*). Верстат оснащено системою ЧПК моделі MTC200 класу *CNC/SPS*. Точність обробки становить 0,03 мм, шорсткість поверхні – менше R_a 0,8 мкм.

Модифікації ФП7BC2 і ФП17BC2 призначені для оброблення заготовок з кольорових сплавів, ФП7BC3 і ФП17BC3 – з важкооброблюваних матеріалів, зокрема титанових сплавів.

Підприємство «САВМА» готує до випуску новий п'ятикоординатний багатоопераційний верстат моделі МЦ-1 для оброблення деталей одинарної й подвійної кривизни, який має високу продуктивність.

Верстатне устаткування нового покоління дає можливість:

- збільшити продуктивність у 2 – 10 разів, суттєво підвищити точність обробки;

- зменшити шорсткість оброблюваної поверхні до R_a 0,3, відмовитися від дорогих чистових і довідних операцій оброблення.

Для здійснення адаптивного керування режимами різання верстата нового покоління оснащують датчиками сили різання й крутного моменту й спеціалізованою обчислювальною технікою. Адаптаційна система керує швидкістю подавання інструменту, розподіляє припуск, захищає верстат від перевантажень, визначає поломки інструменту, перериває цикл оброблення.

14.3. Комп'ютеризація процесів оброблення

Комп'ютеризація інженерних завдань – один із основних шляхів підвищення конкурентоспроможності продукції будь-якого машинобудівного підприємства незалежно від типу виробництва.

Ключовим моментом сучасного етапу виробництва є перехід від дискретного до електронного опису виробу (ЕОВ).

Основою ЕОВ є безпаперове подання інформаційної моделі виробу, що містить усі відомості про виріб із урахуванням міжнародних стандартів.

Основні компоненти ЕОВ:

- комплекс програмних засобів для автоматизованого проектування виробів *CAD* (*CAD – Computer Aided Design*);

- система автоматизації технологічної підготовки виробництва *CAM* (*CAM – Computer Aided Manufacturing*);

- система інженерного аналізу *CAE* (*CAE – Computer Aided Engineering*);

- система управління даними про виріб *PDM* (*PDM – Product Data Management*).

На підприємствах аерокосмічної галузі як базові засоби комп'ютерних інтегрованих технологій використовуються системи високого

рівня *Unigraphics, CATIA, CADD5-5, EUCLID* та ін.

До складу цих систем входять програми побудови математичної моделі поверхні створюваного виробу, розроблення внутрішнього компонування відсіків, агрегатів і ЛА загалом, ведення бази даних проекту, технологічної підготовки виробництва, планування й диспетчеризації робіт.

Конструювання деталей, заготовок, засобів технологічного оснащення на основі об'ємного моделювання, розроблення креслярської документації, підготовка КП для устаткування з ЧПК – усі ці завдання вирішують, застосовуючи цілу низку комп'ютерних інтегрованих *CAD/CAM-систем*.

Токарна обробка. За допомогою *CAM*-модуля комп'ютерної інтегрованої системи вирішують завдання з підготовки КП двокоординатного оброблення для таких видів і технологічних переходів точіння: чорнове й чистове, поздовжнє й поперечне точіння, підрізування торців, оброблення канавок і галтелей, розточування, нарізування різі різцем і виконання циклів з оброблення отворів.

Для кожної операції або кожного технологічного переходу є можливість керування такими параметрами, як глибина різання, напрямки й кути робочих і допоміжних переміщень, форма й геометрія заготовки, кількість і крок робочих і допоміжних ходів. Усі токарні операції або технологічні переходи визначають з урахуванням геометричних параметрів інструменту – головного й допоміжного кутів.

Фрезерна обробка. *CAM*-модуль забезпечує виконання таких видів і переходів фрезерування:

– контурне площинне оброблення з різними типами траєкторії підходу до контуру й відходу від нього й можливістю коригування за радіусом інструменту, оброблення порожнин різної глибини, свердління й інші види обробки отворів;

– чорнове, напівчистове або чистове оброблення паралельними робочими ходами вздовж заданого напрямку (крок між ходами може бути постійним або його обчислюють за критерієм якості обробки – висотою гребінців);

– багатокординатне об'ємне оброблення із застосуванням спеціальних програмних засобів для керування кутом між вектором інструменту й нормаллю до оброблюваної поверхні з урахуванням траєкторії переміщення інструменту.

Для комп'ютерного моделювання фрезерного оброблення особливо важливими є такі чинники, як траєкторії робочих і допоміжних переміщень, можливість коригувати за радіусом і довжиною різні типи інструментів, задавати форму й геометрію заготовки, виділяти зони

оброблення або межі обходу притискних елементів верстатних пристроїв.

Електроерозійна обробка. САМ-модуль дає можливість задавати різні типи контурної корекції й траєкторії робочих і допоміжних ходів електрода-інструмента по зовнішньому або внутрішньому контуру, що обробляється.

Чотирикоординатне електроерозійне оброблення дротяним електродом-інструментом моделюють по двох контурах деталі (верхньому й нижньому) або безпосередньо по лінійчатій поверхні, побудованій за цими контурами.

14.3.1. Етапи розроблення КП процесу оброблення

КП оброблення як сукупність команд мовою програмування, з точки зору технолога, це опис операційного ТП на мові пристрою ЧПК верстата.

Підсистема ЧПК, будучи одним із компонентів комп'ютерної системи, використовує необхідну інформацію з єдиної бази даних системи. Зовнішньою початковою інформацією для підсистеми ЧПК є геометрична модель оброблюваної деталі каркасного (рис. 14.5, а) або поверхневого (рис. 14.5, б) зображення.

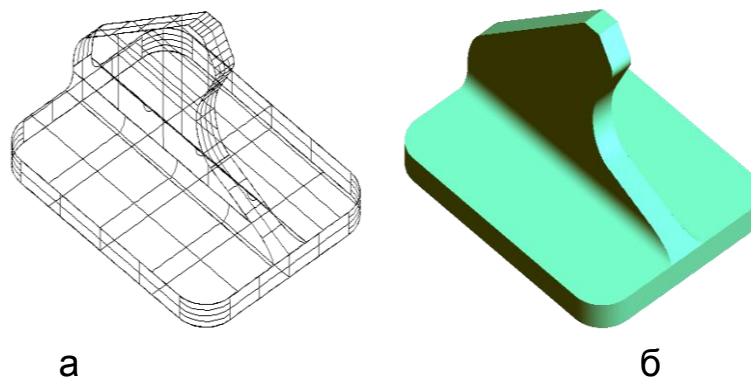


Рис. 14.5. Комп'ютерна геометрична модель деталі:
а – каркасна; б – поверхнева

З досвіду впровадження комп'ютерних інтегрованих систем в авіабудуванні відомо, що близько 80 % завдань з формування КП не потребує використання твердотільних моделей.

Практично всі завдання площинного контурного фрезерування, свердління й токарного оброблення можна вирішити на рівні каркасних і поверхневих моделей. При цьому обсяг інформації, необхідної для вирішення цих завдань, значно менший, ніж у разі твердотільного параметричного моделювання.

Етапи створення КП оброблення на базі комп'ютерних інтегрованих систем зображено на рис. 14.6.

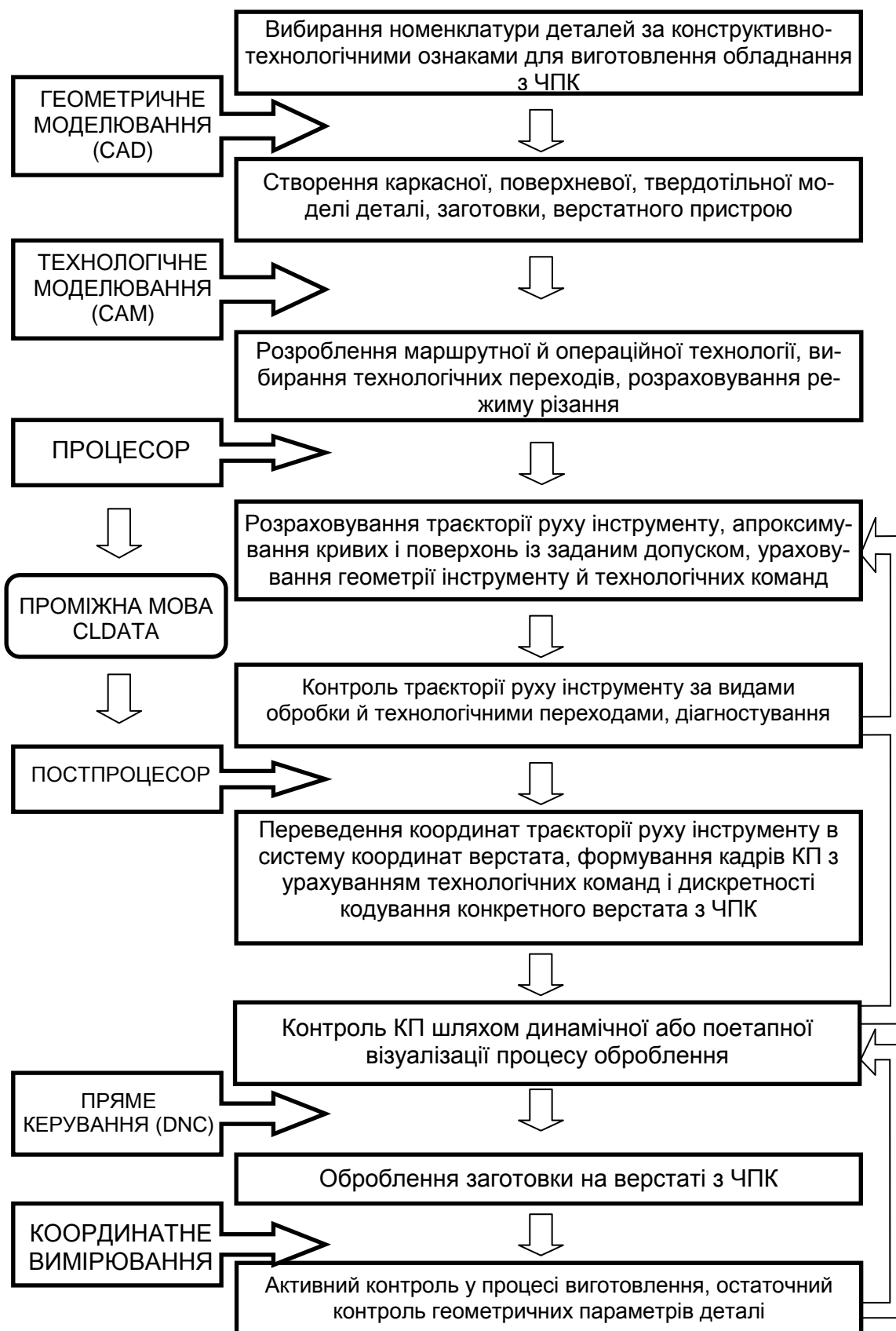


Рис. 14.6. Етапи створення КП оброблення на базі комп'ютерних інтегрованих систем

Маршрутний ТП містить послідовність технологічних операцій, що забезпечують необхідне оброблення деталі.

Залежно від того, яким устаткуванням здійснюється програмне оброблення, технологічна операція може бути токарною, фрезерною, зварювальною, контрольною тощо. Операція складається з послідовності технологічних переходів.

Перехід – це параметризований опис траєкторії руху інструменту, технологічних режимів оброблення – подачі, частоти обертання шпинделя й геометрії інструменту.

Поняття технологічного переходу можна узагальнити, якщо під обробленням розуміти виконання необхідних рухів незалежно від виду процесу. Тоді, наприклад, процес автоматичного вимірювання деталі вимірювальними головками також можна класифікувати як технологічний перехід.

Формування власне КП програми здійснюється у два етапи (див. рис. 14.6). На першому етапі оброблення початкової інформації реалізується процесором.

Процесор – програма первинної переробки інформації, що формує дані щодо оброблення незалежно від типу верстата.

Процесор виконує такий комплекс завдань із розрахунку траєкторії руху інструменту:

- зведення опису всіх заданих геометричних об'єктів до канонічної форми;
- знаходження точок і ліній перетину різних геометричних елементів;
- апроксимація різних кривих і поверхонь із заданим допуском; апроксимація або інтерполяція таблично заданих функцій;
- урахування геометричних параметрів інструмента під час побудови траєкторії руху.

Результатом роботи процесора є повністю розрахована траєкторія руху інструменту (рис. 14.7).

На другому етапі формування ПК перероблення інформації реалізується постпроцесором, який орієнтований, на відміну від процесора, на конкретну модель технологічного устаткування з ЧПК.

Постпроцесор – узгоджувальна програма, що враховує особливості системи ЧПК конкретного верстата й формує кадри КП мовою програмування в кодах *ISO*.

Постпроцесор виконує такі типові функції:

- переведення координат траєкторії руху інструменту в систему координат технологічного устаткування;
- визначення величин подачі робочих і допоміжних переміщень

за паспортними характеристиками подач конкретного верстата;

- формування й кодування підготовчих і допоміжних функцій, команд на координатні переміщення з урахуванням значення одиниці дискретності (ціни імпульсу) пристрою ЧПК;
- кодування значень подач і частоти обертання шпинделя;
- формування команд заміни інструменту, а також коригування його довжини й радіуса, вмикання й вимикання подачі МОР;
- виконання низки сервісних функцій (підрахування обсягу КП, часу оброблення деталі на верстаті й ін.).

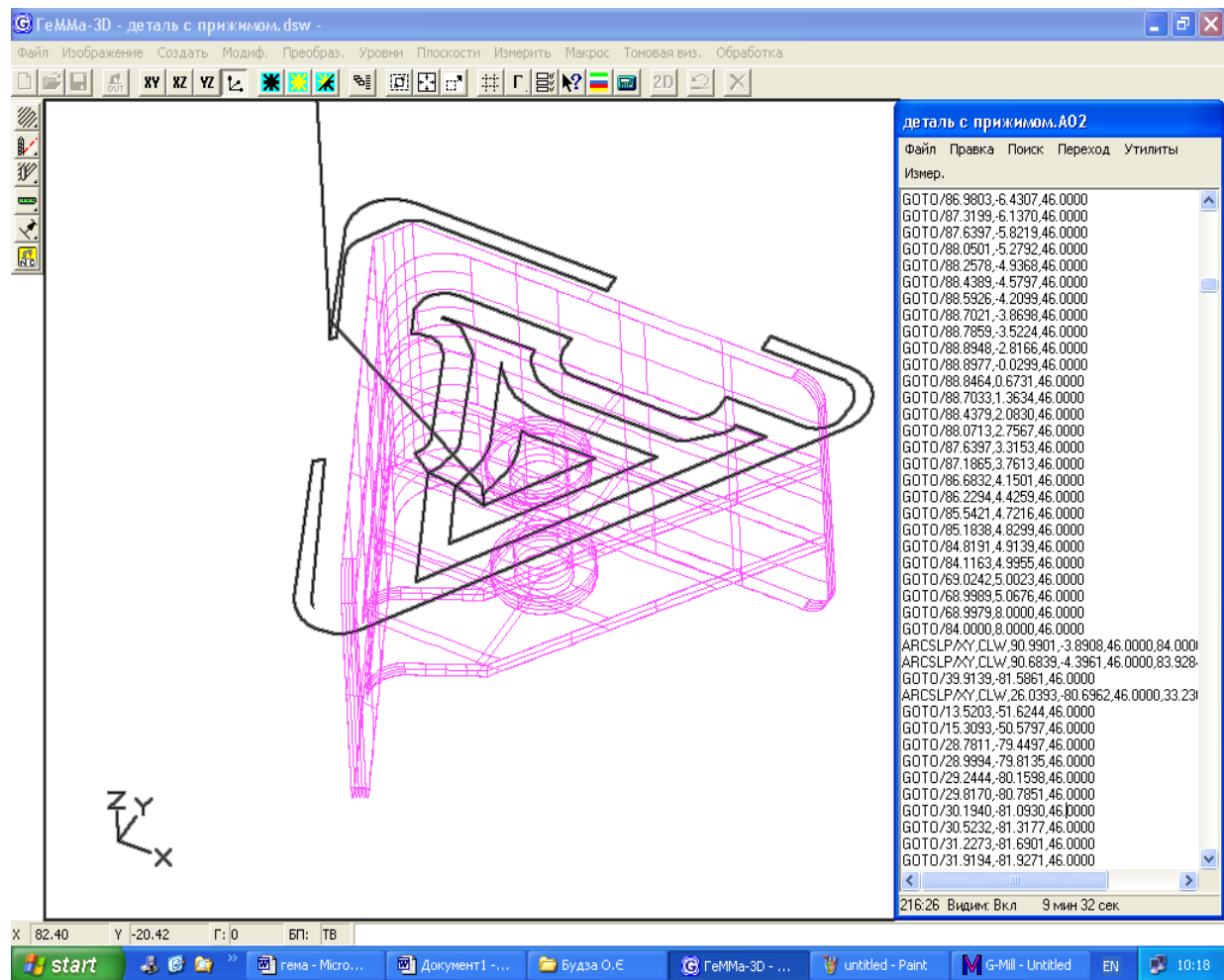


Рис. 14.7. Контроль траєкторії руху інструменту на етапі процесування

Формуючи команди на переміщення, постпроцесор урахує вид інтерполяції (лінійна, колова), спосіб задавання переміщення (в абсолютній системі, у приростах). Найважливіша функція постпроцесора – урахування обмежень технологічного устаткування з ЧПК, до яких належать межі переміщення виконавчих органів устаткування й змінення швидкостей подачі й частоти обертання шпинделя, максимально допус-

тимі швидкості й перепади швидкостей виконавчих органів устаткування, межі змінення радіуса дуги кола під час колової інтерполяції тощо.

Результатом урахування обмежень можуть бути автоматичне коригування постпроцесором величин і режимів подачі, змінення швидкості шпинделя й траєкторії руху інструменту, видача діагностичного повідомлення.

Траєкторія руху інструменту може бути змінена, наприклад, під час задавання переміщення на прискореній подачі більше ніж по одній координаті одночасно, що є недопустимим для більшості верстатів. У такій ситуації постпроцесор може організувати покоординатний рух у задану точку, зберігаючи незмінним значення прискореної подачі. Виклик того або іншого постпроцесора здійснюється автоматично на основі вказівки, яку дає технолог-програміст у тексті початкової програми.

Розширення можливостей технологічного устаткування з ЧПК, а також потреба в уніфікації структури даних зумовили створення за рекомендаціями ISO стандартної проміжної мови «процесор – постпроцесор». Цю форму зображення проміжних даних називають *CLDATA* (скорочення від *Cutter Location Data* – дані про положення інструменту).

14.3.2. Візуалізація послідовності процесу оброблення

Візуалізація послідовності процесу оброблення дає можливість виявити помилки, які можуть виникнути, зокрема, з вини постпроцесора CAD/CAM-системи.

Контроль КП здійснюється візуально на екрані комп'ютера шляхом динамічної або поетапної візуалізації послідовності процесу оброблення (рис. 14.8). При цьому перевірка КП на верстаті без заготовки або пробне оброблення заготовки не потрібне.

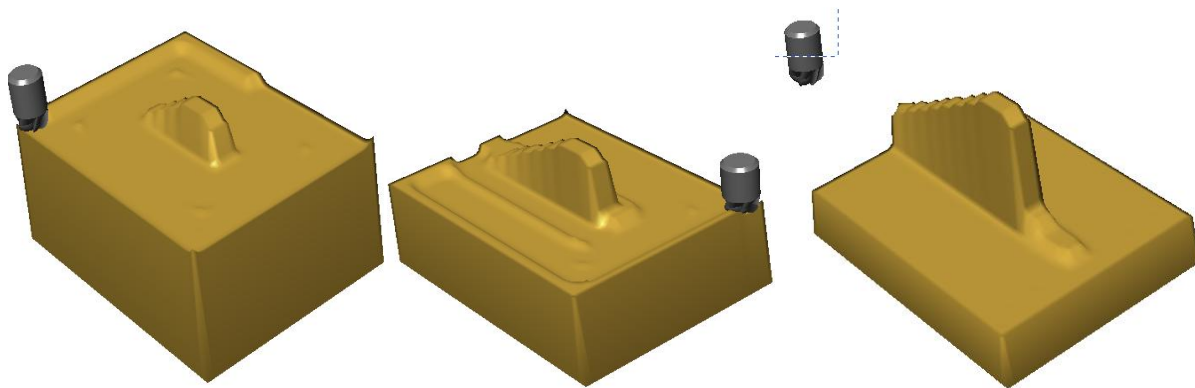


Рис. 14.8. Поетапна візуалізація процесу оброблення

Програма візуалізації процесу оброблення дає можливість:
– контролювати КП безперервно або по окремих кадрах з відо-

браженням у разі потреби траєкторії інструменту й виділенням різними кольорами зон оброблення;

- розраховувати розміри заготовки й час оброблення;
- змінювати ракурс і масштаб зображення, відображувати оброблювані поверхні.

Візуалізація процесу оброблення значно скорочує час для перевірки КП і підвищує її вірогідність.

14.3.3. Координатне вимірювання заготовок і деталей

Під координатним вимірюванням розуміють визначення геометричних параметрів об'єкта шляхом послідовного знаходження значень координат точок об'єкта в узятій системі базування й подальшого оброблення цієї інформації.

Координатне вимірювання заготовок і деталей в зоні оброблення проводять *вимірювальними головками* (ВГ). Використання ВГ на оброблювальних верстатах з ЧПК дає можливість визначати розміри без знімання деталі з верстата, тобто максимально зближувати операції контролю й оброблення (рис. 14.9).

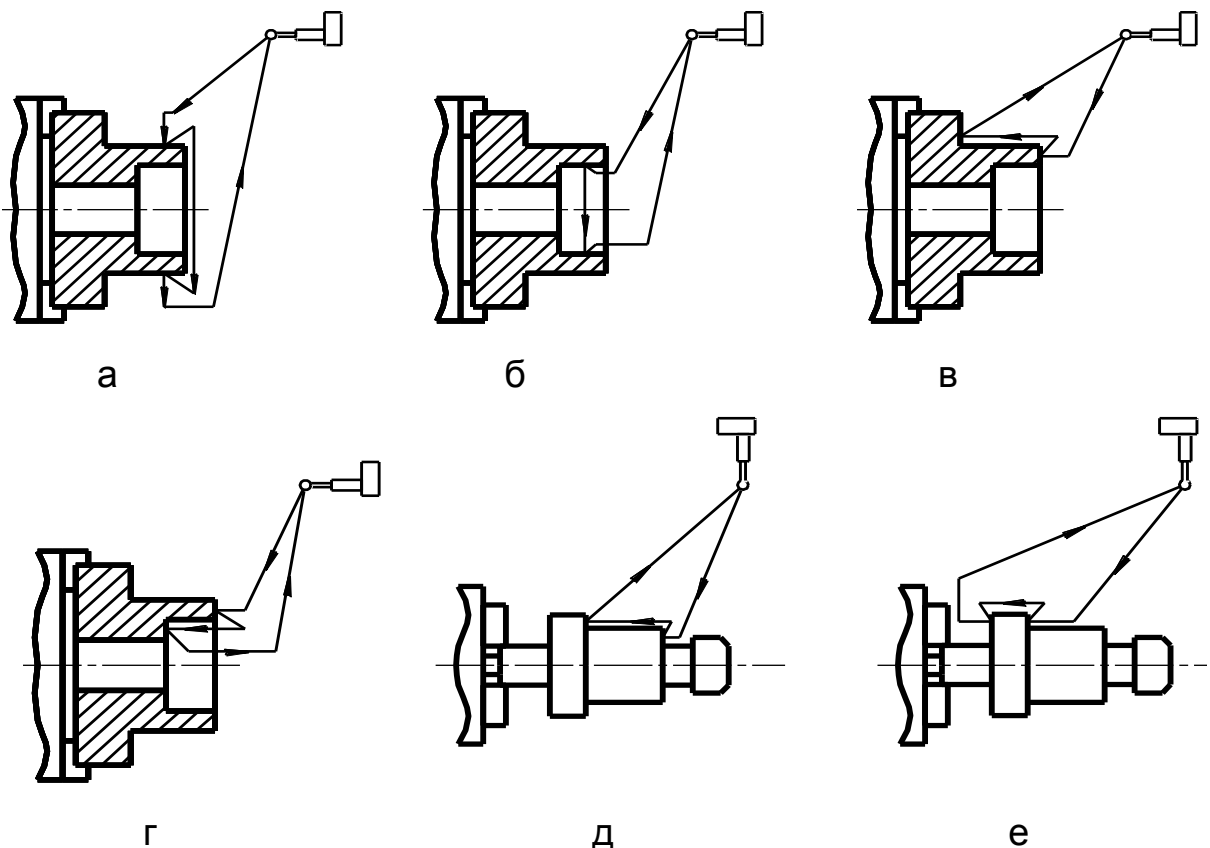


Рис. 14.9. Типові схеми застосування ВГ для вимірювання:
а, б – відповідно зовнішнього й внутрішнього діаметрів;
в, г, д – довжини обробленої поверхні; е – товщини фланця

Поштовхом до промислового освоєння координатного вимірювання на верстаті стало створення ВГ, що передають сигнали вимірів безконтактним шляхом (з допомогою радіоканалу, інфрачервоного випромінювання).

Наприклад, на токарному верстаті ВГ дає можливість перевірити точність установлення заготовки в патроні, а саме: знайти значення її радіального й торцевого биття; уточнити розподіл припуску по робочих ходах.

Вимірювання геометричних параметрів деталі дає можливість коригувати початкові координати під час налагоджування інструменту.

Схеми використання ВГ із застосуванням щупа на багатоопераційному верстаті з ЧПК зображено на рис. 14.10.

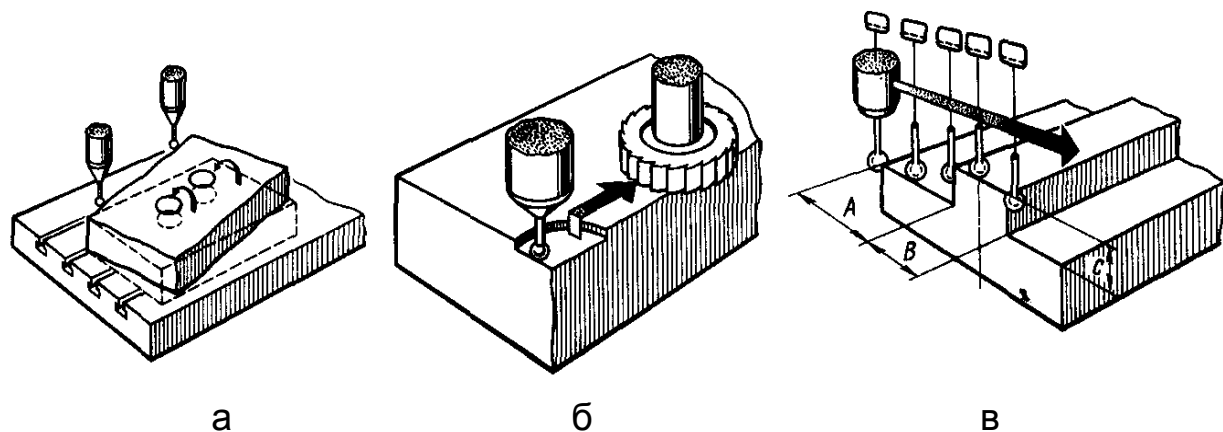


Рис. 14.10. Схеми застосування ВГ для вимірювання:
а – похибки установлення заготовки; б – величини припуску на чистове оброблення; в – розмірів деталі

Координатне вимірювання, яке здійснюється безпосередньо на верстаті, забезпечує високу оперативність під час контролю геометричних параметрів деталей, що виготовляються, і реалізації адаптивного керування точністю обробки.

Результати вимірювань статистично обробляють, щоб визначити тенденцію змінення величини систематичної складової похибки, а також виключити вплив випадкових відхилень. Результати вимірювань використовують також для того, щоб коригувати керуючі або вимірювальні програми.

Для остаточного контролю геометричних параметрів великогабаритних деталей та оснащення на підприємствах аерокосмічної галузі застосовуються *контрольно-вимірювальні машини* (КВМ), укомплектовані персональними ЕОМ для керування процесом контролю

й оброблення результатів вимірювань.

За можливостями прецизійних координатних вимірювань найбільш досконалою для підприємств галузі є КВМ мостового компонування (рис. 14.11).

Розмір вимірювального простору КВМ мостового компонування становить 8000×2500×1500 мм, систематична похибка вимірювання не перевищує ± 40 мкм.

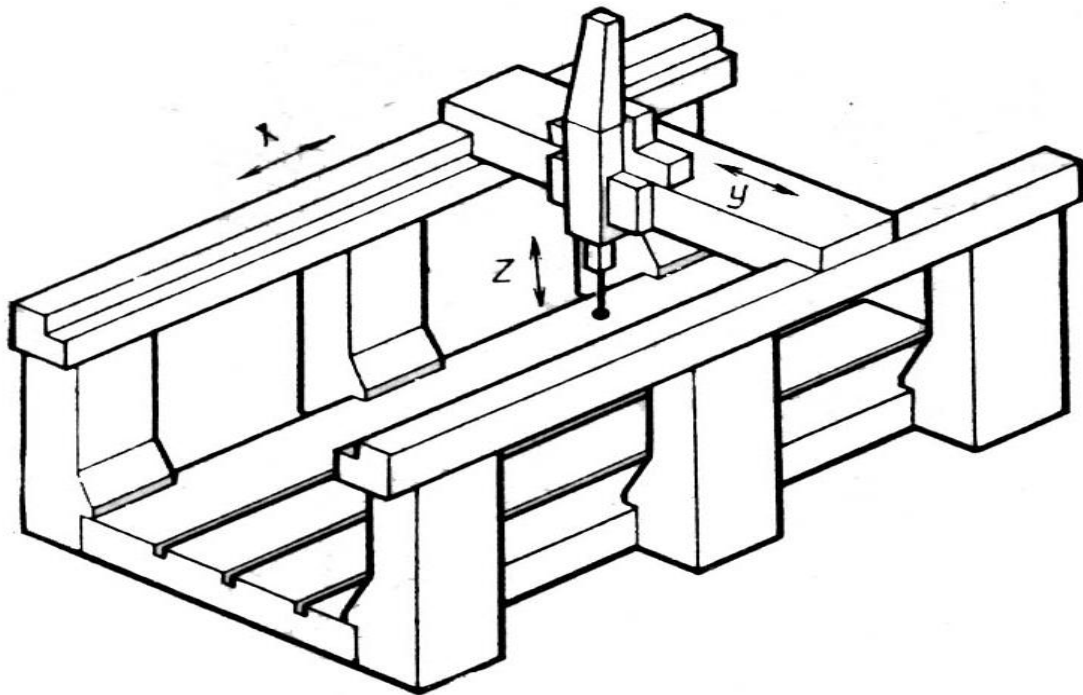


Рис. 14.11. КВМ мостового компонування

КВМ використовуються для вирішення типових вимірювальних завдань:

- контроль складної геометричної поверхні шляхом її порівняння з математичною моделлю;
- сканування перетинів поверхні для створення на їх базі математичної моделі поверхні;
- сканування складних геометричних поверхонь для створення КП оброблення на верстатах з ЧПК.

Завдяки КВМ значно спрощується метрологічна підготовка виробництва нових виробів, оскільки зникає потреба в створенні спеціального вимірювального й еталонного оснащення. Протокол результатів контролю, який видає КВМ, є офіційним документом. Оперативне й діалогове програмування дає можливість ефективно використовувати КВМ в одиничному й малосерійному виробництві.

Контрольні запитання

1. Назвіть напрями підвищення ефективності процесу оброблення з видаленням зайвого матеріалу.
2. Назвіть групи інструментальних швидкорізальних матеріалів підвищеної продуктивності.
3. Які групи інструментів із твердих сплавів застосовуються для оброблення високоміцних матеріалів?
4. Назвіть сфери використання мінералокераміки й надтвердих матеріалів та опишіть метод їх виготовлення.
5. У чому полягають переваги застосування інструментів з механічним кріпленням БРП?
6. Які елементи входять до схеми позначення розточувальних різців згідно з рекомендаціями *ISO*?
7. Які функції виконують MOTC і MOP у методах підвищення стійкості інструментів?
8. Опишіть механізм нанесення багат шарових зносостійких покриттів на робочі поверхні інструменту.
9. Що відбувається під час попереднього нагрівання матеріалу заготовки з важкооброблюваних матеріалів?
10. Наведіть схему процесу різання з попереднім пластичним деформуванням.
11. Перелічіть основні особливості компонування верстата для високошвидкісного оброблення (*HSC*).
12. Які технічні й технологічні проблеми виникають під час реалізації процесів високошвидкісного оброблення (*HSC*)?
13. Які нові технологічні можливості дає модернізація фрезерних верстатів з ЧПК?
14. Назвіть основні можливості інтегрованих комп'ютерних CAD/CAM-систем.
15. Які функції виконують процесор і постпроцесор під час створення КП оброблення?
16. Які типові координатні вимірювання виконуються з допомогою ВГ і КВМ?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вайсбург В.А. Автоматизация процессов подготовки авиационного производства на базе ЭВМ и оборудования с ЧПУ / В.А. Вайсбург, Б.А. Медведев, А.Н. Бакумский. – М. : Машиностроение, 1985. – 216 с.
2. Барвинок В.А. Основы технологии в производстве ЛА / В.А. Барвинок, П.Я. Пытаев, Е.П. Корнев. – М. : Машиностроение, 1995. – 398 с.
3. Белянин П.Н. Производство широкофюзеляжных самолетов / П.Н. Белянин. – М. : Машиностроение, 1979. – 360 с.
4. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р.И. Гжиров, П.П. Серебренецкий. – Л. : Машиностроение, 1990. – 588 с.
5. ГПС в авиастроении : учеб. пособие / В.С. Кривцов, С.Г. Васильченко, Ю.В. Дьяченко, В.Е. Зайцев. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 98 с.
6. Дерябин А.Л. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС / А.Л. Дерябин, М.А. Эстерзон. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.
7. Джур Е.А. Технология производства космических ракет : учебник / Е.А. Джур, С.И. Вдовин. – Днепропетровск : Изд-во ДГУ, 1992. – 184 с.
8. Кривцов В.С. Інженерні основи функціонування і загальна будова аерокосмічної техніки / В.С. Кривцов, Я.С. Карпов, М.М. Федотов. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т „Харк. авіац. ін-т”, 2002. – 486 с.
9. Дьяченко Ю.В. Использование контрольно-измерительных систем в технологической подготовке производства : учеб. пособие / Ю.В. Дьяченко, В.В. Коллеров. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 58 с.
10. Камалов В.С. Производство космических аппаратов / В.С. Камалов. – М. : Машиностроение, 1982. – 280 с.
11. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства / Г.А. Кривов. – К. : КВІЦ, 1997. – 459 с.
12. Компьютерные интегрированные технологии авиационного производства : учеб. пособие: в 6 ч. / В.С. Кривцов, Ю.В. Дьяченко, В.Е. Зайцев и др. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – Ч. 3 : Автоматизирование технологической документации. – 71 с.
13. Лещенко В.А. Станки с ЧПУ (специализированные) / В.А. Лещенко, Н.А. Богданов. – М. : Машиностроение, 1988. – 568 с.

14. Маталин А.А. Технология механической обработки / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1977. – 464 с.
15. Кушнарченко С.Г. Методы и оснащение для упрочнения элементов самолетных конструкций ППД / С.Г. Кушнарченко, В.П. Цыганов, В.Т. Сикульский. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 55 с.
16. Обработка металлов резанием : справочник / под общ. ред. А.А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
17. Джур Є.О. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці : підручник / Є.О. Джур, Л.Д. Кучма. – К. : Вища освіта, 2003. – 339 с.
18. Боборыкин Ю.А. Программирование обработки на станках с ЧПУ : учеб. пособие / Ю.А. Боборыкин, Ю.В. Дьяченко, А.В. Пьянков. – Х. : Гос. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2000. – 100 с.
19. Дьяченко Ю.В. Проектирование постпроцессоров для оборудования ГПС : учеб. пособие / Ю.В. Дьяченко, В.Е. Зайцев, А.В. Пьянков. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2001. – 100 с.
20. Пуховский Б.С. Обработка высокопрочных материалов / Б.С. Пуховский, А.П. Гавриш, Е.Ю. Грищенко. – К. : Техніка, 1983. – 134 с.
21. Руденко П.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов. – К. : Вища шк., 1991. – 247 с.
22. Современные технологии авиастроения / Под ред. А.Г. Братухина. – М. : Машиностроение, 1999. – 832 с.
23. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.
24. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
25. Степанов А.А. Обработка резанием композиционных полимерных материалов / А.А. Степанов. – Л. : Машиностроение, 1987. – 176 с.
26. Строганов Г.Б. Технологическое обеспечение авиационного производства / Г.Б. Строганов, Ю.Г. Роик. – М. : Машиностроение, 1991. – 368 с.
27. Дьяченко Ю.В. Технология изготовления лопастей вертолетов : учеб. пособие / Ю.В. Дьяченко, В.В. Коллеров, А.Н. Мещеряков. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1992. – 54 с.
28. Технология обработки конструкционных материалов / под ред. П.Г. Петрухи. – М. : Высш. шк., 1991. – 512 с.
29. Технология самолетостроения / под ред. А.Л. Абибова. – М. :

Машиностроение, 1982. – 551 с.

30. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов : учеб. пособие / В.Е. Гайдачук, В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин, Г.А. Морозов. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 322 с.

31. Технологія виробництва деталей літальних апаратів : підручник / І.А. Грищенко, К.А. Животовська, В.М. Король та ін.; за ред. Ю.М. Терещенко. – К. : Вища освіта, 2004. – 448 с.

32. Богуслаев В.А. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / В.А. Богуслаев, В.И. Цыпак, В.К. Сценко. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. – 336 с.

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

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

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

36. ДСТУ 2298-93. Верстати металорізальні. Терміни та визначення. – Введ. 01.01.95. – К. : Держстандарт України, 1994. – 32 с.

37. ДСТУ 2391-94. Система технологічної документації. Терміни та визначення. – Введ. 22.10.94. – К. : Держстандарт України, 1994. – 47 с.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛА З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ	4
1.1. Конструктивно-технологічні особливості ЛА як об'єкта виробництва.....	4
1.1.1. Типові класи деталей планера ЛА, що оброблюються з видаленням зайвого матеріалу	6
1.1.2. Напівфабрикати й заготовки монолітних деталей ЛА.....	7
1.2. Класифікація заготівельно-оброблювальних процесів	10
1.3. Структура ТП обробки різанням	13
1.3.1. Елементи технологічного переходу.....	16
1.4. Технологічна характеристика типів виробництва	18
1.5. Точність процесів розмірного оброблення заготовок	21
1.5.1. Види похибок оброблення з видаленням припуску.....	21
1.6. Операційний припуск і методика розрахунку розмірів заготовки	23
1.6.1. Методика розрахунку розмірів заготовки	26
1.7. Режим різання й нормування операцій оброблення з видаленням при- пуску	27
1.7.1. Режим різання операцій оброблення з видаленням припуску	27
1.7.2. Нормування операцій оброблення з видаленням припуску	28
2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ	32
2.1. Геометричні параметри процесу оброблення різанням	32
2.2. Кінематичні елементи оброблення різанням	34
2.3. Процес стружкоутворення	36
2.4. Явище наклепу під час різання	39
2.5. Спрацювання й стійкість інструменту.....	41
3. БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК І ВЕРСТАТНІ ПРИСТРОЇ	44
3.1. Базування заготовок під час оброблення	44
3.1.1. Комплект баз призматичної й циліндричної заготовок	44
3.2. Класифікація верстатних пристроїв	46
3.2.1. Установлювальні елементи пристроїв	48
3.2.2. Методика проектування верстатних пристроїв	49
3.3. Система універсально-збірних пристроїв	50
4. ПІДГОТОВЧІ ОПЕРАЦІЇ ОБРОБЛЕННЯ	53
4.1. Правлення монолітних заготовок	53
4.2. Обдирання прутків	53

4.3. Розрізання прутків, валів, труб	54
4.3.1. Розрізання заготовок абразивними кругами	55
4.4. Центрування заготовок.....	56
5. ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ТОЧІННЯМ	57
5.1. Призначення й основні види точіння	57
5.1.1. Способи токарного оброблення.....	57
5.2. Типи токарних різців	60
5.2.1. Геометричні параметри токарного різця.....	60
5.3. Елементи контуру токарного оброблення.....	64
5.3.1. Зони токарного оброблення	65
5.3.2. Послідовність переходів токарного оброблення	66
5.4. Характеристики режиму різання під час точіння	69
5.4.1. Послідовність вибору режиму різання під час точіння.....	70
6. ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ СВЕРДЛІННЯМ, ЗЕНКЕРУВАННЯМ І РОЗГОРТАННЯМ.....	71
6.1. Призначення й основні типи свердел.....	72
6.1.1. Конструкції й геометрія спіральних свердел.....	72
6.1.2. Конструкції й геометрія спеціальних свердел	75
6.1.3. Спрацювання свердел.....	79
6.1.4. Вибір режиму різання під час свердлення	80
6.2. Зенкерування.....	82
6.2.1. Конструкції й геометрія зенкерів.....	82
6.3. Розгортання	85
6.4. Комбіновані інструменти.....	87
7. ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ФРЕЗЕРУВАННЯМ	89
7.1. Призначення й основні види фрезерування	89
7.2. Різновиди фрез та їх геометрія.....	90
7.2.1. Типи й зони фрезерного оброблення.....	92
7.2.2. Схеми формування траєкторії фрези.....	95
7.2.3. Схеми різання під час фрезерування.....	97
7.2.4. Спрацювання й стійкість фрез	99
7.3. Режим різання під час фрезерування	100
7.3.1. Методика призначення режиму різання	102
8. АБРАЗИВНІ МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ	104
8.1. Шліфування й абразивний інструмент	104
8.2. Види шліфування	108
8.2.1. Стрічкове шліфування	112

8.3. Процес різання під час шліфування	113
8.3.1. Спрацювання й стійкість абразивних інструментів	115
8.3.2. Вибір інструменту й призначення режиму різання	117
8.4. Методи абразивного оброблення	118
8.4.1. Хонінгування	119
8.4.2. Суперфінішування	120
8.4.3. Полірування	121
9. ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ	124
9.1. Механізм руйнування металу заготовки	124
9.2. Технологічні схеми ЕЕО	126
9.3. Технологічні показники ЕЕО	128
10. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ	132
10.1. Загальні відомості про процес електрохімічної обробки металів.	132
10.2. Основні схеми процесів ЕХО	133
10.3. Продуктивність процесів ЕХО	137
11. ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	139
11.1. Особливості процесу оброблення різанням КМ	140
11.1.1. Класифікація конструкційних пластмас	140
11.1.2. Особливості процесу різання КМ	141
11.1.3. Розрізання листових заготовок із КМ	142
11.1.4. Токарне оброблення виробів із КМ	143
11.1.5. Оброблення отворів у заготовках із КМ	144
11.1.6. Оброблення деталей із КМ фрезеруванням	147
11.1.7. Оброблення деталей із металополімерних КМ	149
11.2. Видалення стружки й пилу із зони різання КМ	150
12. ЗМІЦНЮВАЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ	152
12.1. Вплив поверхневого зміцнення на ресурс деталей ЛА	152
12.2. Ударні способи поверхневого зміцнення	153
12.2.1. Технологічні особливості віброзміцнювання	154
12.2.2. Пневмодинамічний спосіб зміцнювання	156
12.2.3. Барабанно-ударний спосіб зміцнювання	158
12.2.4. Віброударний спосіб зміцнювання довгомірних деталей	159
12.2.5. Дробоструминний спосіб зміцнювання	160
12.3. Статичні способи поверхневого зміцнювання	161
12.3.1. Обкочування роликowymi й кульковими обкатниками	161
12.3.2. Дорнування, обтискання кромки	163

13. ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАНЕРА ЛА	165
13.1. Компонування фрезерних верстатів з ЧПК.....	166
13.1.1. Вертикально-фрезерні верстати з ЧПК.....	167
13.1.2. Портально-фрезерні верстати з ЧПК	168
13.1.3. Розкрійно-фрезерні верстати з ЧПК.....	169
13.1.4. Особливості застосування кінцевих фрез	171
13.1.5. Особливості процесів оброблення на багатоцільових верстатах	174
13.2. Виготовлення характерних деталей планера ЛА на трикоординатних фрезерних верстатах.....	178
13.2.1. Оброблення пресованих стрингерних панелей.....	178
13.2.2. Виготовлення рейок механізації крила.....	180
13.2.3. Оброблення великогабаритних деталей силового каркаса	181
13.2.4. Оброблення петльових шомпольних з'єднань	182
13.3. Виготовлення характерних деталей планера ЛА на п'ятикоординатних фрезерних верстатах.....	183
13.3.1. Особливості багатокоординатного фрезерування.....	183
13.3.2. Оброблення деталей каркаса фюзеляжу	185
13.3.3. Оброблення деталей силового набору крила	186
13.3.4. Оброблення стільникового заповнювача	187
13.4. Виготовлення характерних деталей лопаті вертольота	189
13.4.1. Особливості деталей лопаті вертольота	189
13.4.2. Виготовлення наконечника лопаті	190
13.4.3. Виготовлення алюмінієвого пресованого лонжерона	191
13.4.4. Виготовлення сталевого трубчастого лонжерона	192
14. ОСНОВНІ НАПРЯМИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ОБРОБЛЕННЯ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ	195
14.1. Удосконалення інструментальних матеріалів	195
14.1.1. Удосконалення конструкції інструментів	197
14.1.2. Методи підвищення стійкості інструментів	200
14.2. Високошвидкісне оброблення різанням	202
14.2.1. Модернізація верстатного устаткування	205
14.3. Комп'ютеризація процесів оброблення	206
14.3.1. Етапи розроблення КП процесу оброблення	208
14.3.2. Візуалізація послідовності процесу оброблення	212
14.3.3. Координатне вимірювання заготовок і деталей	213
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	217

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Кривцов Володимир Станіславович
Сікульський Валерій Терентійович
Павленко Віталій Миколайович
Воронько Віталій Володимирович
Д'яченко Юрій Веніамінович
Шипуль Ольга Володимирівна

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ

Редактор Т. О. Іващенко

Зв. план, 2010

Підписано до друку 23.09.2010

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 12,4. Обл.-вид. арк. 14,0. Наклад 500 прим. Замовлення

337. Ціна вільна

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