

**ТЕХНОЛОГІЯ, УСТАТКУВАННЯ І ОСНАЩЕННЯ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ
АПАРАТІВ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ**

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

**ТЕХНОЛОГІЯ, УСТАТКУВАННЯ І ОСНАЩЕННЯ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ
АПАРАТІВ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ**

Підручник

Харків «ХАІ» 2024

УДК 629.7.023-2.002(075.8)

Т38

Колектив авторів:

Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський, І. О. Воронько, О. К. Горлов,
К. В. Майорова, С. Ю. Миронова, О. В. Шипуль

Рецензенти: д-р техн. наук О. В. Андрєєв,
д-р техн. наук, проф. С. І. Планковський

Технологія, устаткування і оснащення для виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску [Електронний ресурс] : підручник / Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський, І. О. Воронько, О. К. Горлов, К. В. Майорова, С. Ю. Миронова, О. В. Шипуль. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2024. – 177 с.

Розглянуто сучасні методи координатних вимірювань в авіа- та ракетобудуванні за допомогою стаціонарних та мобільних координатно-вимірювальних машин, у тому числі лазерним трекером. Подано компонування багатоопераційних верстатів з ЧПК і пристроїв автоматичної зміни інструменту. Проаналізовано проблеми видалення та технологічні методи дроблення стружки, технологічні варіанти виробництва монолітних панелей. Систематизовано основні напрямки інтенсифікації процесів оброблення в авіа- та ракетобудуванні з видаленням припуску, у тому числі комп'ютерні інтегровані технології виробництва, метод високошвидкісного фрезерування, позиціонування панелей під час виготовлення та складання.

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

Іл. 167. Табл. 9. Бібліогр.: 26 назв

УДК 629.7.023-2.002(075.8)

© Колектив авторів, 2024

© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2024

ВСТУП

Одним із найбільш значущих чинників технічного прогресу у виробництві сучасної авіаційної та ракетно-космічної техніки, як і в інших галузях машинобудування, є удосконалення технології виробництва.

Технологічність як сукупність властивостей конструкції виробу, що дає змогу витрати праці, засобів, матеріалів і часу при виробництві та експлуатації авіаційної та ракетно-космічної техніки, є одним із найважливіших показників якості.

Розвиток виробництва широкофюзеляжних літаків в останні роки пов'язаний з вирішенням завдань високої технологічності великогабаритних силових деталей планера, які виконуються монолітними.

Виготовлення взаємозамінних виробів і відповідність їх вимогам технічної документації є можливими при високому рівні метрологічного забезпечення виробництва та здійсненні відповідного технічного контролю. З усіх видів контролю найбільш інформативним і об'єктивним є контроль з використанням засобів вимірювальної техніки.

Для остаточного контролю геометричних параметрів великогабаритних деталей та оснастки на провідних підприємствах аерокосмічної галузі застосовують контроль-вимірювальні машини, лазерні трекари, що укомплектовані комп'ютерами, для керування процесом контролю й оброблення результатів вимірювань.

Гнучкі й автоматизовані системи замінюють жорсткі пристрої протягом усього процесу складання літака, наприклад при виготовленні секцій фюзеляжу з панелей, базування секцій для складання фюзеляжу та стикування крила із центропланом. Застосування переналагоджуваної технологічної оснастки є ефективним при обробленні на п'ятикоординатних верстатах із ЧПК листових деталей, які призначено для створення складально-монолітних панелей крила й фюзеляжу.

Наголошено на тенденції зростання обсягу механічного оброблення в міру розширення можливості використання в конструкції сучасних літальних апаратів монолітних деталей і вузлів складних просторових форм, 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 авіаційної та ракетно-космічної техніки.

1. СУЧАСНІ МЕТОДИ КООРДИНАТНИХ ВИМІРЮВАНЬ В АВІА- ТА РАКЕТОБУДУВАННІ

1.1. Геометричні параметри деталей

Точність геометричних параметрів деталей характеризується не тільки точністю розмірів її елементів, але й точністю форми та взаємного розташування поверхонь.

При аналізі точності геометричних параметрів деталей оперують такими поняттями:

– *номінальна поверхня*, розміри та форма якої відповідають заданим номінальним розмірам і номінальній формі;

– *профіль* – лінія перетинання поверхні з площиною або із заданою поверхнею;

– *прилегла поверхня*, яка має форму номінальної поверхні, що є дотичною до реальної поверхні та розташована поза матеріалом деталі так, щоб відхилення від неї найбільш віддаленої точки реальної поверхні в межах нормованої ділянки мало мінімальне значення;






– *база* – елемент деталі або поєднання елементів, щодо яких задають допуск розташування елемента, що розглядається, а також визначають відповідні відхилення.

1.1.1. Відхилення й допуски форми

Відхиленням форми EF називається відхилення форми реального елемента від номінальної форми, що оцінюється найбільшою відстанню від точок реального елемента по нормалі до прилеглого елемента. Нерівності, що належать до шорсткості поверхні, до відхилення форми не входять. Допуском форми TF називається найбільш допустиме значення відхилення форми. Види допусків форми, їх позначення та зображення на кресленнях наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Допуски форми

Вид допуску та його позначення	Зображення на кресленні
Допуск циліндричності TFZ	
Допуск круглості TFK	
Допуск профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні TFP	
Допуск площинності TFE	
Допуск лінійності TFL	

Вибір допусків залежить від конструктивних і технологічних вимог і, крім того, пов'язаний з допуском розміру. Жодне з відхилень форми не може перевищувати допуску розміру.

1.1.2. Відхилення й допуски розташування поверхонь

Відхиленням розташування ЕР називається відхилення реального розташування певного елемента від його номінального розташування. Під номінальним розуміють розташування, яке визначається номінальними лінійними й кутовими розмірами на кресленні виробу. Допуском розташування ТР називається межа, що обмежує допустиме значення відхилення розташування поверхонь. Види допусків розташування, їх позначення й зображення на кресленнях наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Допуски розташування

Вид та зображення допусків розташування			
На площині			
Паралельність ТРА	//		
Перпендикулярність ТРР	⊥		
Нахил ТРН	∠		
Симетричність ТРС	≡		
На циліндрі			
Паралельність ТРА	//	Паралельність осей ТРА	//
Перпендикулярність ТРР	⊥	Перекіс осей ТРАу	//
Нахил ТРН	∠	Перпендикулярність ТРР	⊥
Симетричність ТРС	≡	Нахил ТРН	∠
Позиційність ТРР	⊕	Співвісність ТРС	⊙

На рис. 1.1 показано комп'ютерну модель деталі з геометричними розмірами та допусками розташування.

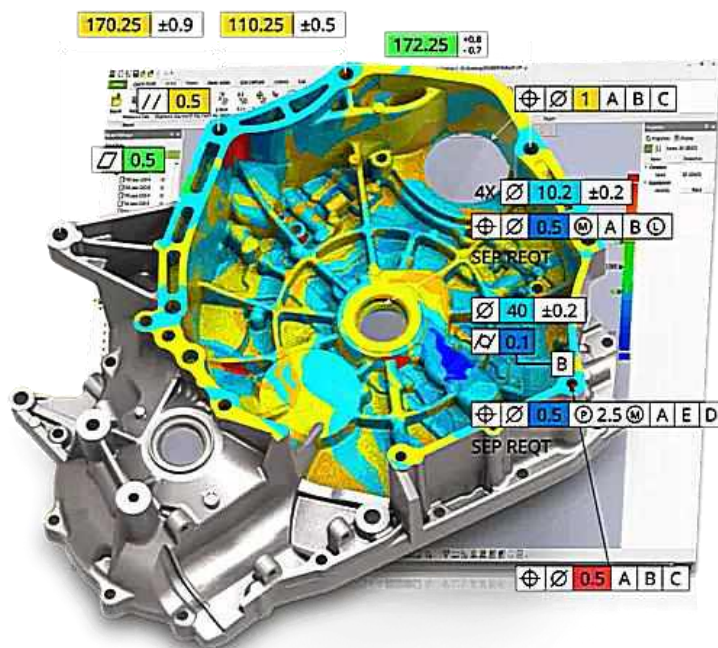


Рис. 1.1. Комп'ютерна модель деталі з геометричними розмірами та допусками розташування

Сумарним відхиленням форми й розташування поверхонь ЕС називається відхилення, що є результатом спільного виявлення відхилення форми та відхилення розташування розглянутої поверхні або розглянутого профілю відносно баз. Види сумарних допусків форми й розташування, їх позначення та зображення на кресленнях наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3
Сумарні допуски форми та розташування

Вид допуску та його позначення	Зображення на кресленні
Допуск торцевого биття TCA	
Допуск повного торцевого биття TCTA	
Допуск радіального биття TCR	
Допуск повного радіального биття TCTR	
Допуск биття в заданому напрямку TCD	
Допуск форми заданого профілю TCL	
Допуск форми заданої поверхні TCE	

Поле сумарного допуску форми та розташування ТС – це область у просторі або на заданій поверхні, всередині якої мають знаходитися всі точки реальної поверхні або реального профілю в межах нормованої ділянки. Це поле має задане номінальне положення відносно баз.

1.2. Координатне вимірювання заготовок і деталей

Координатне вимірювання – це процедура, яка визначає координати окремих точок поверхонь об'єкта геометричного контролю в прийнятій системі координат з наступним математичним обробленням для визначення лінійних і кутових розмірів, відхилень форми та розташування.

Основною процедурою при всіх вимірюваннях, що здійснюються за допомогою координатно-вимірювальних машин (КВМ), є вимірювання точки шляхом торкання наконечника вимірювальної головки (ВГ) поверхні деталі, що вимірюється.

1.2.1. Основні терміни в галузі координатних вимірювань

Геометрія деталі – сукупність геометричних елементів, що обмежують деталь і характеризуються розмірами, формою та розташуванням.

Математичне базування – процедура, яка полягає в розрахунку розташування системи координат деталі (СКД) за виміряними в системі координат КВМ (СКМ) точками базових елементів деталі до подальшої трансформації координат точок інших елементів деталі з СКМ у СКД.

Номінальна геометрія деталі – геометрія, задана кресленням або іншими технічними документами, тобто утворена поверхнями (геометричними елементами), що мають номінальні розміри, форму та розташування.

Реальна геометрія деталі – геометрія, утворена реальними поверхнями (геометричними елементами).

СКД – система координат, утворена базами деталі. У тих випадках, коли розміри та розташування окремих елементів деталей задані відносно різних баз, для однієї деталі може бути кілька систем координат деталі.

СКМ – система координат, утворена напрямними координатних переміщень і вимірювальними системами КВМ.

1.2.2. Координатне вимірювання на верстатах із ЧПК

Поштовхом до промислового освоєння координатного вимірювання безпосередньо на верстаті із ЧПК стало створення ВГ, що передають сигнали вимірів безконтактним шляхом за допомогою інфрачервоного випромінювання. Використання ВГ на обробних верстатах із ЧПК дає змогу визначати розміри без знімання деталі з верстата, тобто максимально зближувати операції контролю й оброблення (рис. 1.2).

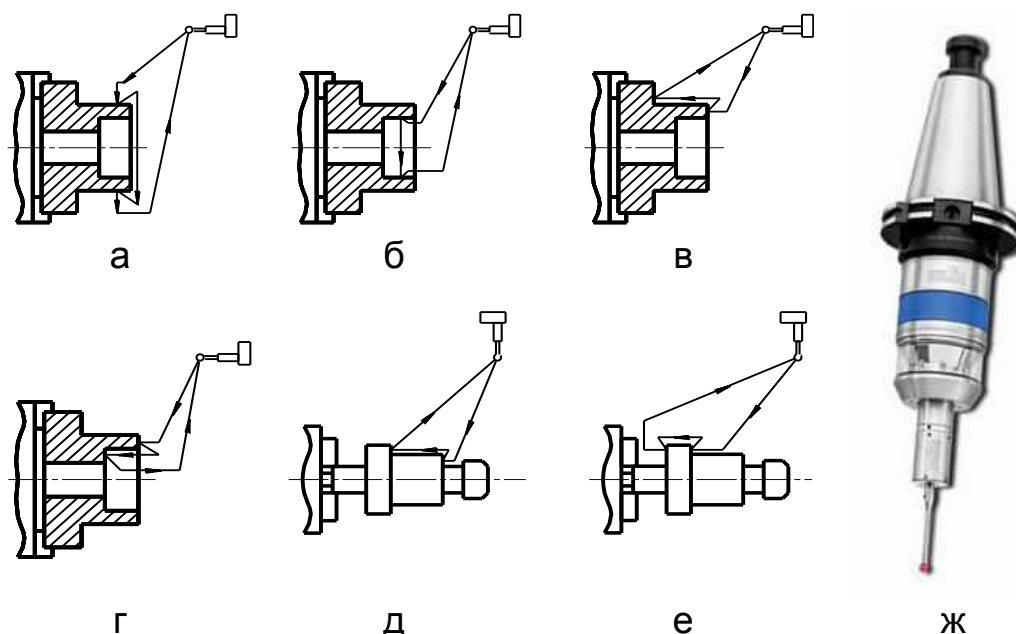


Рис. 1.2. Типові схеми застосування ВГ для вимірювання: а, б – залежно від зовнішнього й внутрішнього діаметрів; в, г, д – довжини обробленої поверхні; е – товщини фланця; ж – загальний вигляд щупа в інструментальній оправці

Схеми використання ВГ із застосуванням щупа на багатоопераційному верстаті із ЧПК зображено на рис. 1.3.

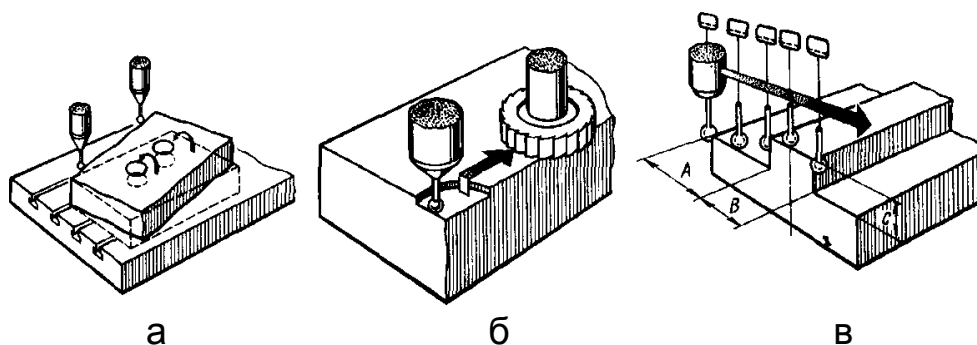


Рис. 1.3. Схеми застосування ВГ для вимірювання: а – похибки установлення заготовки; б – величини припуску; в – розмірів деталі

Координатне вимірювання, яке здійснюється безпосередньо на верстаті, забезпечує високу оперативність під час контролю геометричних параметрів деталей, що виготовляються, і реалізації адаптивного керування точністю оброблення.

Результати вимірювань статистично обробляють, щоб визначити тенденцію зміни величини систематичної складової похибки, а також виключити вплив випадкових відхилень. Результати вимірювань використовують також для того, щоб коригувати керувальні або вимірювальні програми.

1.3. Компонування стаціонарних КВМ

Ефективність застосування КВМ залежить не тільки від її функціональних можливостей, але й від правильності вибору компоновання і моделі КВМ для конкретного виробництва. Для нормальної експлуатації прецизійних КВМ необхідно мати лабораторні термостатні та знепилені приміщення. При виборі КВМ необхідно вивчити креслення намічених до контролю деталей. Аналізують найбільші розміри, конфігурацію поверхонь, найбільш складні метрологічні задачі, визначають тип виробництва. Критерії вибору моделі КВМ наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Критерії вибору моделі стаціонарних КВМ

Вибір моделі стаціонарних КВМ	
Критерії вибору	Характеристика КВМ
Максимальні розміри	Граничні значення координатних переміщень
Метрологічні завдання	Тип ВГ; кількість, розміри та форма вимірювальних наконечників і склад програмного забезпечення
Геометрична точність	Допустимі похибки КВМ та умови її експлуатації
Тип виробництва	Рівень автоматизації КВМ

За конфігурацією деталей вибирають найбільш відповідне компоновання КВМ. Компонування значною мірою визначає характеристики КВМ і вимоги до конструкції та параметрів основних вузлів.

У свою чергу компоновання залежить від габаритних розмірів і маси вимірюваних деталей; розташування вимірюваних поверхонь; необхідної кількості координатних переміщень для реалізації оптимального співвідношення точності та продуктивності процесу вимірювання.

Важливим показником компоновання КВМ є напрям переміщення вузла, що несе ВГ. За цією ознакою компоновання поділяють на вертикальне й горизонтальне.

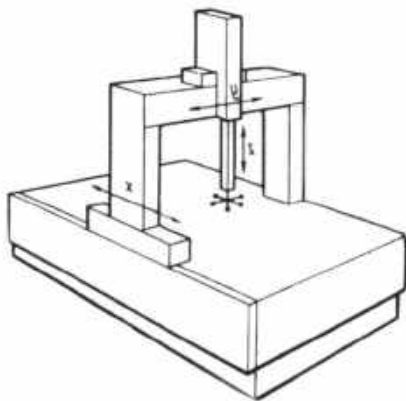
КВМ вертикального компоновання має велику жорсткість, більш високу точність, менш чутливі до зміни маси ВГ. Вони забезпечують досить хороший доступ до вимірюваних елементів, розташованих по всій поверхні деталі. Вимірний простір КВМ вертикального компоновання обмежується стояками й рухливими вузлами з однієї, двох або трьох сторін.

Вертикальне компоновання КВМ відносно обладнання базових вузлів поділяють на порталне й мостове.

1.3.1. Портальне компонування КВМ

Портальні компонування є найбільш поширеними і мають низку різних варіантів. Характерною особливістю цих компонувань є П-подібний портал. За горизонтальною віссю порталу переміщується каретка, яка несе пересувний уздовж вертикальної осі піноль з ВГ (рис. 1.4, а).

Портальні компонування мають високу жорсткість основних вузлів, точність, хороші динамічні властивості, досить відкритий простір для встановлення деталі та її оглядовість в процесі вимірювання. Для КВМ портального компонування з рухомих порталом складно збільшити діапазон переміщення по вертикальній осі. На рис. 1.4, б показано КВМ портального компонування моделі Contura G2 компанії ZEISS (Німеччина).



а

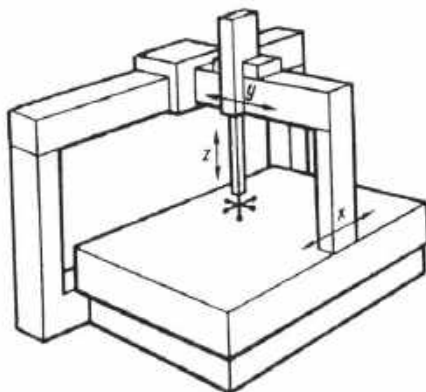


б

Рис. 1.4. Портальне компонування КВМ

При збільшенні висоти стояків порталу зменшується його жорсткість і збільшується амплітуда кутових коливань під дією сил інерції через деформації самого порталу і стояків. Підвищення жорсткості шляхом збільшення розмірів зазначених елементів призводить до підвищення маси та зниження швидкодії машини.

Підвищену жорсткість несучої рухомої ланки при порівняно невеликій її масі мають КВМ із рухомих Г-подібним півпорталом, утвореним із жорсткою горизонтальною поперечкою та легкою опорою (рис. 1.5, а).



а



б

Рис. 1.5. Компонування КВМ із півпорталом

Півпортал одним кінцем поперечки базується на піднятій і жорстко прикріпленій до основи балці з напрямними, а вільним кінцем за допомогою опори на повітряній подушці спирається на базову плиту КВМ. Таке компонування рекомендують для прецизійних КВМ середніх габаритних розмірів зі збільшеним переміщенням по вертикальній осі, для яких вимірний простір близький до куба. На рис. 1.5, б показано високоточну КВМ із півпорталом і гранітною базовою плитою моделі LH 1515 компанії WENZEL (Німеччина).

1.3.2. Мостове компонування КВМ

Мостове компонування дає змогу отримати меншу порівняно з іншими компонуваннями масу рухомих вузлів при високих його жорсткості та стійкості. Мостове компонування (рис. 1.6, а) використовують для великогабаритних КВМ різних класів точності. На рис. 1.6, б показано КВМ моделі ALPHA GG компанії DEA-HEXAGON (Італія) мостового компонування.

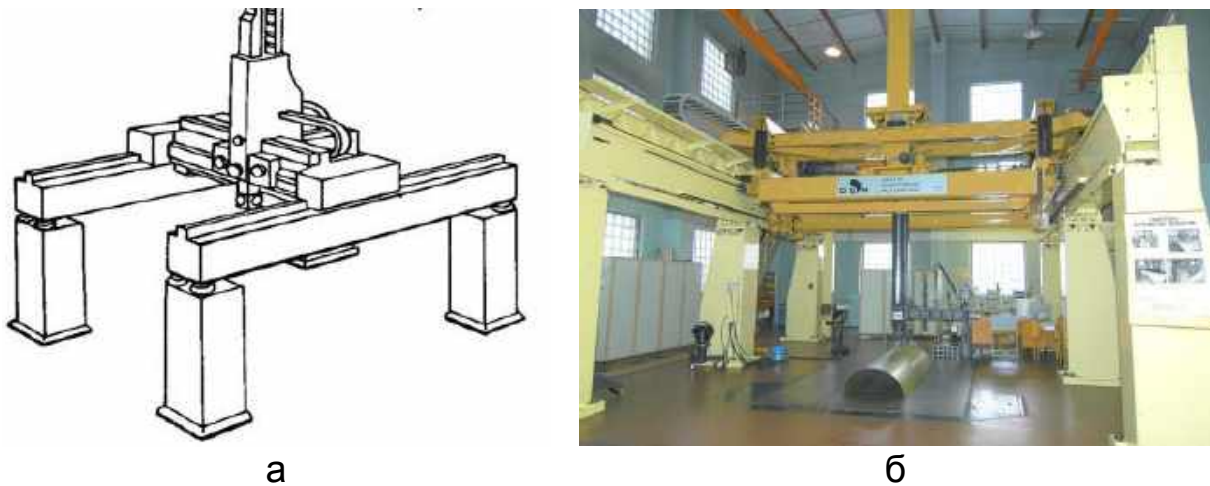


Рис. 1.6. Мостове компонування КВМ

Застосування модульного принципу дає змогу збільшити розміри вимірного простору (рис. 1.7, а) та створити спеціалізовані КВМ мостового компонування (рис. 1.7, б).



Рис. 1.7. Мостове компонування КВМ: а – з двома порталами; б – спеціалізоване для контролю монолітних панелей

Розміри вимірного простору КВМ мостового компонування компанії DEА-HEXAGON по осях лінійних переміщень можуть варіюватися в діапазонах: X – від 2500 до 6000 мм; Y – від 4000 до 20000 мм; Z – від 2000 до 4000 мм.

Спеціалізована КВМ моделі DELTA АВ тієї ж фірми призначена для контролю довгомірних монолітних панелей і має такий вимірний простір: X – 3000 мм; Y – 20000 мм; Z – 500 мм.

В абсолютній похибці вимірювань стаціонарних КВМ враховано довжину переміщення вимірювального щупа: $E = \pm 5,5 + 6L / 10000$, мкм.

Стаціонарні КВМ забезпечують високоточний контроль лінійних і кутових розмірів, параметрів форми та взаємного розташування великогабаритних поверхонь, у тому числі й отворів (рис. 1.8).

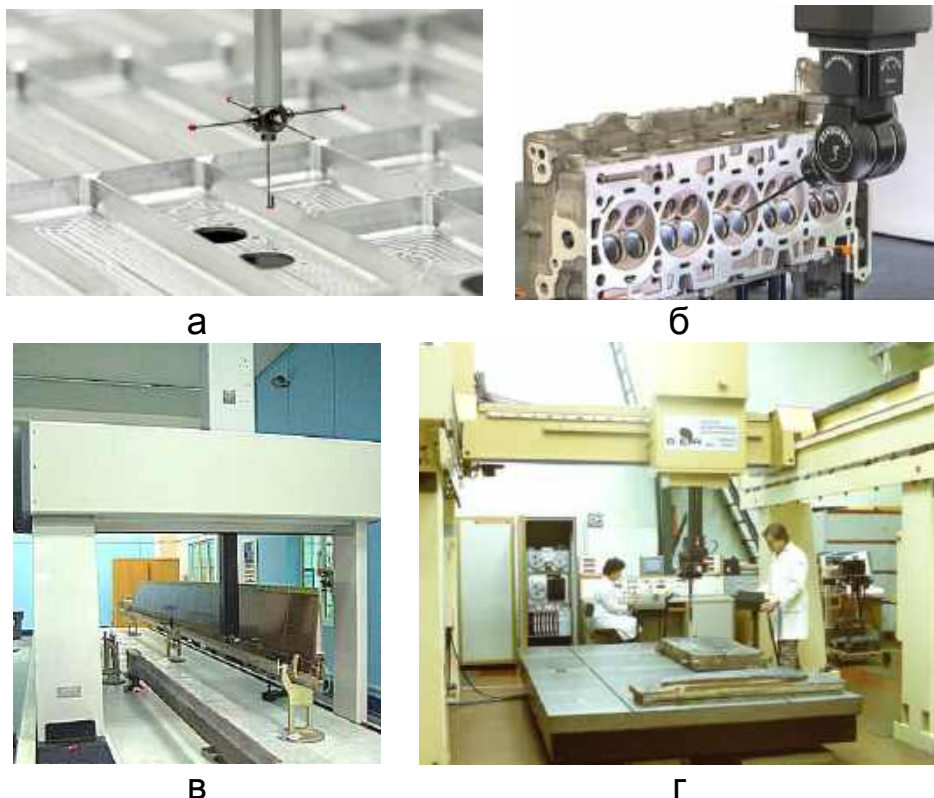


Рис. 1.8. Приклади геометричного контролю за допомогою КВМ:
а – монолітної панелі; б – отворів; в – лопаті вертольота;
г – форми для виклеювання композитного виробу

Основною процедурою при всіх вимірюваннях, що здійснюються за допомогою КВМ, є вимірювання точки шляхом торкання наконечника ВГ поверхні деталі.

При виборі КВМ необхідно разом із типом ВГ визначити й потрібний комплект вимірювальних наконечників. Для вимірювання простих геометричних елементів деталей та їх взаємного розташування можна обмежитися голівкою торкання. Для вимірювання складних плоских і просторових поверхонь методом безперервного спостереження КВМ необхідно комплектувати голівкою відхилення.

Такі метрологічні завдання, як вибір мінімальної та максимальної довжини вимірювальних наконечників, мінімального діаметра контакту кульки, максимальної кількості вимірювальних наконечників, що використовують одночасно, вирішують шляхом докладного аналізу креслення деталі.

За допуском на номінальні розміри деталей визначають гранично допустиму похибку КВМ. Похибка КВМ орієнтовно має становити не більше 30 % від допусків на розміри деталей.

Технологія п'ятикоординатного переміщення ВГ для автоматичного контролю великої кількості поверхонь здійснюється шляхом використання поворотно-обертальної головки моделі PH10M англійської фірми Renishaw. Механізована головка може повертатися навколо двох осей з кроком $7,5^\circ$ у діапазоні $\pm 60^\circ$ по кожній осі, що дає змогу оперативно відслідковувати зміни форми виробу, що контролюється (рис. 1.9, а).

На рис. 1.9, б показано зони підходу щупа на механізованій ВГ моделі PH10M при різному розташуванні поверхонь, що контролюються. Приклад контролю бічних отворів корпусної деталі показано на рис. 1.9, в.

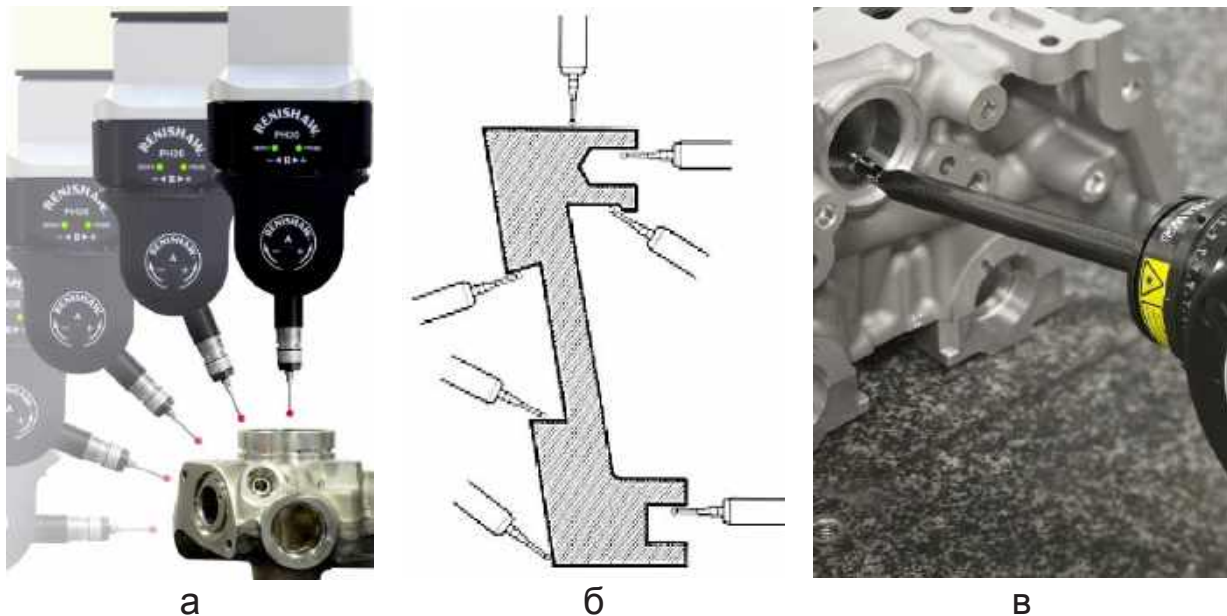


Рис. 1.9. Механізована вимірювальна головка моделі PH10M

Незалежно від компонування метрологічну атестацію стаціонарних КВМ проводять за міжнародними нормами «DKD-R-43 Calibration of measurement equipment for geometric measurements» відповідно до стандартів DIN EN ISO 10360 та VDI / VDE 2617.

В Україні діє аналогічний ДСТУ 10360-2:2006 «Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Приймальні та контрольні випробування координатно-вимірювальних машин». Цей стандарт визначає порядок проведення приймальних випробувань щодо перевірки заявленої виробником точності КВМ для вимірювання розмірів. Він також визначає порядок контрольних випробувань, які періодично виконує користувач, щоб підтвердити точність КВМ для вимірювання розмірів.

1.4. Компонування мобільних КВМ

Мобільна КВМ має шарнірно-важільне компонування і являє собою вимірювальну систему зі сферичним робочим простором. У кожному шарнірі є датчик контролю кутових переміщень, який в режимі реального часу стежить за кутом повороту важеля.

Комп'ютер, знаючи інформацію про довжину кожного важеля та кута його повороту, прораховує координати X, Y, Z відкаліброваного контактної щупа в будь-якій точці простору (рис. 1.10, а). Мобільні КВМ американських компаній FARO Technologies Inc. (рис. 1.10, б) і ROMER добре зарекомендували себе в різних галузях промисловості, у тому числі й авіабудуванні.

На рис. 1.10, в показано етап вимірювання фрагмента аеродинамічної продувної моделі крила на ДП «АНТОНОВ» за допомогою мобільної КВМ моделі Arm Sigma 2030 компанії ROMER.

Робочими зонами уніфікованої серії КВМ компанії FARO Technologies є сфери з радіусами 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,7 м. Для мобільної КВМ моделі Arm Sigma 2030 компанії ROMER радіус вимірювань зі стаціонарної позиції становить 2 м.

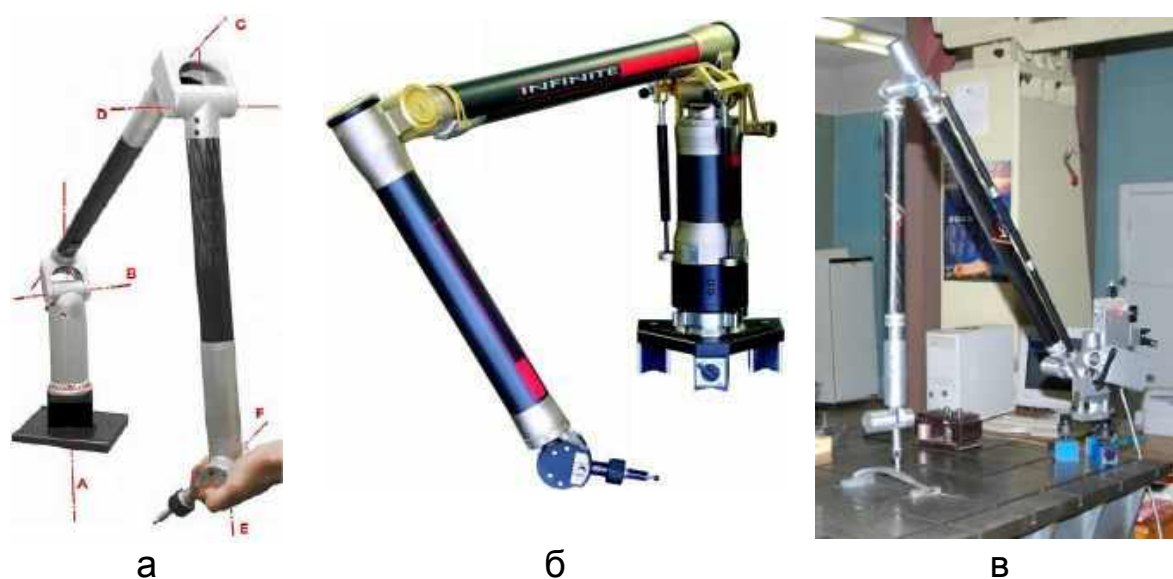


Рис. 1.10. Найменування осей та компонування мобільної КВМ

КВМ працюють за методом прощупування виробів контактним датчиком і зняття відповідних координат точок. За координатами цих точок комп'ютер може побудувати будь-які геометричні примітиви з їх реальними розмірами, положенням відносно базових поверхонь виробу та взаємним розташуванням елементів відносно один одного.

Таким чином, можна проконтролювати будь-який лінійний або кутовий розмір, заданий конструктором у кресленні, а також відхилення від площинності, паралельності, співвісності, биття поверхонь. Паспортними характеристиками будь-якої мобільної КВМ є повторюваність вимірювань і похибка лінійних вимірювань.

Повторюваність вимірювань – максимальне абсолютне відхилення виміряної точки від середнього значення в спеціальному тесті. Щуп зі сферичним наконечником поміщають у конічний отвір калібрувального пристрою, потім здійснюють вимірювання координат центру щупа при різних положеннях важеля з ВГ.

Похибку лінійних вимірів визначають із використанням сертифікованих еталонів довжини, які вимірюють у різних положеннях і орієнтаціях у межах робочого вимірного простору мобільної КВМ. Найточніша КВМ моделі FARO Platinum 4 має повторюваність $\pm 0,006$ мм та точність $\pm 0,018$ мм на радіусі робочої зони 1,2 м.

Мобільну КВМ установлюють у безпосередній близькості до об'єкта геометричного контролю (рис. 1.11).



а



б



в



г

Рис. 1.11. Приклади контролю за допомогою мобільних КВМ:
а – зварного вузла; б – деталі; в – стапеля крила; г – агрегату літака

Це дає змогу оперативно проконтролювати необхідний лінійний або кутовий розмір, зазначений у кресленні, а також відхилення розташування поверхонь.

Контроль складних криволінійних поверхонь здійснюється методом порівняння з вихідною CAD-моделлю об'єкта контролю. За допомогою програмного забезпечення оператор віртуально накладає реальний виріб на

еталонну CAD-модель, що дає змогу в режимі реального часу контролювати ступінь відхилення.

Для виконання координатних вимірювань існує певний алгоритм послідовних дій:

1. Опрацювання конструкторської та технічної документації на об'єкт контролю.

2. Вибір засобу для виконання координатних вимірювань.

3. Вивчення особливостей математичної моделі об'єкта контролю.

4. Розроблення схеми базування та закріплення об'єкта контролю та засоби для виконання координатних вимірювань.

5. Розроблення алгоритму та стратегії вимірювань.

6. Безпосереднє виконання операції контролю.

Перед початком вимірювання необхідно прив'язати систему координат деталі до системи координат мобільної КВМ (рис. 1.12).

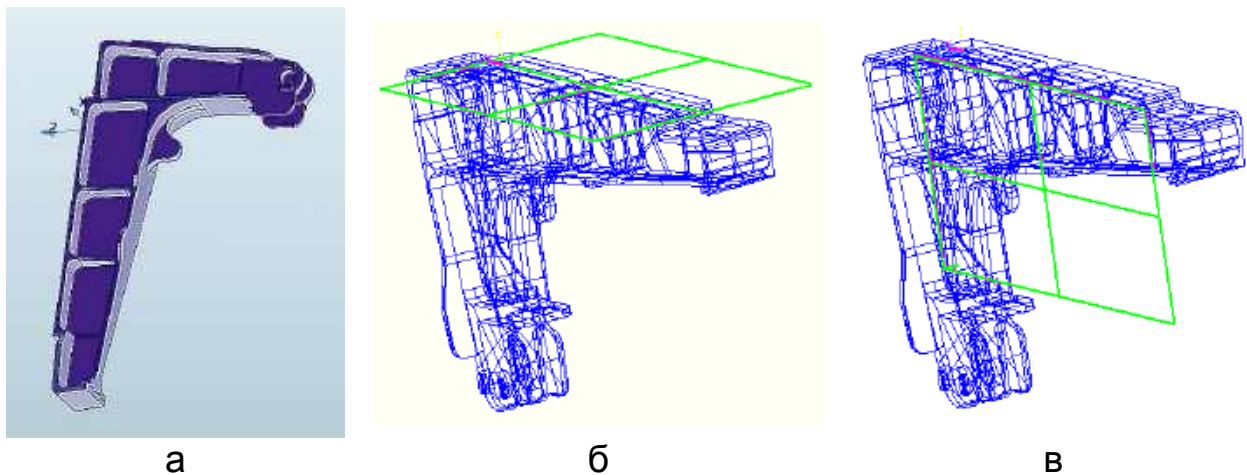


Рис. 1.12. Модель кронштейна (а) та прив'язування системи координат деталі до системи координат КВМ (б, в)

За допомогою мобільних КВМ досить просто контролюють відхилення теоретичних обводів рубильників складальної оснастки. Як еталон, за яким виконують вимірювання відхилень, беруть електронну модель стапеля.

1.5. Програмне забезпечення координатних вимірювань

Розробником спеціалізованого програмного забезпечення для комп'ютерних САІ-систем контролю є компанія Delcam (Англія). Для порівняння фактичної форми деталі з теоретичною комп'ютерною CAD-моделлю Delcam пропонує САІ-систему Power INSPECT. Power INSPECT може підтримувати роботу з широким спектром координатно-вимірювального обладнання різних типів, у тому числі стаціонарні КВМ, мобільні КВМ, лазерні 3D-сканери та ін.

При створенні послідовностей вимірювань для стаціонарних КВМ із ЧПК і верстатів із ЧПК, оснащених ВГ, дуже важливо забезпечити безпечність переміщення виконавчих органів обладнання. Для тривимірної симу-

ляції процесу вимірювань у програмі Power INSPECT використовують 3D-моделі КВМ, щупа ВГ, оснастки та деталей (рис. 1.13).

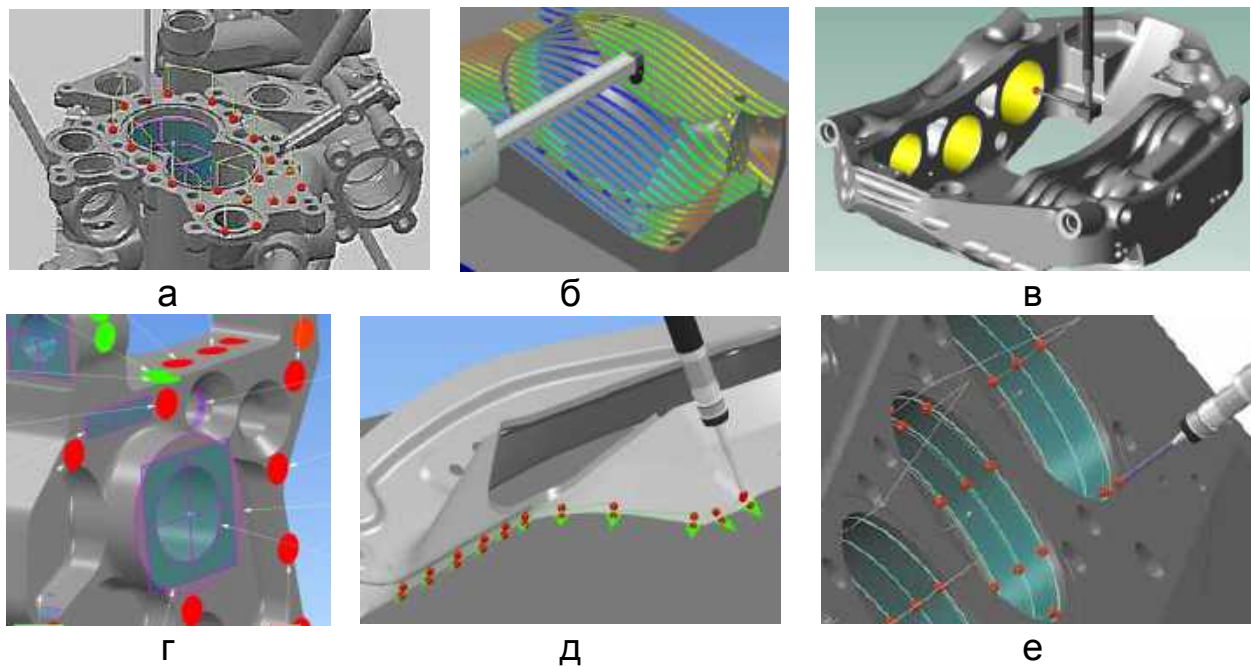


Рис. 1.13. Комп'ютерна симуляція: а – точкового позиціонування; б – сканування; в – центрування; г – системи координат; д – вимірювання контуру на листовій деталі; е – контроль циліндричності отворів у корпусній деталі

Програма контролю розмірів і допусків GD&T (Geometric dimensioning and tolerancing) створює стандартизовані для всіх користувачів формуляри метрологічного контролю з використанням наочних символів (рис. 1.14, а) і кольорових шкал відхилень (рис. 1.14, б).

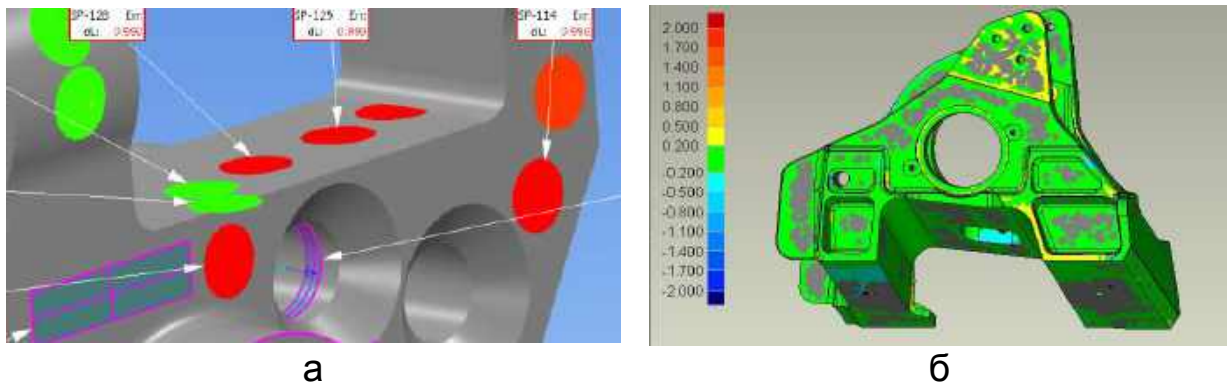


Рис. 1.14. Контроль з використанням наочних символів (а) і кольорових шкал відхилень (б)

Програмне забезпечення Power INSPECT створює умови для роботи стаціонарних і мобільних КВМ у трьох режимах:

- порівняння результатів вимірювання з комп'ютерною математичною моделлю виробу;
- виконання традиційних геометричних вимірювань;
- здійснення реінжинірингу – створення математичної моделі шляхом сканування поверхні реального виробу.

1.6. Координатні вимірювання лазерним трекером

Принцип геометричних вимірювань за допомогою лазерного трекера (англ. to track – слідкувати) базується на реєстрації азимутального θ і вертикального Φ кутів і відстані d до точки на об'єкті контролю (рис. 1.15, а). Трекер посилає імпульсний лазерний промінь на відбивач CCR (cube corner reflector) – скляну призму повного внутрішнього відображення, яка знаходиться всередині металевої сфери (рис. 1.15, б).

Одним із характерних ознак трекера є автоматичне керування кутами координатами променя. Трекер спрямовує промінь у потрібному напрямку за допомогою куткових поворотів і утримує промінь у центрі призми відбивача (рис. 1.15, в), спрямовуючи частину відбитого променя на позиційно-чутливий детектор.



Рис. 1.15. Принцип координатних вимірювань лазерним трекером

Вимірювальний блок лазерного трекера містить оптичну систему, сервоприводи, кутомірні пристрої, блок далекоміра (інтерферометричного або абсолютного принципу дії) і має дві перпендикулярні осі обертання.

Обертання навколо осей здійснюється за допомогою сервоприводів, кожна вісь забезпечена пристроєм для визначення кута повороту. Сервоприводи дають змогу наводити лазерний промінь на вимірюваний об'єкт і відслідковувати стан відбивача.

Основним завданням трекера є спостереження лазерного променя за положенням відбивача. Це виконується за допомогою електронної системи зворотного зв'язку. Коли промінь потрапляє в центр призми, він повертається без зміщення. Якщо лазерний промінь потрапляє не в центр призми, він відбивається назад паралельно до променя, що падає, але з деяким зміщенням. Позиційно-чутливий детектор (PSD) вимірює зміщення, що дає змогу відрегулювати кутове положення вихідного і відбитого променів відносно центру призми відбивача. Частина відбитого лазерного променя після повернення в оптичну систему трекера надходить у далекомір, який обчислює відстань від трекера до рефлектора.

Спочатку трекер встановлюють поблизу геометричного контролю. Відбивач фіксують на корпусі трекера в спеціальному гнізді для захоплення променя лазера (рис. 1.16, а), потім оператор переміщує відбивач на поверхню об'єкта контролю (рис. 1.16, б, в).

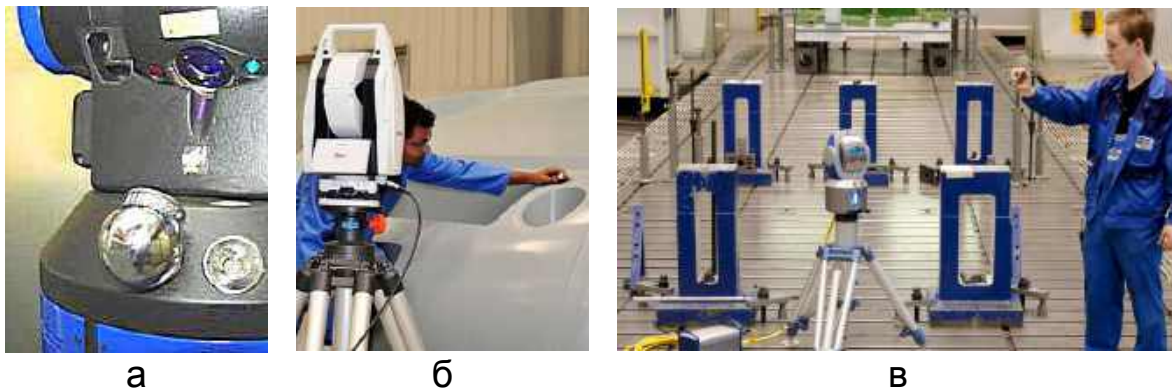


Рис. 1.16. Навчальний етап вимірювань лазерним трекером

Відбивач стикається з поверхнею об'єкта. Поправка на діаметр сфери з відбивачем автоматично враховується при всіх вимірюваннях.

1.6.1. Технічні характеристики лазерних трекерів

До складу лазерного трекера входять такі елементи:

- вимірювальний блок (поворотна головка, лазерний випромінювач, оптичні датчики-енкодери кутів повороту, електропривід);
- контролер, який обробляє інформацію та зв'язує вимірювальний блок з комп'ютером;
- комп'ютер із програмним забезпеченням, який керує вимірювальним блоком і аналізує результати через вимірювання;
- магнітна плита або штатив.

На світовому ринку розробників лазерних трекерів лідирують три основні компанії: швейцарська Leica Geosystems AG та американські FARO й API (Automated Precision Inc.). У табл. 1.5 наведено основні технічні характеристики лазерних трекерів цих компаній, які широко застосовуються в авіаційній промисловості та машинобудуванні.

Таблиця 1.5

Технічні характеристики лазерних трекерів

Параметр	Модель лазерного трекера		
	Leica AT403	FARO ION	API Tracker 3
Точність вимірювання відстаней, мкм/м	$\pm (15 + 6L)$	$\pm (26 + 5L)$	$\pm (15 + 6L)$
Точність вимірювання кутів, кут. с	$\pm 0,10$	$\pm 0,18$	$\pm 0,12$
Дальність вимірювання, м	80	55	60
Діапазон горизонтальних кутів, град	360		
Діапазон вертикальних кутів, град	+ 45 / - 45	+ 72 / - 52	+ 72 / - 60
Частота динамічних вимірювань, кГц	10		
Габаритні розміри трекера, мм	290 x 221 x 188	311 x 311 x 556	185 x 190 x 360
Маса вимірювальної головки, кг	7,3	19,5	8,5
Маса контролера, кг	0,8	5,2	3,2

Примітка. L – довжина, що вимірюється, м.

На рис. 1.17 показано зовнішній вигляд лазерних трекерів згідно з даними табл. 1.5.



Рис. 1.17. Лазерні трекери моделей: а – Leica AT403; б – FARO ION; в – API Tracker 3

Сферичні відбивачі ССР (рис. 1.18, а) виготовлено з нержавіючої сталі та мають стандартний діаметр 1,5; 7/8 і 0,5 дюйма (38,1; 22,2; 12,7 мм відповідно). Вони зберігаються на гумових ложементках (рис. 1.18, б), щоб уникнути дряпання. Останнім часом значного поширення набули високо-точні порожнисті відбивачі, в яких призму замінили на удароміцні металеві дзеркала. Для контролю базових точок сферичні відбивачі можуть бути встановлені на спеціальні магнітні підставки (рис. 1.18, в).

Відхилення форми відбивача ССР від сферичності не перевищує 0,005 мм, концентричність центрів призми і сфери – 0,01 мм. Для контролю прихованих ділянок сферичні відбивачі встановлюють на перехідники різної висоти з циліндричними хвостовиками (рис. 1.18, г) або конічними центрошукачами (рис. 1.18, д).



Рис. 1.18. Сферичні відбивачі для лазерних трекерів

Відхилення осі симетрії сферичного відбивача при його переміщенні не має перевищувати $\pm 30^\circ$ від напрямку лазерного променя.

На рис. 1.19 показано приклади використання лазерних трекерів для контролю геометричних параметрів великогабаритної технологічної оснастки та деталі силового каркасу фюзеляжу аеробуса.



а



б



в

Рис. 1.19. Приклади використання лазерних трекерів для контролю:
а – виклеувальної форми; б – стапеля складання крила; в – секції шпангоута

Бездротові електронні щупи компанії Leica з вбудованим сферичним відбивачем моделей B-Probe і T-Probe з регульованою до 200 мм довжиною наконечника призначено для доступу до прихованих від лазерного променя точок на об'єкті, що контролюється (рис. 1.20, а).

На рис. 1.20, б показано приклад контролю лазерним трекером закритих ділянок планера літака за допомогою бездротових електронних щупів із призмовим відбивачем моделей Leica-B-Probe.

Просторове положення щупа моделі Leica-T-Probe з шістьма степенями вільності в руці оператора визначається лазерним трекером автоматично методом триангуляції випромінювання від восьми інфрачервоних світлодіодів (рис. 1.20, в).



Рис. 1.19. Щупи моделей Leica B-Probe та T-Probe

Здатність лазерних трекерів відстежувати стан відбивача в режимі реального часу дає змогу ефективно використовувати їх для монтажу staple, а також як елемент керування в автоматичних стендах складання й стикування виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Контрольні запитання

1. Чим характеризується точність геометричних параметрів деталей?
2. Охарактеризуйте поняття «координатне вимірювання».
3. Назвіть основні терміни в галузі координатних вимірювань.
4. Назвіть критерії вибору моделі стаціонарних КВМ.
5. Назвіть компонування стаціонарних КВМ.
6. Як здійснюється технологія п'ятикоординатного переміщення ВГ для автоматичного контролю великої кількості поверхонь?
7. Яке компонування мають мобільні КВМ?
8. Наведіть алгоритм послідовних дій для виконання координатних вимірювань.
9. На чому ґрунтується принцип вимірювання за допомогою лазерного трекера?

2. ФРЕЗЕРНІ ТА БАГАТООПЕРАЦІЙНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК

На сучасних машинобудівних підприємствах універсальним засобом автоматизації керування технологічним устаткуванням є ЧПК.

Керувальна програма, уведена в пристрій ЧПК верстата, задає траєкторію руху інструменту, приводів подач головного руху і допоміжних пристроїв, що забезпечують виготовлення заданої деталі. Завдяки оснащення 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).

2.1. Фрезерні верстати з ЧПК

Під *компонуванням* розуміють сукупність вузлів верстата, яка характеризує їхній тип, взаємне розташування, з'єднання й переміщення для забезпечення виконання заданого технологічного процесу (рис. 2.1).

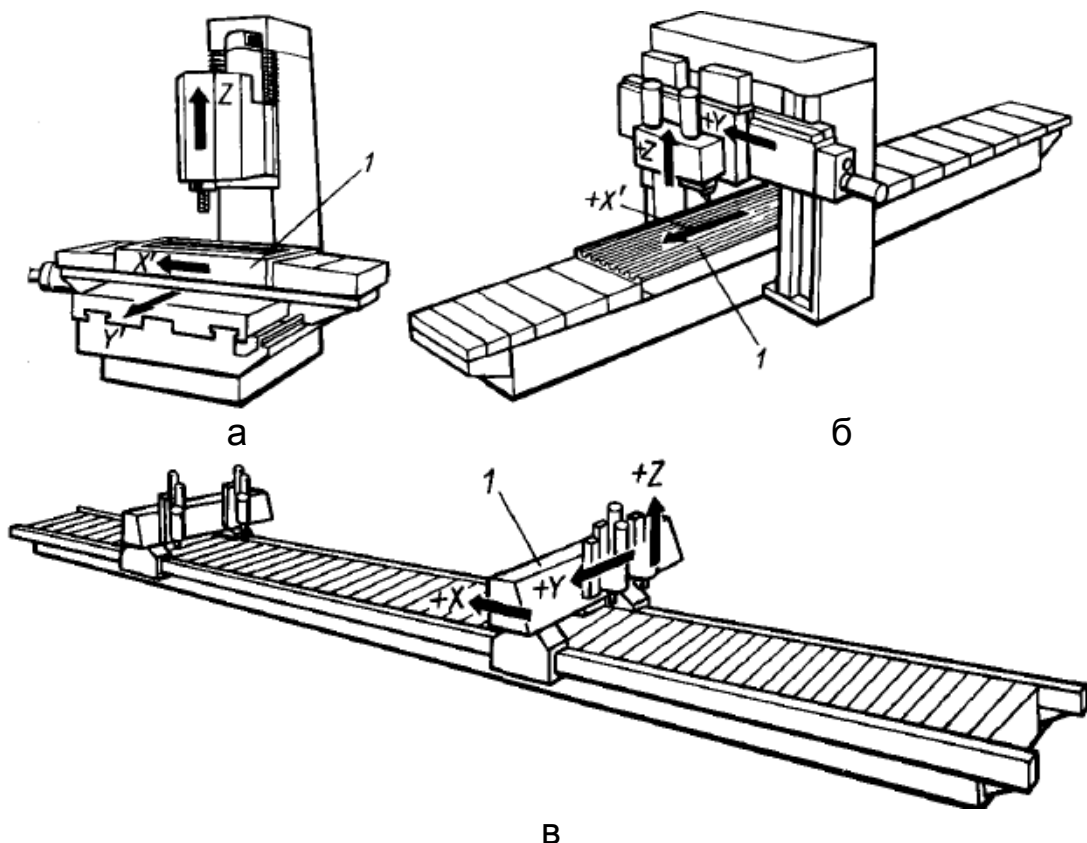


Рис. 2.1. Основні види фрезерних верстатів з ЧПК із різними ходами переміщення та компонованням

Під спеціалізованими верстатами з ЧПК розуміють верстати, параметри яких (довжина ходу, частота обертання шпинделя, компоновання, кіль-

кість координат робочого переміщення) відрізняються від параметрів верстатів загального призначення. Норми щодо точності й жорсткості, умови експлуатації, автоматизація керування, вимоги техніки безпеки – спільні для спеціалізованих та універсальних верстатів з ЧПК.

Для виготовлення широкої номенклатури деталей аерокосмічного виробництва використовують 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 нерухою колоною, що підтримує шпindelъну головку, яка переміщується за координатою Z (див. рис. 2.1, а). Таке компоновання 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 рухомих столом 1, що переміщується за координатою X на відстань до 10000 мм (див. рис. 2.1, б). Одна або дві шпindelъні головки переміщуються за координатами Y і Z . Таке компоновання мають верстати моделей ФП-9М, ВФ-3М8.

3. Портальне з рухомих порталом 1, який переміщується за поздовжньою координатою X , з довжиною ходу понад 10000 мм (див. рис. 2.1, в). Тут стіл верстата нерухомий, а шпindelъні головки переміщуються за координатою Z . Таке компоновання є характерним для верстатів моделей ПФП-5, 2ФП-231, 2ФП-242В.

Для усіх видів верстатів з ЧПК застосовують єдину систему позначень координат (рис. 2.2, а), рекомендовану міжнародним стандартом ISO (англ. International Organisation for Standardisation).

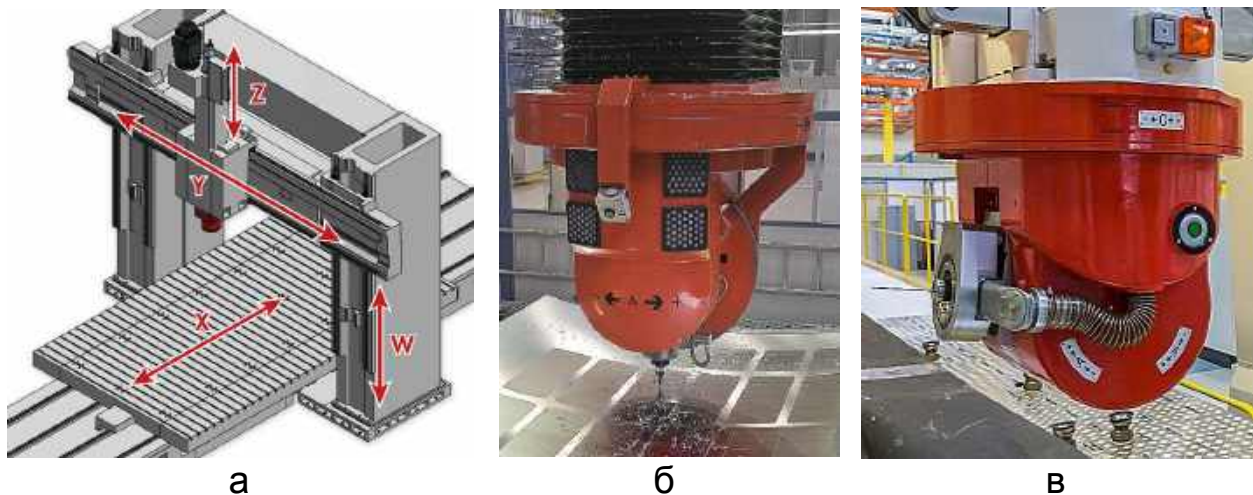


Рис. 2.2. Схема позначення координат (а) і загальний вигляд двокоординатного шпindelъ (б, в) портального фрезерного верстата

Усі прямолінійні переміщення розглядають у тривимірній декартовій системі координат X, Y, Z . Обертання навколо кожної з осей позначають літерами A, B, C (A – обертання навколо осі X , B – навколо осі Y , C – навколо осі Z). За замовчуванням в усіх фрезерних верстатах розташування

осі Z збігається з віссю обертання інструменту. Крім переміщення по основних осях X, Y, Z можливими є переміщення по паралельних вторинних осях U, V, W або третинних осях P, Q, R .

Застосування компактного високомоментного електричного двигуна з безступінчастим регулюванням частоти обертання як шпинделя для фрезерних верстатів дало змогу додати до трьох лінійних координат ще дві кутові (рис. 2.2, б, в).

Для того щоб на схемі розташування координат верстата показати, яким способом здійснюється рух подачі – переміщенням інструменту (спільно зі шпиндельною бабкою, повзуном, стояком верстата тощо) або заготовки (спільно зі столом верстата), використовують такі позначення:

- переміщення інструменту позначають літерами X, Y, Z і A, B, C ;
- переміщення заготовки позначають цими ж літерами зі штрихом – X', Y', Z' і A', B', C' (див. рис. 2.1, а, б).

2.1.1. Вертикально-фрезерні верстати з ЧПК

В аерокосмічній промисловості найчастіше використовують вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі MA-655. Такий верстат з хрестоподібним столом (див. рис. 2.1, а) має три координати переміщення інструменту: X – поздовжнє на 1000 мм; Y – поперечне на 500 мм; Z – вертикальне переміщення фрезерної головки на 640 мм.

Верстат призначено для фрезерування поверхонь складної криволінійної форми, свердління, зенкерування, розгортання та попереднього розточування отворів у заготовках зі сталей, титанових та алюмінієвих сплавів. Базову модель MA-655CMH верстата (рис. 2.3) оснащено восьмипозиційною короною заміни інструменту.

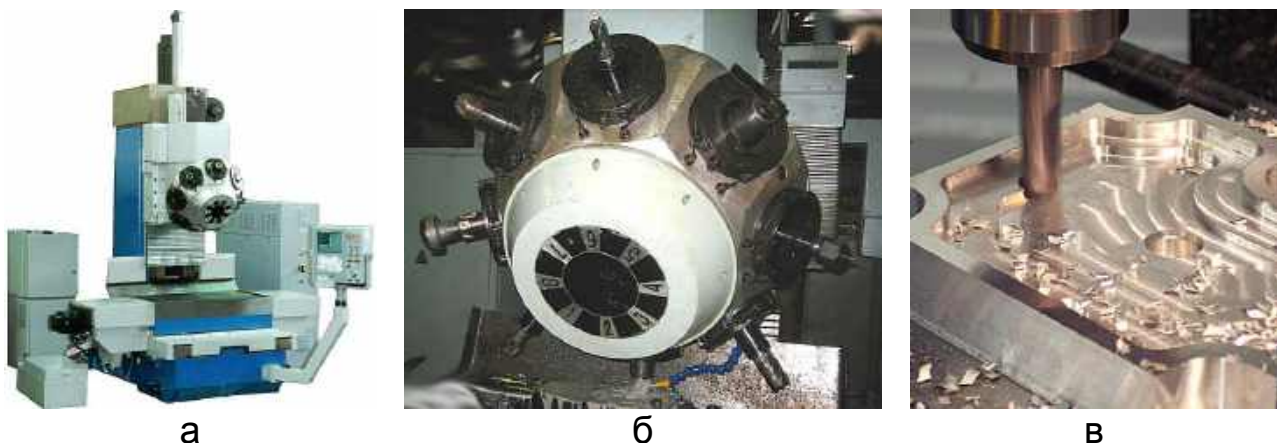


Рис. 2.3. Вертикально-фрезерний верстат моделі MA-655CMH: а – загальний вигляд; б – корона заміни інструменту; в – приклад оброблення плити

Частота обертання шпинделя – $20 \dots 2500 \text{ хв}^{-1}$. Швидкість руху робочих подач регулюється від 0 до 2400 мм/хв , швидкість допоміжного ходу становить 4800 мм/хв . Найбільш поширеними є такі модифікації верстата моделі MA-655: MA-655CM3OA – з магазином на 30 інструментів, MA-655C5H – п'ятикоординатний.

2.1.2. Портально-фрезерні верстати з ЧПК

Портально-фрезерні верстати з ЧПК завдяки жорсткості конструкції забезпечують оброблення великогабаритних об'ємних заготовок з алюмінієвих і титанових 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-9М і ВФ-3М8. Верстат ВФ-3М8 належить до фрезерних верстатів сучасного покоління, має три координати переміщення інструменту: X – поздовжнє на 6900 мм; Y – поперечне на 1600 мм; Z – вертикальне переміщення фрезерної головки на 1200 мм. Призначений для оброблення великогабаритних та довгомірних деталей типу панелей, лонжеронів, шпангоутів з конструкційних сталей, титанових та алюмінієвих сплавів, виклеювальних прес-форм масою до 10 тонн (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Загальний вигляд: а – верстата з ЧПК моделі ВФ-3М8; б – виклеювальної прес-форми; в – нервюри центроплана

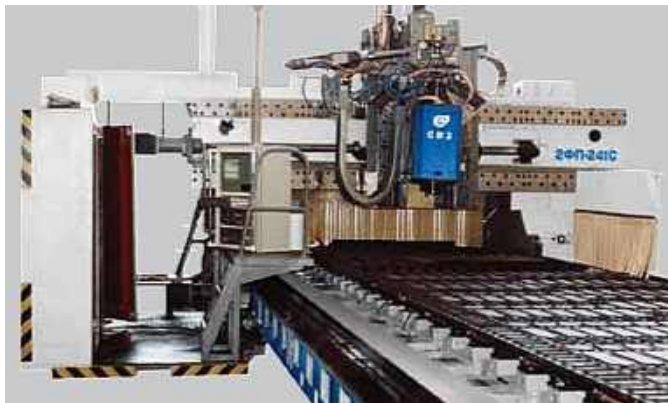
На верстаті моделі ВФ-3М8 можна фрезерувати зовнішні та внутрішні криволінійні контури, опуклі та увігнуті поверхні подвійної кривизни, а також свердлити, зенкерувати, розточувати та розгортати отвори. На відміну від верстата ФП-9М має нерухому за висотою траверсу, пристрій для автоматичної заміни інструменту за допомогою корони на вісім позицій, шнековий конвеєр для відведення стружки.

Довгомірні деталі, наприклад пресовані панелі стрингерів і лонжеронів, обробляють на спеціалізованих фрезерних верстатах з *рухомими порталами* моделей ПФП-5 і 2ФП-231.

Верстат ПФП-5 – базовий верстат для трикоординатного оброблення

двома порталами одночасно (див. рис. 2.1, в). На ньому обробляють 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 1/хв, другу – двошвидкісну з частотою обертання шпинделя 1500 або 3000 1/хв.

Верстат 2ФП-231 – двоportalний верстат підвищеного технічного рівня для трикоординатного оброблення заготовок, що мають габаритні розміри до 30000x1800 мм (рис. 2.5, а). Верстат має нерухому секційну станину, на якій у Т-подібних пазах закріплено блоки вакуумного стола для фіксування заготовок. Над столом верстата переміщуються два портали поздовжньої подачі (вісь X), кожний з яких має поперечну каретку (вісь Y), що підтримує фрезерну головку (вісь Z).



а



б



в

Рис. 2.5. Загальний вигляд верстатів моделі 2ФП-231 (а), FOOKE LINEAR ENDURE (б) і фрагмента панелі крила (в)

До порталу прикріплено інструментальний магазин на 16 позицій з пристроєм автоматичної заміни інструментів. На верстаті можна здійснювати комплексне фрезерно-свердлильне оброблення панелей із зовнішніми й внутрішніми фасонними поверхнями, карманами, заглибинами (рис. 2.5, в).

Для оброблення полиць стрингерів і поясів лонжеронів з постійною та змінною малкою довжиною до 20 метрів застосовують спеціалізований чотирикоординатний верстат моделі LINEAR ENDURE німецької фірми FOOKE (рис. 2.5, б).

2.1.3. Розкрійно-фрезерні верстати з ЧПК

Розкрійно-фрезерні верстати призначено 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. Оброблення пакета здійснюється кінцевими фрезами діаметром 8...12 мм.

Базовою моделлю спеціалізованих розкрійно-фрезерних верстатів з ЧПК є РФП-1 з двома рухомими порталами (див. рис. 2.1, в).

Під час переміщення одного порталу здійснюється розкроювання пакета із п'яти-шести листів завдовжки до 11000 мм і завширшки до 2000 мм, а під час переміщення двох порталів одночасно – завдовжки до 5500 мм і завширшки до 2000 мм (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Загальний вигляд листових заготовок після розкроювання

Аналогічні операції виконують на верстаті РФП-2, якщо довжина заготовки становить до 5500 мм, а ширина – до 2000 мм.

Для фрезерування торців металевих і композитних стільникових заповнювачів застосовують спеціалізований верстат з ЧПК моделі РФП-6 (рис. 2.7). Компонування верстата дає можливість обробляти заготовку 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 головою відносно поздовжньої осі на кут $\pm 135^\circ$.

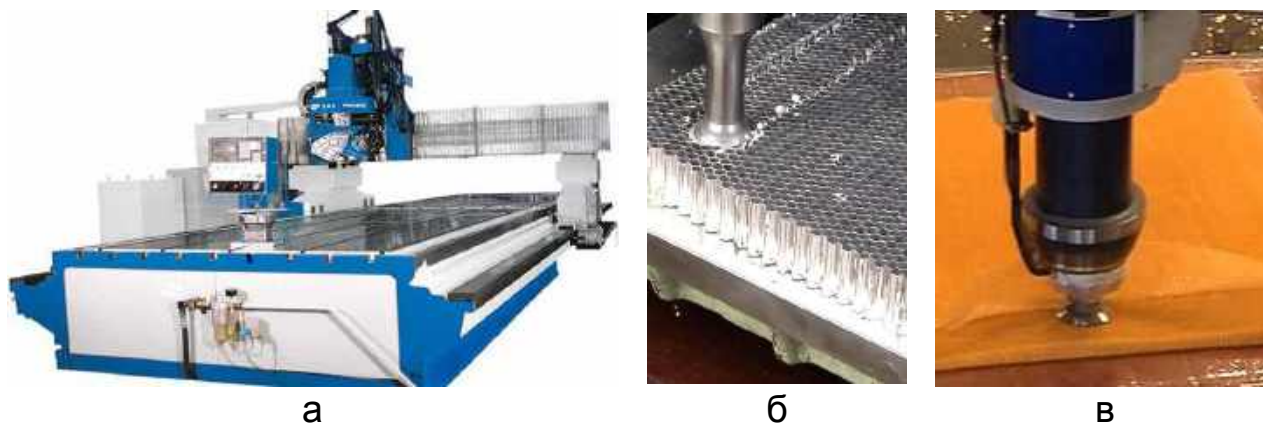


Рис. 2.7. Загальний вигляд: а – верстата з ЧПК моделі РФП-6; б – фрезерування алюмінієвого (б) та композитного (в) стільникових заповнювачів грибоподібною фрезою

Габаритні розміри заготовок стільникових заповнювачів, мм: довжина – 6300; ширина – 1500; висота – 350. Швидкість робочих подач за лінійними координатами може змінюватися безступінчасто 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 1/хв.

Така висока частота обертання кінцевої фрези спеціальної конструкції (так звана «грибоподібна фреза») виключає зминання торців металевого та композитного стільникових заповнювачів.

2.1.4. Особливості застосування кінцевих фрез

Найпоширенішим інструментом для оброблення широкої номенклатури деталей середніх габаритів на фрезерних верстатах з ЧПК є стандартні кінцеві фрези зі швидкорізальних сталей діаметром 14...30 мм, які централізовано виготовляють інструментальні заводи. Проте конструкція стандартних кінцевих фрез (рис. 2.8) має низку недоліків, що зумовлюють погане виведення стружки, недостатню жорсткість фрези на вигин та ін.

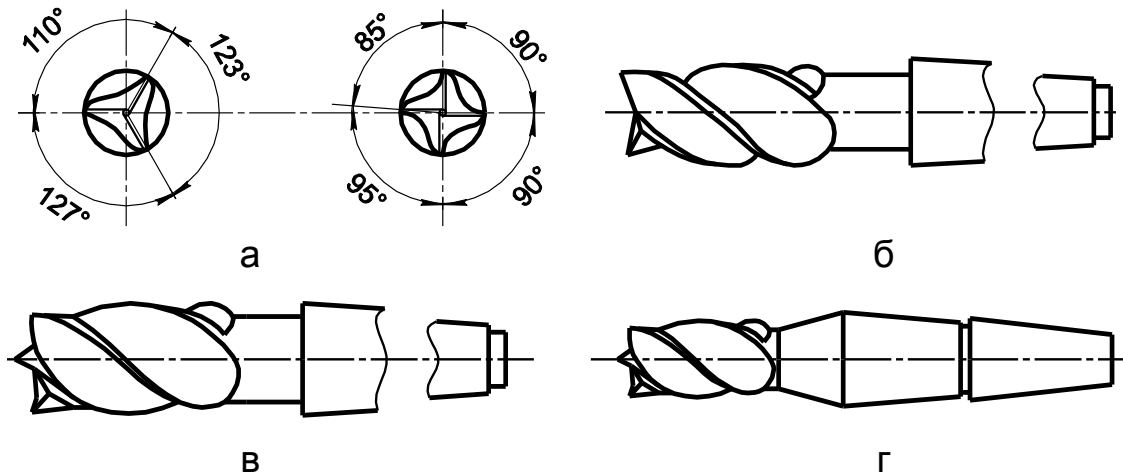


Рис. 2.8. Модифікації стандартних кінцевих фрез

На підприємствах галузі конструкції стандартних фрез удосконалюють завдяки таким операціям:

- 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. 2.8, а);
- заточування перемички на торці фрези, що дає змогу здійснити вертикальне врізування в метал (див. рис. 2.8, б);
- підвищення жорсткості різальної частини інструменту шляхом ви-

користання нарізної канавки змінної глибини (див. рис 2.8, в);

– збільшення вилітання інструменту завдяки використанню підсилювального конуса (див. рис. 2.8, г).

Для оброблення малкованих стінок на каркасних деталях використовують також фасонні фрези (рис. 2.9), форма твірної яких відповідає конфігурації оброблюваної поверхні.

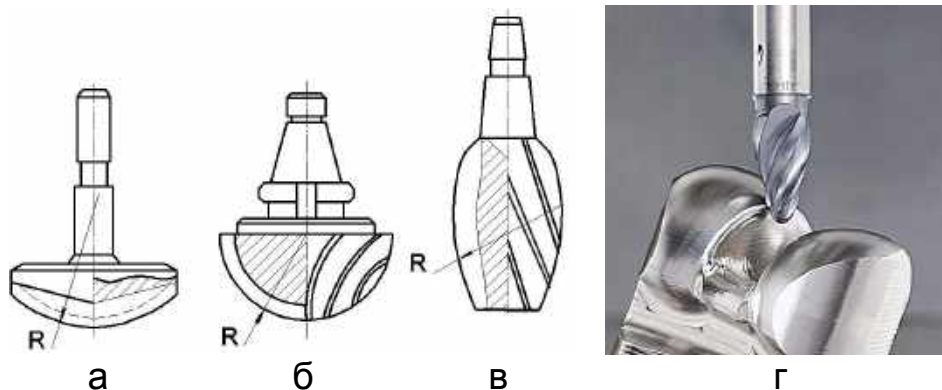


Рис. 2.9. Деякі типи фасонних кінцевих фрез

З допомогою фрез, які зображено на рис. 2.9, а, б, г, можна здійснювати рядкове оброблення вгнутих поверхонь. Фасонна фреза, яку зображено на рис. 2.9, в, призначена для оброблення поверхонь зі змінною малкою – нульовою, позитивною та негативною.

2.2. Трикоординатне об'ємне фрезерування

Під час трикоординатного об'ємного фрезерування переміщенням інструменту безперервно керують за трьома координатами одночасно.

На рис. 2.10 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 оброблення Δ_{op} , що залишаються на оброблюваній поверхні між сусідніми робочими ходами.

Крок рядків A фрезерування вздовж похилої ділянки площини (див. рис. 2.10, а) розраховують за формулою

$$A = \frac{2\Delta_{op}}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{d_r \sin \alpha}{\Delta_{op}} - 1}, \quad (2.1)$$

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.

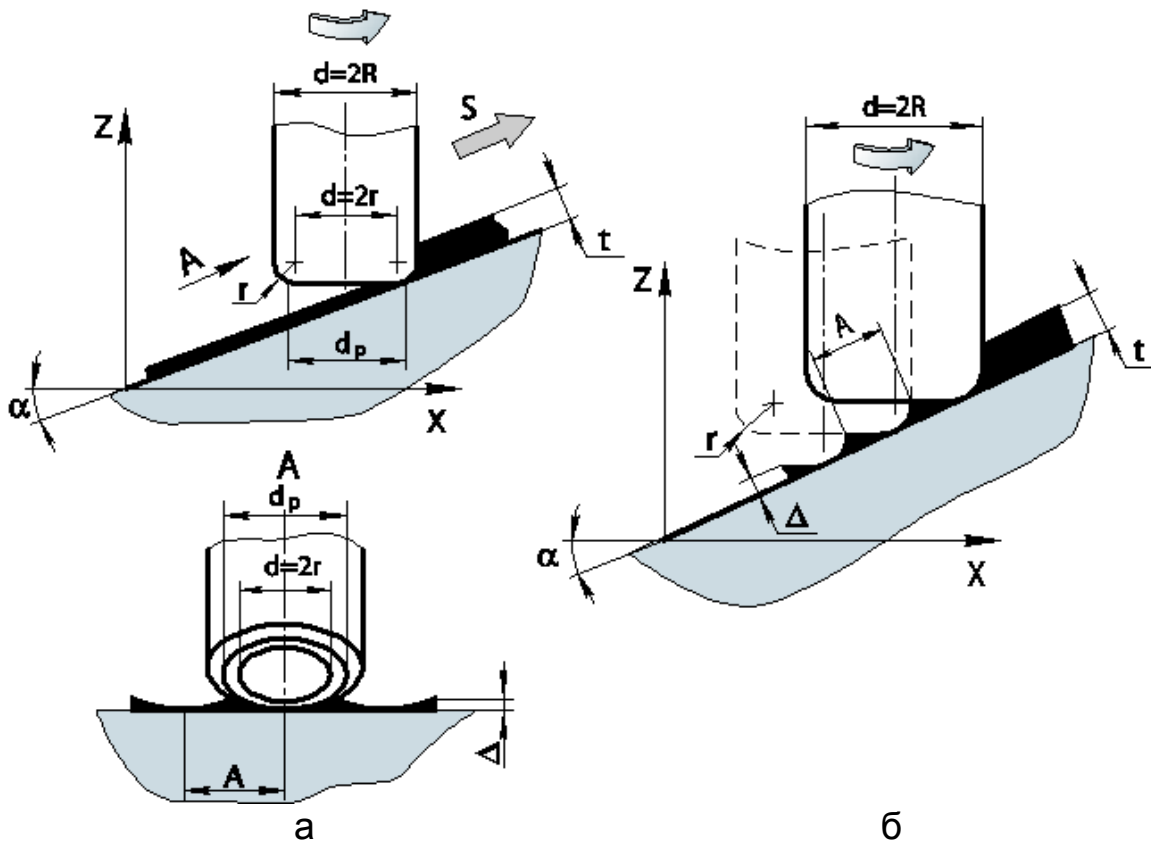


Рис. 2.10. Схеми трикоординатного фрезерування вздовж (а) і поперек (б) похилої ділянки поверхні заготовки

Крок рядків фрезерування поперек похилої ділянки площини заготовки (див. рис. 2.10, б) для фрез з радіусом скруглення торця $0 < r < R$ або $r = R$ розраховують за формулою

$$A = 2 \cos \alpha \sqrt{2r\Delta_{op} - \Delta_{op}^2} \quad (2.2)$$

Зазвичай під час трикоординатного об'ємного оброблення різальна кромка фрези переміщується по поверхні зі змінним радіусом кривизни ρ .

Тоді крок рядка A інструменту під час виконання двох сусідніх робочих ходів траєкторії визначають, задаючись допуском на оребрнення

$$A = \sqrt{\frac{8\Delta_{op}}{1/R - 1/\rho}} \quad (2.3)$$

У виробничій практиці зазвичай беруть такі співвідношення точності оброблення й геометричних параметрів поверхні й кінцевої фрези зі сферичним торцем: $\Delta_{op} \approx 0,01R$ і $\Delta_{op} < (0,01..0,001)\rho$.

Такі співвідношення свідчать про неминучу наявність ребер після рядкового трикоординатного об'ємного фрезерування опуклих і увігнутих поверхонь заготовки (рис. 2.11). Обов'язково необхідним є подальше трудомістке слюсарне зачищення ручним пневматичним інструментом і контроль форми обробленої поверхні. Це суттєво обмежує сферу застосування трикоординатного об'ємного фрезерування.

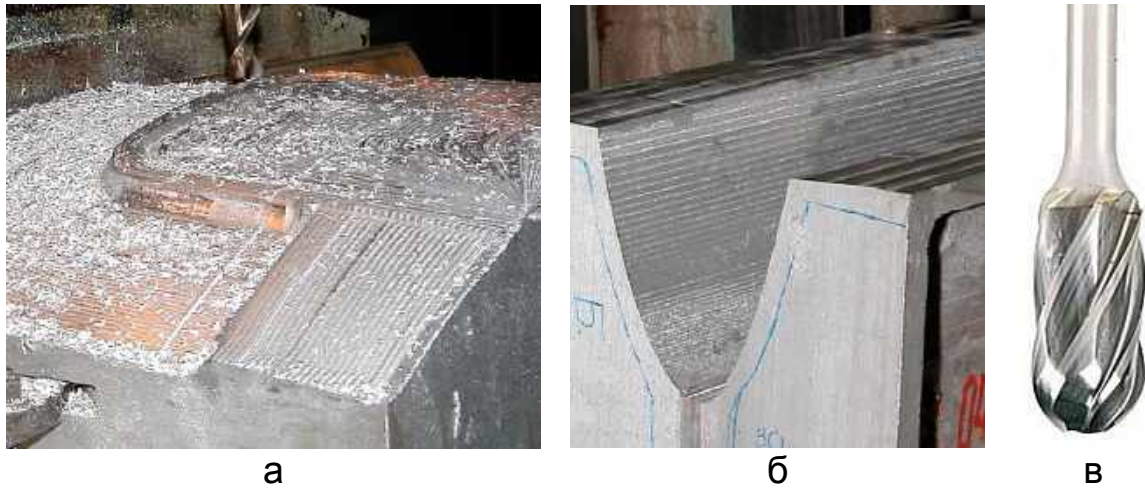


Рис. 2.11. Загальний вигляд опуклої (а) та увігнутої (б) поверхонь заготовки після трикоординатного фрезерування кінцевою фрезою зі сферичним торцем (в)

2.3. П'ятикоординатне об'ємне 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.

За розширеною класифікацією розрізняють такі характерні об'єкти п'ятикоординатного 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 лінійчастими 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.

Методику програмування п'ятикоординатного оброблення реалізовано на спеціалізованих фрезерних верстатах з ЧПК різних модифікацій.

Розрахунок лінійних координат залежить від того, як здійснюється оброблення – торцем (рис. 2.12, а), периферією (рис. 2.12, б) або торцевою частиною (рис. 2.12, в) циліндричної кінцевої фрези.

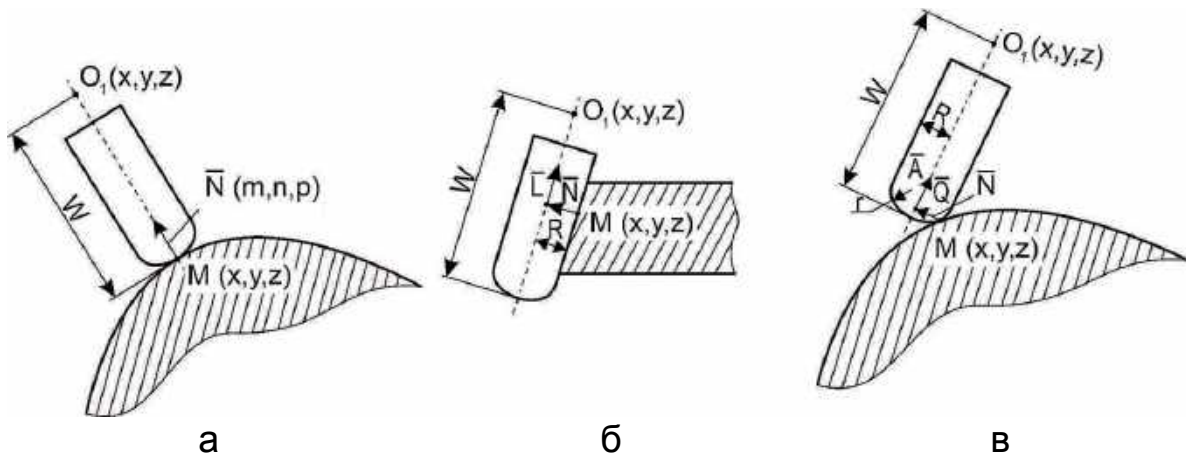


Рис. 2.12. Основні види п'ятикоординатного фрезерування:
 а – торцем; б – периферією; в – торовою частиною кінцевої фрези

На рис. 2.12 наведено такі позначення: x, y, z – координати змінної опорної точки M траєкторії оброблення; W – виліт торця кінцевої фрези; m, n, p – компоненти одиничних векторів; \bar{N} – вектор нормалі до оброблюваної поверхні в опорній точці; R – радіус фрези; \bar{L} – вектор твірної лінійчастоті поверхні в опорній точці; r – радіус скруглення фрези; \bar{Q} – вектор торової частини фрези; \bar{A} – вектор напрямку осі фрези.

Оброблення на п'ятикоординатних 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. Одночасно відбувається значне (до двох разів) змінення величини результуючої подачі внаслідок алгебричного складання швидкості кутових переміщень і заданої за розрахунковими режимами швидкості лінійної подачі.

Основне призначення технологічних процесів оброблення на п'ятикоординатних верстатах – практично повністю виключити трудомісткі ручні підганяльні роботи, підвищити точність і продуктивність оброблення деталей (рис. 2.13, а) та технологічного оснащення (рис. 2.13, б).

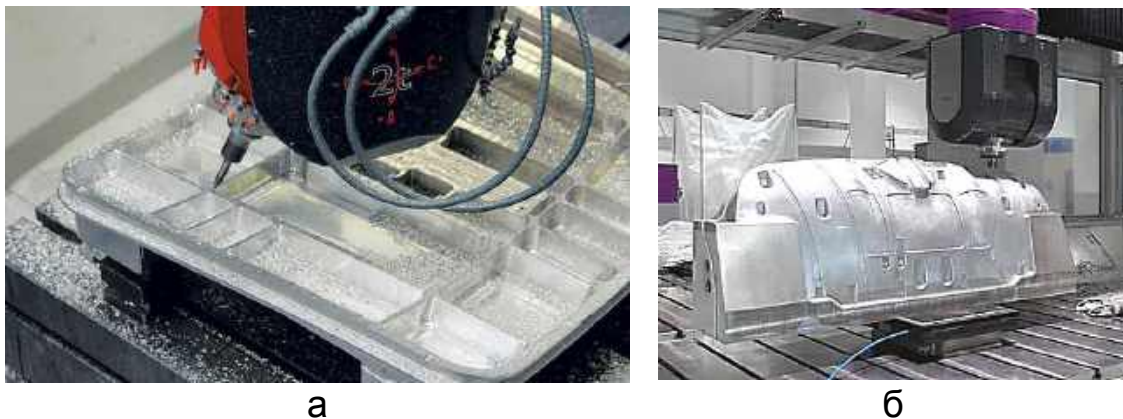


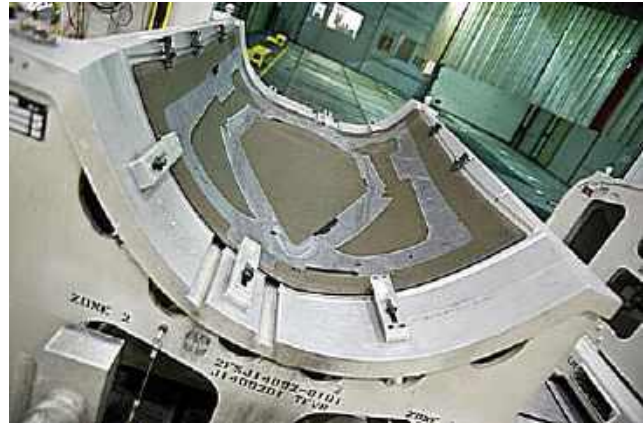
Рис. 2.13. Приклади п'ятикоординатного фрезерування об'ємних поверхонь: а – внутрішньої; б – зовнішньої

Одним із основних завдань під час оброблення на п'ятикоординатних верстатах з ЧПК є зведення до мінімуму кількості встановлень деталей через складність їхньої конфігурації й, відповідно, складність базування.

Сучасний п'ятикоординатний фрезерний верстат з рухомих порталом моделі MAG U5-1500 (рис. 2.14) американської фірми CINCINNATI поєднує великий об'єм робочого простору (18x3,65x1,8 м) з високою точністю оброблення – 0,08 мм для осі X і 0,03 мм для осей Y, Z.



а



б

Рис. 2.14. Загальний вигляд: а – фрезерного верстата моделі MAG U5-1500; б – виклеувальної прес-форми після п'ятикоординатного оброблення

Верстат забезпечує оброблення всієї номенклатури великогабаритних виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки зі сталей, титанових та алюмінієвих сплавів, виклеувальних прес-форм масою до 20 тонн.

2.4. Багатоопераційні верстати з ЧПК

Використання ЧПК зумовило появу нової групи верстатів – багатоопераційних. Під *багатоопераційним верстатом* нині розуміють свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК, обладнаний інструментальним магазином і пристроями для автоматичної заміни інструментів, який дає можливість здійснювати комплексне позиційне й контурне оброблення заготовки. Зарубіжні фірми скорочено позначають багатоопераційні верстати буквами *MC* (Machining Center).

Багатоопераційні верстати створювались на базі як фрезерних верстатів, яким властива висока потужність приводу головного руху, так і свердлильно-розточувальних, які характеризуються високою точністю оброблення.

Багатоопераційні верстати дають змогу 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.

Кожна зі сторін корпусної деталі має виступи, кармани, пази, напрям-

ні, 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. Для досягнення високої ефективності все оброблення заготовок прагнуть виконувати на одному верстаті за один-два установи.

Але доводиться зважати на небезпеку деформування форми деталі внаслідок перерозподілу залишкових напружень у початковій заготовці. У цих випадках технологічний процес поділяють на операції чорнової і подальшої обробки. Чорнове оброблення виконують на верстатах із ЧПК або універсальних, а потім піддають їх термообробленню для зняття внутрішніх напружень. Подальше механічне оброблення виконується на багатоопераційному верстаті.

Корпусні деталі планера ЛА складної форми, з яких дві як типові (рис. 2.15, а, б), потребують оброблення за трьома лінійними координатами в поєднанні з обертанням інструменту та заготовки, тобто ще по двох кутових осях.

Компонування сучасних багатоопераційних верстатів (рис. 2.15, в) крім трикоординатного переміщення забезпечує одночасне використання або одиничних *A*, *B*, або парних *A+B* (рис. 2.15, г), або *B + C* (рис. 2.15, д) кутових осей.

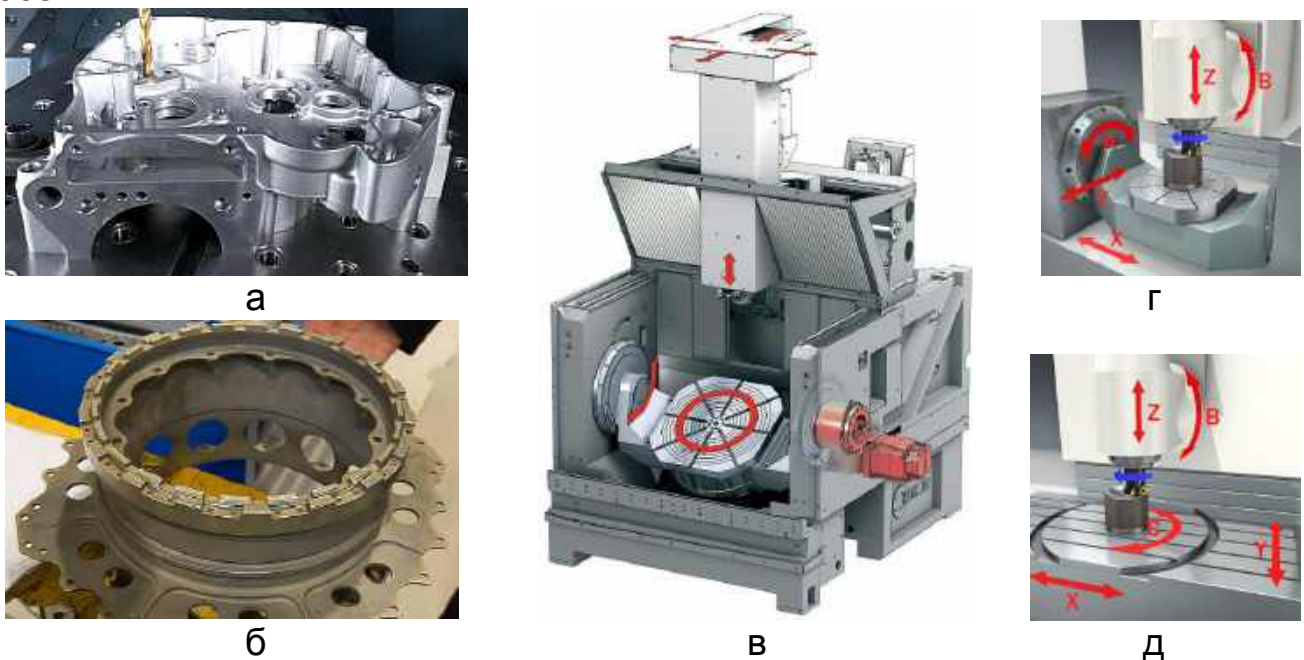


Рис. 2.15. Компонування багатоопераційних верстатів з п'ятьма осями (в, г, д) і приклади отриманих типових деталей – корпусу (а) та кожуха (б)

Поява двох додаткових кутових осей дає можливість обробляти деталі складної форми з великою кількістю отворів за один установ, заощаджуючи час оброблення при гарантованій точності.

У табл. 2.1 наведено основні технічні характеристики багатоопераційного верстата моделі Hermle C62U (Швейцарія) як найбільш типового

для підприємств авіаційного та ракетно-космічного профілю.

Таблиця 2.1
Основні технічні характеристики верстата моделі Hermle C62U

Характеристика верстата	Значення
Максимальні розміри обробленої деталі, мм	1250x630x500
Найбільша маса заготовки з пристроєм, кг	1000
Частота обертання шпинделя, 1/хв	10...18000
Межі робочих подач за координатами, мм/хв	1...10000
Кількість інструментів у магазині	40
Час зміни інструменту, с	6
Кількість керованих одночасно координат	5
Найбільше переміщення, град: – за координатою <i>A</i> – за координатою <i>C</i>	+15...-105 360
Частота обертання за координатою <i>C</i> , 1/хв	0,1...30
Дискретність задання переміщень: – за координатами <i>X, Y, Z</i> , мм – за координатами <i>A, B</i> , град	0,001 0,008
Точність позиціонування: – за координатами <i>X, Y, Z</i> , мм – за координатами <i>A, B</i> , град	0,030 0,016
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	52
Габаритні розміри верстата, мм	2600 x2000x3560
Маса верстата, кг	8800

Велика кількість оброблюваних поверхонь, значна кількість інструментів у магазині верстата ускладнюють вибір плану оброблення деталі. Можна, наприклад, спочатку повністю обробити заготовку з одного боку, потім розгорнути її; можна спочатку обробити всі площини, потім розпочати оброблення отворів.

Вибираючи план оброблення деталей на багатоопераційних верстатах, насамперед доцільно використовувати типові схеми, які наведено у відповідних нормативних документах.

Приклад. Зміст і послідовність переходів під час оброблення деталі типу «Корпус» на багатоопераційному верстаті (рис. 2.16):

- 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 швидкорізальна;
- 5) фрезерування вікна (зона Д), фреза кінцева швидкорізальна із торцевими зубами;
- 6) фрезерування контурної виїмки (зона Е), фреза кінцева швидкорізальна;
- 7) фрезерування поздовжнього паза (зона Ж), фреза кінцева пазова із твердосплавними вставними ножами.

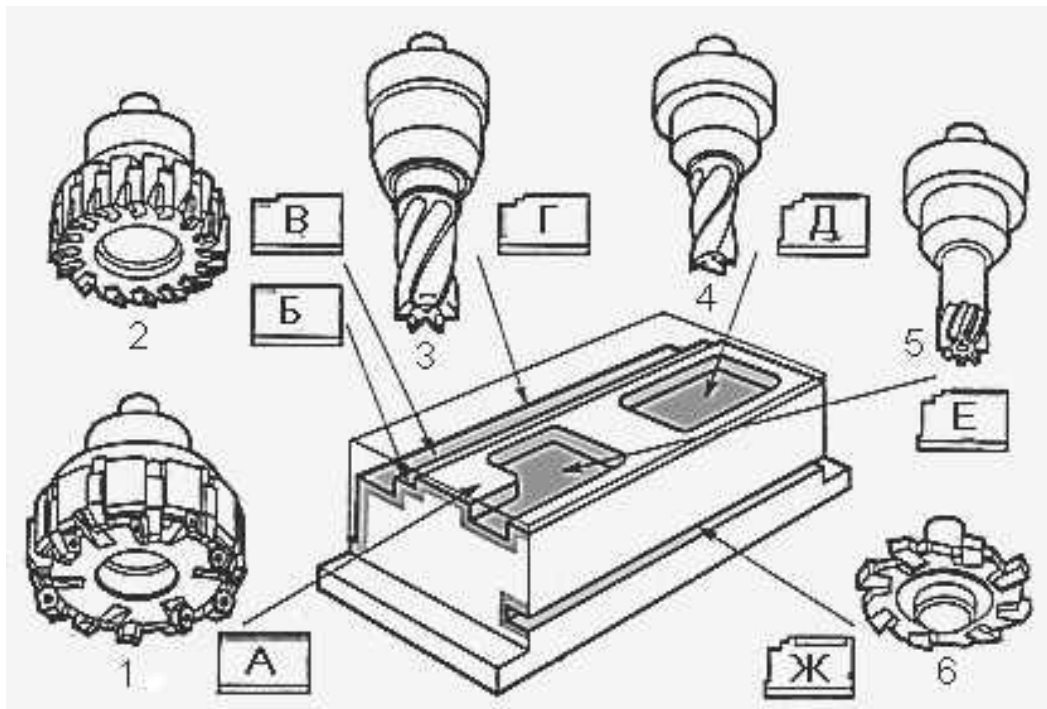


Рис. 2.16. Інструмент для оброблення деталі типу «Корпус»: 1 – фреза торцева; 2 – фреза торцева зі вставними ножами з прямим кутом; 3 – фреза кінцева швидкорізальна; 4 – фреза кінцева швидкорізальна із торцевими зубами; 5 – фреза кінцева швидкорізальна; 6 – фреза кінцева пазова із твердосплавними вставними ножами

2.5. Модернізація верстатів і систем ЧПК

Сьогодні на підприємствах аерокосмічної галузі України найчастіше використовують такі моделі фрезерних верстатів з ЧПК, як вертикально-фрезерні МА-655, портально-фрезерні ФП-9М, розкрійно-фрезерні РФП-2 і РФП-6, поздовжньо-фрезерні з рухомих порталом 2ФП-231 та ін. Модернізація верстатного обладнання є одним із пріоритетних завдань для всіх підприємств аерокосмічної галузі України.

Наприклад, на ДП «АНТОНОВ» протягом останніх п'яти років було відновлено та модернізовано понад 150 верстатів і блоків керування ЧПК, у тому числі верстати РФП-6, МА655 і 2ФП-231 із сучасними промисловими комп'ютерами фірми Haidenhaim. Усі верстати підключено до єдиної заводської мережі прямого керування програмним обробленням (DNC).

Було виконано також заміну застарілих систем ЧПК на сучасні:

- розроблено керувальні програми і ТП у комп'ютерних інтегрованих CAD/CAM-системах Pro/ENGINEER і «ГеММА-9.5»;

- верифіковано оброблення з видаленням матеріалу на трикоординатних верстатах за допомогою модуля IMSverify 3-Axis Verification;

- використано симуляцію оброблення на моделі верстата за допомогою модуля IMSverify Machine Simulation;

- встановлено й впроваджено систему ProEngineer (Creo) для тривимірного проектування технологічного оснащення у підрозділах головного технолога і головного металурга.

Під час організації запуску у виробництво літака Ан-148:

- виконано технологічну підготовку виробництва близько 65000 деталей, для виготовлення яких застосовано 58 найменувань матеріалів;
- спроектовано й виготовлено більше 19300 найменувань спеціального технологічного оснащення та інструментів;
- випробувано й впроваджено у виробництво прогресивний металообробний інструмент;
- розроблено 31365 керувальних програм для виготовлення 2390 найменувань деталей та 200 найменувань технологічного оснащення;
- розроблено інтегровану автоматизовану систему керування виробництвом, основу на виконанні основного обсягу обчислювальних робіт на центральній обчислювальній машині з можливістю підключення користувачів до перегляду даних.

Також почав застосовуватися покупний інструмент провідних світових фірм Guhring, UFP, Sandvik Coromant для оброблення різанням високоміцних, корозійностійких сталей і титанових сплавів.

Проведено випробування й впроваджено в серійне виробництво нові види МОР при механічній обробці різанням, що істотно підвищило стійкість інструменту й дало змогу застосувати швидкісні режими оброблення.

Придбано й впроваджено нове металорізальне обладнання:

- токарні верстати моделі CA564C150Ф10 (9 шт.), прецизійний токарний верстат E50 фірми WEILER;
- верстат зі стрічковою пилою фірми Behringer для розкрювання заготовок з плит розмірами 1600×4000×400 мм;
- верстат із ЧПК гідроабразивного різання моделі Idroline-2040 фірми CMS для розкрювання заготовок із плит розмірами 2000×4000×250 мм;
- високоточні універсально-фрезерні верстати моделі FSS450NS.01 (10 шт.), моделі OMM67 (6 шт.);
- п'ятикоординатний фрезерний і вертикально-фрезерні верстати моделей DMU100 Blok Mono (3 шт.), DMU-100 Blok Duo і верстат моделі MCFV-1060 з пультом керування фірми Haidenhaim;
- п'ятикоординатний фрезерний верстат із ЧПК для виготовлення деталей типу стрингерів і пояса лонжерона довжиною до 12000 мм;
- зубодовбальні верстати 5M161 (2 шт.);
- електроерозійний прецизійний дротяно-вирізний верстат із лінійними сервоприводами AQ537LLP33W;
- установка для безабразивної ультразвукової фінішної обробки;
- напівавтоматичний шліфувальний верстат Omicron-3620, шліфувальний верстат SIEFLEX-500;
- п'ятикоординатний шліфувально-заточувальний верстат Norma фірми SCHNEEBERGER.

ДП «АНТОНОВ» уклало контракт зі швейцарською компанією Hermle WWE AG на поставку двох багатоопераційних верстатів моделі Hermle C62U з похило-поворотним столом діаметром 1350 мм. Вартість одного

обробного центру становить €1,37 млн. Крім того, окремо оплачується введення комплексу в експлуатацію, навчання персоналу. Аналогічний контракт було укладено з німецькою компанією Niles Simmons на придбання двох верстатів для оброблення великогабаритних деталей загальною вартістю €5 млн.

Створення конкурентоспроможної ракетно-космічної техніки також потребує нових матеріалознавчих та конструкторських рішень, освоєння нових перспективних технологій. З цією метою у КБ «Південне» – провідному розробнику ракетно-космічної техніки в Україні було створено науково-виробничий комплекс.

До складу комплексу входить сучасне високотехнологічне обладнання: п'ятикоординатний верстат намотування композиційних виробів з робочим діаметром до 1 м і довжиною до 6 м, високоточний п'ятикоординатний фрезерний верстат із ЧПК, просочувальна машина для виготовлення напівфабрикатів (препрегів) з різних армувальних наповнювачів, 3D-принтер для виготовлення великогабаритних виробів з ПКМ, фарбувально-сушильна камера та ін. Цей комплекс забезпечує замкнутий цикл виробництва сучасних виробів ракетно-космічної техніки із ПКМ.

Такі організаційні та технологічні заходи сприяють зниженню трудових й експлуатаційних витрат, підвищенню продуктивності окремих операцій, автоматизації процесів оброблення складних обводотвірних поверхонь деталей для виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Контрольні запитання

1. Назвіть типові види компонування фрезерних верстатів з ЧПК, які застосовуються на підприємствах галузі.
2. Назвіть технологічні можливості розкрійно-фрезерних верстатів.
3. Які модифікації стандартних кінцевих фрез використовуються для фрезерного оброблення?
4. Наведіть схеми поздовжнього й поперечного трикоординатного фрезерування похилої ділянки поверхні, деталі або оснащення.
5. Що обмежує можливості трикоординатного об'ємного фрезерування?
6. Які частини кінцевої фрези можуть брати участь в об'ємному п'ятикоординатному фрезеруванні?
7. Завдяки чому багатоопераційні верстати мають технологічні можливості п'ятикоординатної позиційної та контурної обробки?
8. Що є одним із пріоритетних завдань для всіх підприємств аерокосмічної галузі України?

3. КОМПОНУВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК І ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОЇ ЗМІНИ ІНСТРУМЕНТУ

3.1. Компонування багатопераційних верстатів з ЧПК

Сучасні багатопераційні верстати з ЧПК здатні здійснювати повний цикл оброблення деталей складної форми. Весь процес умовно можна розділити на кілька етапів за методами оброблення, на кожному з яких потрібний окремий різальний інструмент. На рис. 3.1 як приклад комплексної токарно-фрезерно-свердлильно-розточувальної обробки показано етапи виготовлення корпусу керма керування ЛА з алюмінієвого сплаву Д16Т масою 0,92 кг на багатопераційному верстаті з ЧПК.

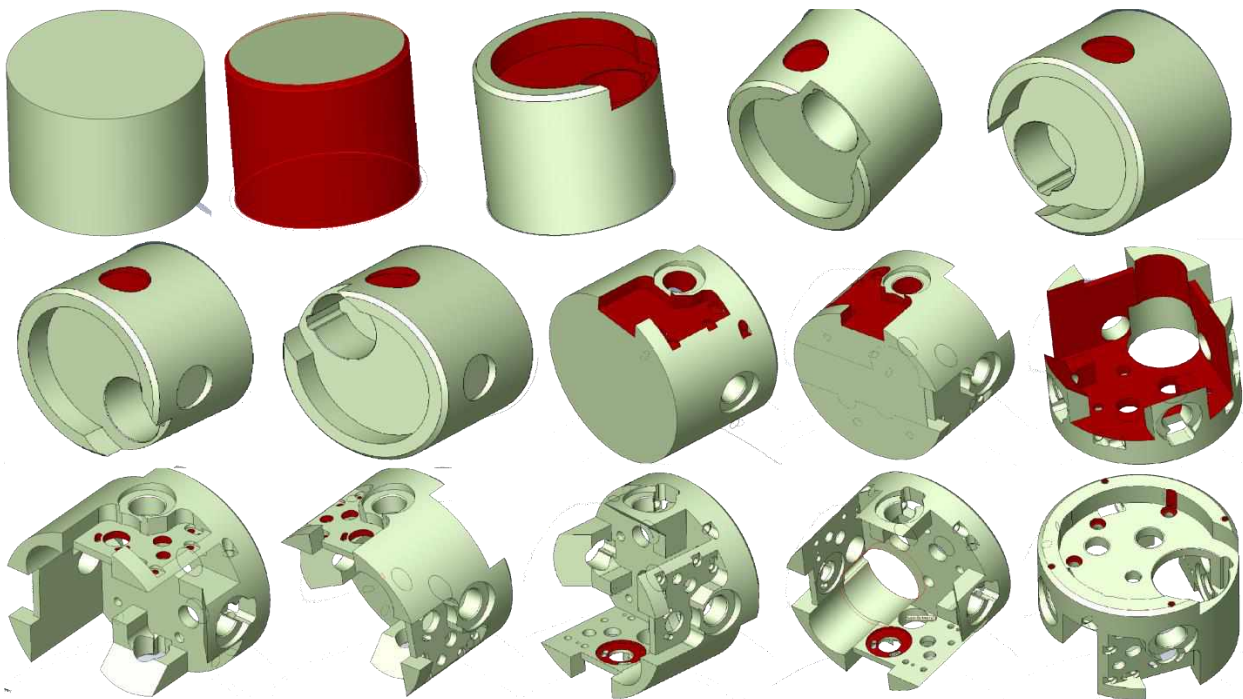


Рис. 3.1. Комп'ютерна модель багатопераційної обробки деталі

Можна сформулювати такі загальні особливості компонування багатопераційних верстатів із ЧПК:

- можливість реалізації високоточної обробки деталей складної геометричної форми з великою кількістю координат переміщень різального інструменту;
- оснащення верстата механізмами і пристроями, що розширюють його технологічні можливості: плансупортами, магазинами інструментів і шпиндельними вузлами, а також пристроями автоматизованого завантаження заготовок.

Нижче показано типові компонування багатопераційних верстатів із ЧПК середніх габаритів при довжинах ходів до 1000 мм:

- трикоординатне з хрестоподібним столом за координатами X і Z і нерухомою колоною 1, за якою у вертикальному напрямку Y переміщується шпиндельна головка. Компонування призначено для оброблення заготовок корпусних деталей з одного боку (рис. 3.2, а);

– чотирикоординатне з поворотним столом 1. Компонування призначено для оброблення заготовок корпусних деталей з чотирьох боків (рис. 3.2, б);

– чотирикоординатне з магазином інструментів 1 ланцюгового типу. Компонування призначено для комплексного оброблення великою кількістю інструментів заготовок корпусних деталей з чотирьох боків (рис. 3.2, г);

– п'ятикоординатне з двома поворотними столами 1, нижній з яких обертається навколо вертикальної, а верхній – навколо горизонтальної осі. Компонування призначено для комплексного оброблення заготовок корпусних деталей з п'яти боків під будь-яким кутом (рис. 3.2, д, в);

– шестикоординатне з планшпортним пристроєм (зміщення розточувального різця програмується за третинною координатою U). Компонування призначено для високоточного оброблення внутрішніх фасонних поверхонь, розташованих під довільними кутами (рис. 3.2, е).

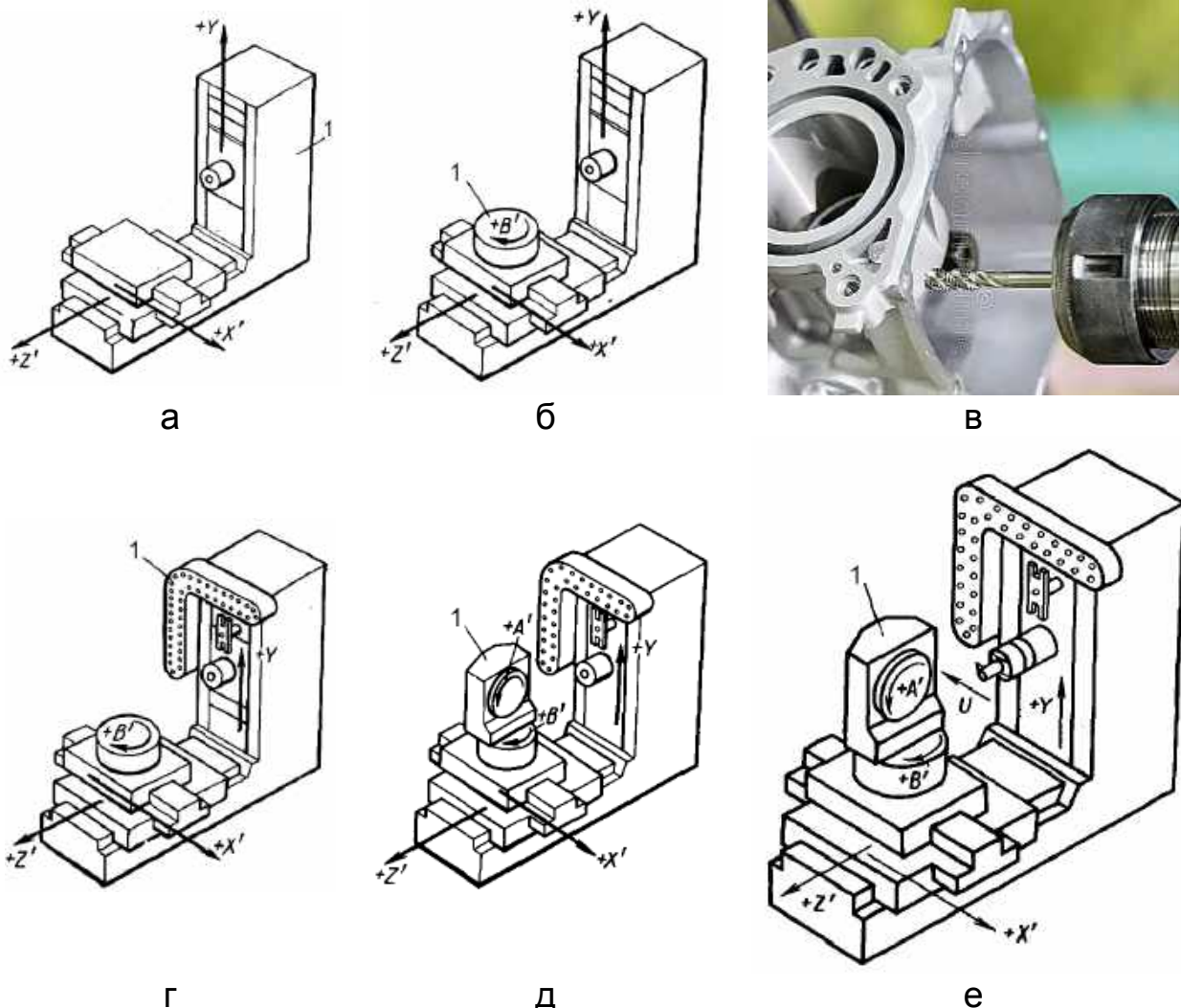


Рис. 3.2. Компонування багатоопераційних верстатів середніх габаритів

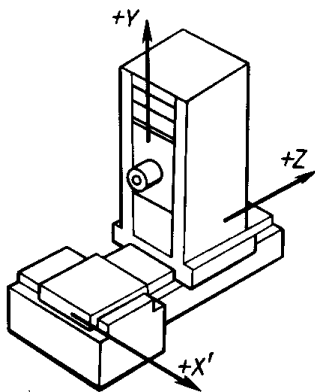
На основі базового комплектування (див. рис. 3.2, а) можна створити інші схеми комплектування багатоопераційних верстатів:

– трикоординатне з рухомою колоною замість нижньої каретки

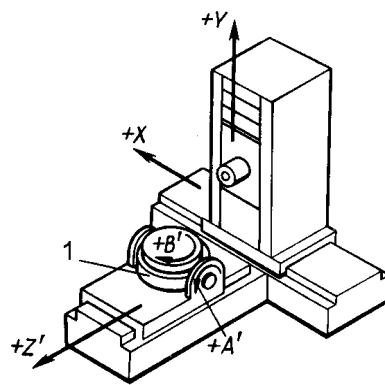
хрестоподібного столу (рис. 3.3, а). Таке компонування поширено у верстатах з довжинами переміщень за координатами X і Z більше 1000 мм;

– п'ятикоординатне з глобусним столом 1 (рис. 3.3, б, г). Таке компонування застосовується у багатоопераційних верстатах з поворотними столами діаметром 600...800 мм і більше для комплексного оброблення заготовок корпусних деталей;

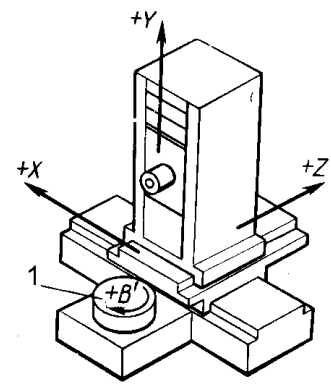
– чотирикоординатне з поворотним столом 1, який розташований на нерухомому блоці, і шпindelною головкою, що переміщується за трьома координатами X , Y і Z . Таке компонування застосовується в агрегатних верстатах з ЧПК (рис. 3.3, в).



а



б



в



г

Рис. 3.3. Зміни компонування базового варіанта та приклади типових деталей

До верстатів з ЧПК, які є основним обладнанням у сучасному машинобудівному виробництві, ставляться такі вимоги:

– велика потужність електродвигуна головного руху і застосування безступінчастого регулювання його швидкості обертання шпинделя;

– підвищена жорсткість несучих частин верстата;

– високі швидкості допоміжних ходів робочих органів, які забезпечують застосування сучасних високошвидкісних приводів подач;

– застосування в приводі подач високомоментних електродвигунів постійного струму з датчиками зворотного зв'язку;

– застосування інструментальних магазинів, що забезпечують автоматичну зміну різального інструменту.

3.2. Пристрої автоматичної зміни інструменту

Зміною інструменту прийнято називати його заміну при переході з одного методу оброблення на інший відповідно до керувальної програми (КП).

Пристрій автоматичної зміни інструменту (АЗІ) для верстатів з ЧПК – це спеціальний комплект обладнання, в якому закріплюється набір необхідних різальних інструментів та забезпечується їх подача в робочу зону в потрібний момент без участі оператора верстата з ЧПК під час заміни.

Основою пристроїв АЗІ є інструментальний магазин. Для автоматичного вибору інструменту з магазинів кодуються гнізда магазинів або хвостовики інструментів. У першому випадку інструменти мають встановлюватися у певні гнізда магазинів, у другому – у будь-які гнізда, оскільки пристрій, що зчитує, вибирає черговий інструмент за його кодом.

Автоматична зміна інструменту можлива внаслідок зміни шпиндельного вузла або інструменту в шпинделі верстата з допомогою автооператорів. Автооператори здійснюють осьові та поворотні рухи, які й сприяють переміщенню інструментів.

3.2.1. Класифікація пристроїв АЗІ

Як пристрої АЗІ у токарних верстатів з ЧПК широко застосовують багатопозиційні револьверні головки. Зміну інструменту здійснюють шляхом повороту револьверної головки за керувальною програмою відповідно до позиції необхідного інструменту.

Пристрої АЗІ свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів складаються з магазинів-накопичувачів різального інструменту; автооператорів для зміни інструменту у шпинделі верстата; проміжних транспортних пристроїв для передачі інструменту до автооператорів або до проміжних позицій очікування зміни інструменту.

Схеми різних магазинів, що застосовуються у пристроях АЗІ, показано на рис. 3.4. У пристроях АЗІ для зміни шпиндельного вузла як магазини застосовують револьверні головки 1 – 3. Етапи автоматичної зміни інструменту – розфіксація, поворот та фіксація револьверної головки. Переваги таких пристроїв – простота конструкції, мінімальний час на зміну інструменту. Недоліки – обмеженість робочої зони, мала ємність револьверної головки.

Дискові магазини шпиндельних вузлів 4 – 6 виготовляють із горизонтальною, вертикальною або похилою віссю повороту. Один із шпиндельних вузлів по черзі приєднується до приводу. При зміні інструменту шпиндельний вузол від'єднується від приводу, магазин повертається в положення, при якому черговий шпиндель встановлюється співвісно з валом приводу і приєднується до останнього.

Перевага пристроїв АЗІ з магазином шпинделів – збільшення місткості магазину, менші обмеження зони оброблення.

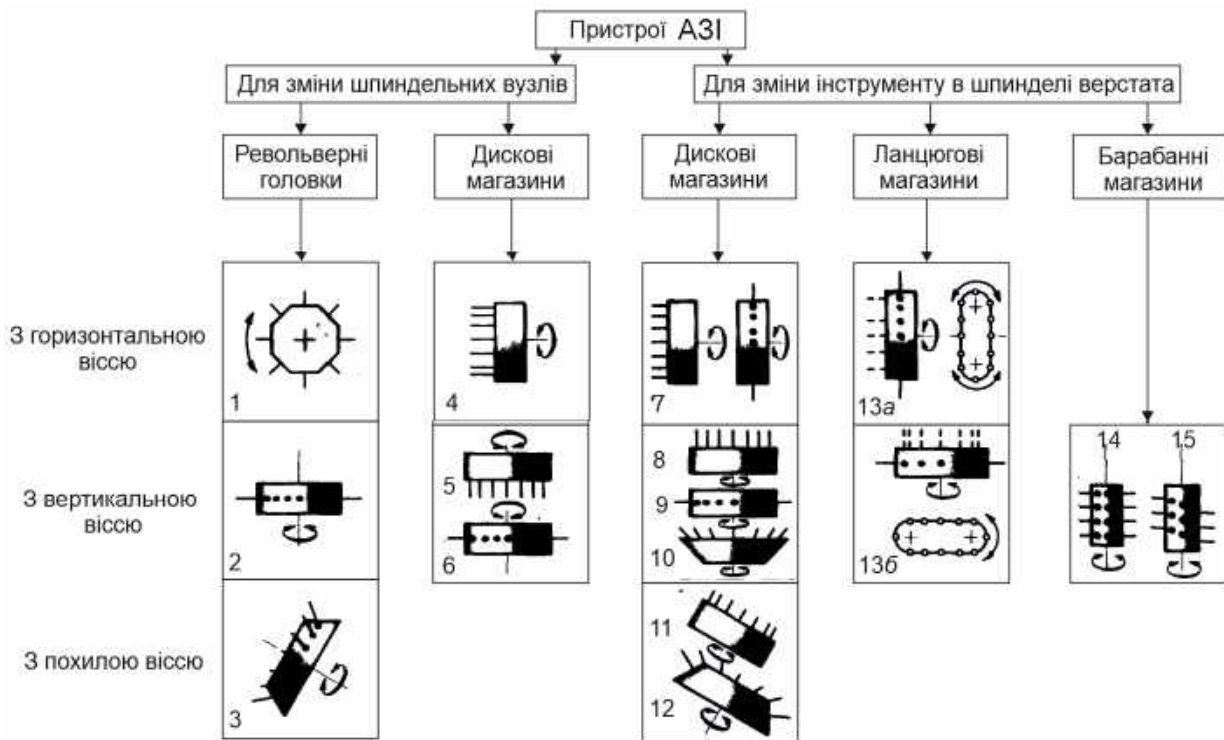


Рис. 3.4. Схеми інструментальних магазинів, що застосовуються у пристроях АЗІ

Пристрої для зміни інструменту в шпинделі верстата виконують на базі дискових ланцюгових або барабанних магазинів-накопичувачів інструменту 7 – 15. Найбільш простою є конструкція пристроїв АЗІ з інструментальними магазинами 8 – 12 дискового типу, встановленими на шпиндельній бабці таким чином, що в одній з його позицій гніздо магазину встановлюється співвісно зі шпинделем верстата. Автоматична зміна інструменту здійснюється поворотом магазину та осьовим переміщенням шпинделя. Після закінчення чергового переходу оправка з інструментом від'єднується від шпинделя та закріплюється в магазині. Потім магазин повертається у положення, при якому черговий інструмент встановлюється співвісно зі шпинделем. Шпиндель з новим інструментом проходить через отвір магазину у позицію обробки. Така конструкція виключає необхідність у спеціальному автооператорі.

У магазинах ланцюгового типу інструменти розміщують у гніздах рухомого ланцюга 13 і подають у проміжну позицію для захоплення автооператором. У барабанних магазинах 14, 15 для інструменту передбачено кілька рядів гнізд, що забезпечують його радіальне розташування.

Револьверні головки прості за конструкцією і компактні. Їх розміщують на шпиндельній бабці верстата. Зміна інструменту виконується поворотом револьверної головки і час на заміну становить 1...3 с. Пристрої АЗІ для токарних верстатів із ЧПК забезпечують зміну інструментів шляхом повороту різцетримача (рис. 3.5, а) або револьверної головки (рис. 3.5, б, в), в яких вони встановлені. Револьверна головка токарного верстата з ЧПК містить електропривід, який забезпечує як зміну позиції, так і фіксацію головки.



Рис. 3.5. Інструментальні магазини токарних верстатів з ЧПК: а – різцетримач на шість позицій; б, в – револьверна головка на 12 позицій

Оскільки у цьому випадку магазин інструментів водночас є і робочим органом верстата, що сприймає відповідні сили різання, до нього ставляться вимоги високої міцності та точності позиціонування.

Пристрої АЗІ без автооператора для фрезерних верстатів з ЧПК сконструйовані так, що перенесення різальних інструментів з магазину до шпинделя верстата і назад реалізується внаслідок рухів, що передаються шпинделю і магазину шпиндельних гільз барабанного типу (рис. 3.6). Привід головного руху забезпечує обертання інструменту, а привід подачі – його осьове переміщення.

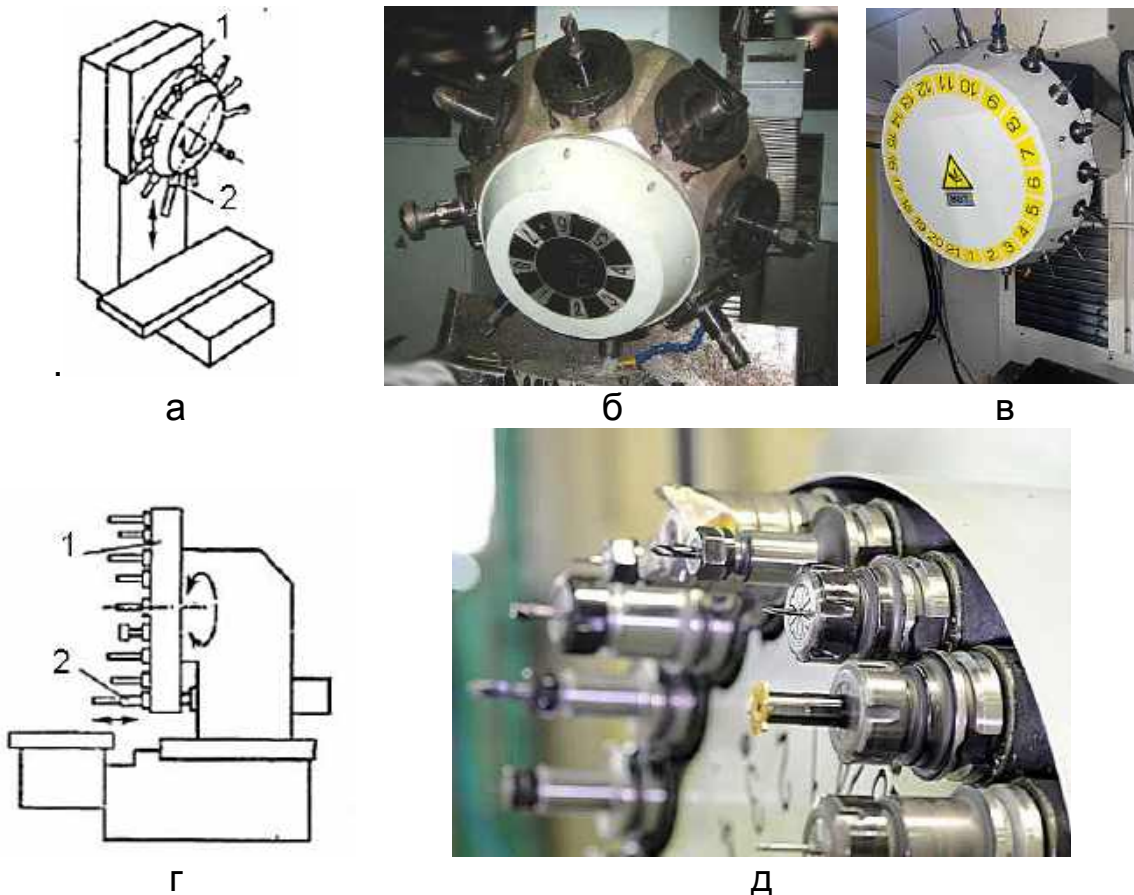


Рис. 3.6. Пристрої АЗІ з магазином, розташованим співвісно зі шпинделем (а, б, в) і паралельно до нього (г, д)

Існує дві основні конструкції таких пристроїв АЗІ:

- магазин інструментів 1 розміщено на одній осі зі шпинделем 2 (див. рис. 3.6, а, б, в);
- осі магазину інструментів 1 і шпинделя 2 паралельні одна до одної (рис. 3.6, г, д).

До недоліків пристроїв АЗІ без автооператора належать:

- складність установа новог інструменту у робоче положення внаслідок переміщення інструментальної корони значної маси;
- відносно невелика місткість магазину (12 – 15 одиниць).

3.3. Компонування пристроїв АЗІ

Для виконання великої кількості технологічних переходів різноманітними інструментами багатоопераційні верстати оснащують інструментальними магазинами, в котрих розміщуються 50 – 100 і більше інструментів.

У верстатах з ЧПК використовуються інструментальні магазини барабанного, ланцюгового, дискового та планетарного типів. Інструмент може розташовуватися паралельно, перпендикулярно або похило до осі обертання шпинделя. Місткість обойми до 40 одиниць здатні забезпечити дискові та барабанні магазини. Для збільшення місткості до 100 одиниць потрібний ланцюговий тип інструментальних магазинів.

Багато верстатів з ЧПК мають систему відстеження процесу оброблення: якщо підвищується навантаження на шпиндель або ламається інструмент, оброблення призупиняється. Після цього потрібно зробити ручну заміну інструменту та знову запустити КП оброблення. Цю проблему можна вирішити збільшенням кількості потрібних інструментів в автоматичному магазині, якщо він має підвищену місткість.

Для зміни інструментів передбачені автооператори, котрі видаляють зі шпинделя інструмент, що відпрацював, й переносять його у магазин, а із магазину дістається наступний інструмент і доставляється до шпинделя верстата. Для автоматичного вибору інструменту з магазинів кодуються гнізда магазинів або хвостовики інструментів. У першому випадку інструменти мають встановлюватися у певні гнізда магазинів, у другому – у будь-які гнізда, оскільки пристрій для зчитування вибирає наступний інструмент за його кодом.

Усі необхідні інструменти закріплюються у спеціальних гніздах (рис. 3.7, а) зі своїм персональним номером. Це полегшує автоматичний пошук та зміну інструменту.

Захоплення інструментальних оправок за шийку здійснюється в радіальному напрямку механізмами захоплення з пружним затискачем кліщового (рис. 3.7, б) або тискового типу. У гніздах магазинів оправку кожного інструменту закріплюють пружними захоплювачами (рис. 3.7, в), які спрацьовують при осьовому переміщенні оправки.

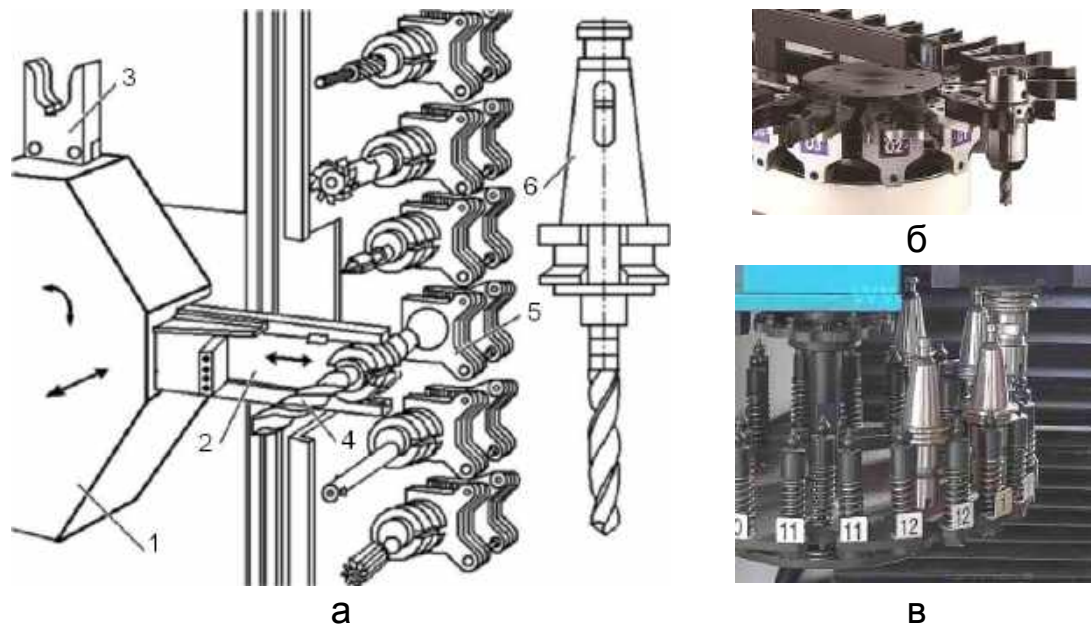


Рис. 3.7. Схема пристрою А3І (а), зовнішній вигляд механізму захоплення (б) та інструментальної обойми (в): 1– корпус захоплювача; 2 – важіль захоплювача; 3 – захоплювач; 4 – інструмент; 5 – гніздо ланцюга інструментальної обойми; 6 – оправка конусна

Механізм А3І містить магазин 1 і автооператор 2 для перенесення інструментів від магазину до шпинделя 3 і навпаки (рис. 3.8).

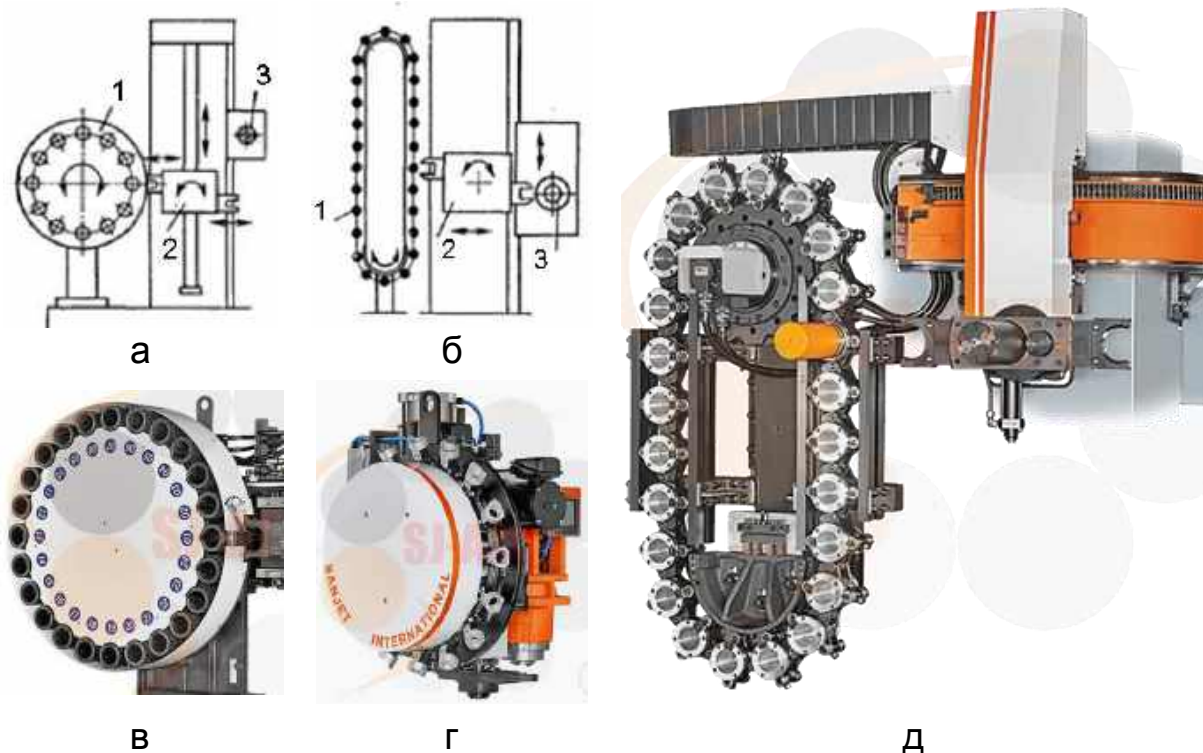


Рис. 3.8. Пристрої для А3І з автооператором і магазином: а, в, г – дисковим; б, д – ланцюговим

На рис. 3.9, а, б показано кінематичну схему зміни інструменту 4 автооператором 3, який переносить інструментальну оправку 2, обертаючись навколо похилої осі, після чого встановлює інструментальну оправку з но-

вим інструментом в шпindelь 1. Загальний вигляд механізму обертання інструментального магазину показано на рис. 3.9, в.

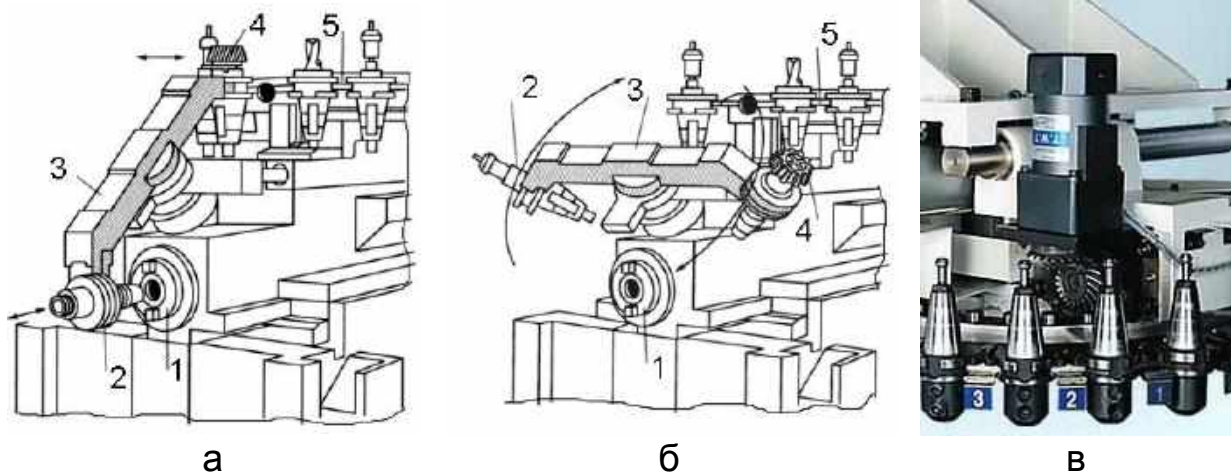


Рис. 3.9. Автоматична зміна інструменту за допомогою автооператора:
а – захоплення інструментальної оправки зі шпинделя; б – заміна інструменту;
1 – шпindelь верстата; 2 – оправка інструментальна; 3 – автооператор;
4 – інструмент; 5 – магазин інструментів; в – механізм обертання магазину

Автооператори за кількістю захоплювачів поділяють на одно-, дво- та багатозахоплювальні. Конструкції однозахоплювальних автооператорів передбачають можливість повороту відносно осі, паралельної або перпендикулярної до осі шпинделя, а також поступального переміщення в площині, перпендикулярній до осі шпинделя.

У багатоопераційних верстатах з паралельним розташуванням осей шпинделя та інструментального магазину (рис. 3.10, а) автооператор 3 при зміні інструменту здійснює хід знизу вгору, захоплює оправку інструменту з гнізда магазину 4 і витягує її у напрямку осі.

Каретка автооператора переміщується вниз і другий захоплювач виймає інструмент зі шпинделя. Шпиндельна бабка 1 відводиться, автооператор повертається на 180° , після чого шпиндельна бабка повертається у вихідне положення. Автооператор ходом уздовж осі заштовхує інструмент у шпindelь, де він автоматично закріплюється. Потім цикл заміни різального інструменту повторюється.

Коли осі інструменту та шпинделя паралельні (рис. 3.10, б), заміна інструменту виконується таким чином. Після розкріплення оправки в шпинделі 2 автооператор 3 забирає її разом з інструментом, що відпрацював, і одночасно забирає з гнізда магазину 4 наступний інструмент. При ході вниз автооператор витягує оправки зі шпинделя та магазину, повертається на 180° навколо своєї осі, змінює інструмент місцями та піднімає його вгору, у шпindelь та магазин.

Після заміни інструменту автооператор повертається в нейтральне положення, що не перешкоджає вертикальному переміщенню шпинделя під час оброблення.

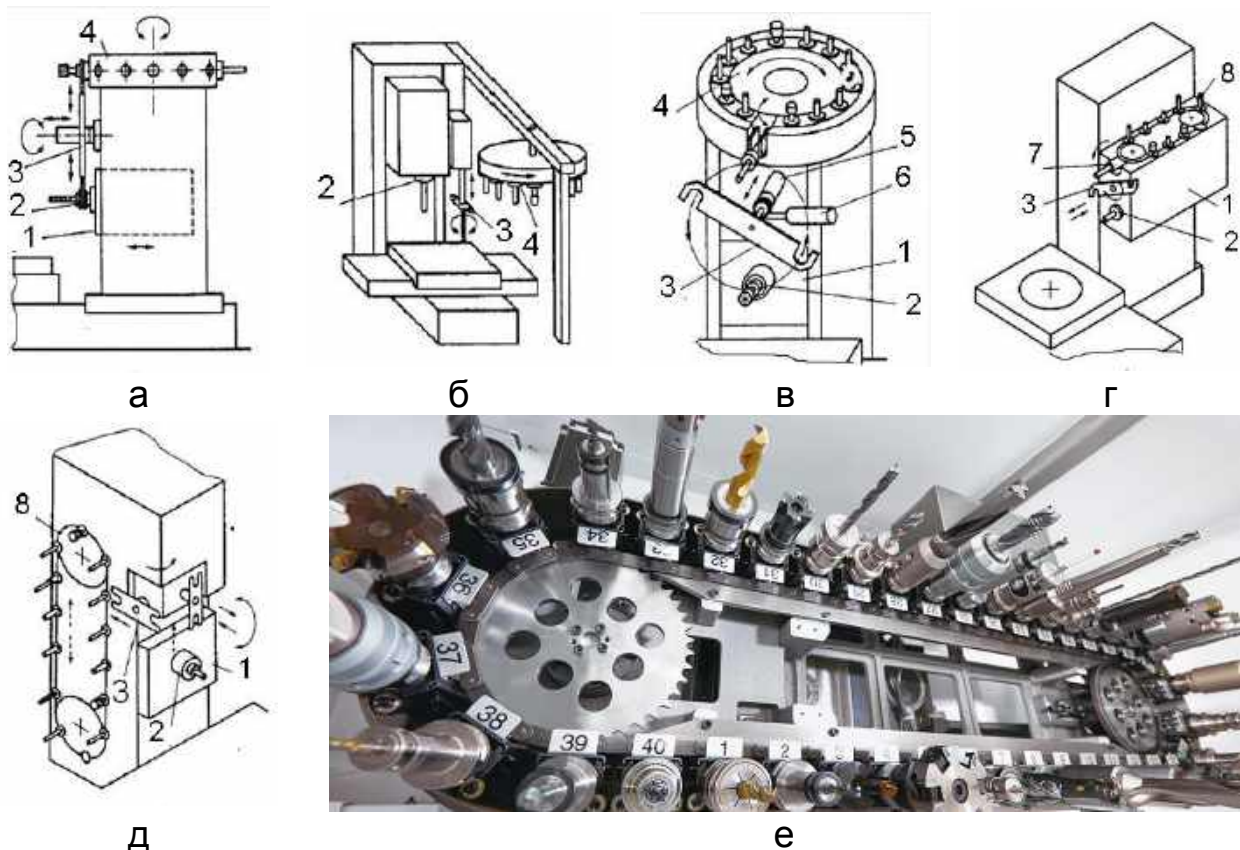


Рис. 3.10. Схеми АЗІ залежно від взаємного розташування осей інструменту і шпинделя: а, б – при паралельному розташуванні; в, г, д – при перпендикулярному розташуванні; е – ланцюговий магазин на шпиндельній бабці; 1 – бабка шпиндельна; 2 – шпиндель; 3 – автооператор; 4, 8 – магазини інструментальні; 5, 6 – гідроциліндри; 7 – кантувач

У пристрої АЗІ, показаному на рис. 3.10, в, оправки, потрапляючи в гніздо магазину 4, повертаються в горизонтальне положення і вісь інструменту стає паралельною до осі шпинделя 2. Автооператор 3 за допомогою гідроциліндра 6 і рейково-зубчастої передачі обертається навколо своєї осі, одночасно захоплюючи оправку інструменту, що знаходиться в гнізді магазину та шпинделя. Потім за допомогою гідроциліндра 5 автооператор ходом уздовж своєї осі витягує інструмент з магазину та шпинделя, повертається з ним на 180° та міняє інструмент місцями.

На рис. 3.10, г, д показано пристрої АЗІ на базі ланцюгового інструментального магазину 8, розташованого в першому випадку на шпиндельній бабці 1, а в другому – збоку від неї.

Розташування інструментів на шпиндельній бабці скорочує час заміни інструменту, оскільки його заміна не потребує позиціонування шпинделя відносно інструментального магазину.

До недоліків таких систем можна віднести те, що завантаженість магазину інструментами може спричиняти пружні деформації в шпинделі, що у свою чергу негативно впливає на точність оброблення.

Кращим рішенням вважається розміщення інструментальних магазинів на окремій рамі поряд зі шпинделем (рис. 3.11).

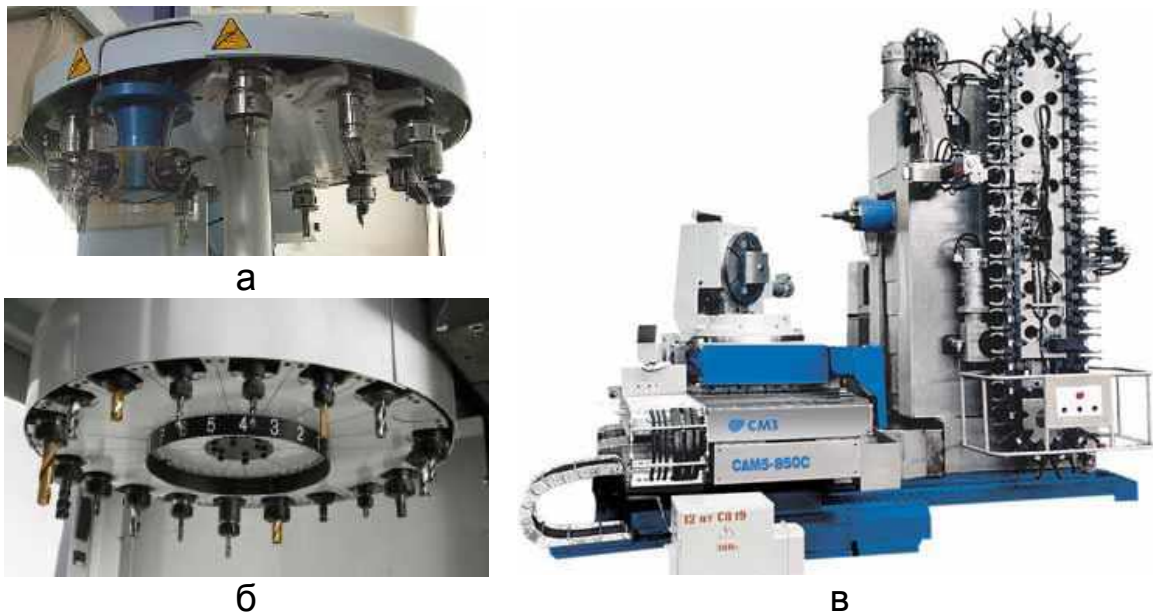


Рис. 3.11. Розміщення дискового (а, б) та ланцюгового (в) магазинів на окремій рамі

У такому випадку виключається вплив маси інструментального магазину на колону верстата та шпindel зокрема.

Як можна бачити, пристрої АЗІ для універсальних токарних, фрезерних та багатоопераційних верстатів із ЧПК досить різноманітні. Оскільки зміна інструменту на робочій позиції протягом однієї години виконується приблизно 20 – 30 разів, застосування пристроїв АЗІ значно підвищує продуктивність оброблення та безпосередньо впливає на формування технологічних можливостей верстатів з ЧПК.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте загальні особливості компонування багатоопераційних верстатів із ЧПК.
2. Прокоментуйте п'ять типових компонувань багатоопераційних верстатів із ЧПК.
3. Назвіть етапи зміни інструменту в револьверній головці.
4. Яке компонування мають магазини-накопичувачі інструменту в пристроях АЗІ?
5. Як сконструйовані пристрої АЗІ без автооператора для фрезерних верстатів із ЧПК?
6. Для чого передбачено автооператори в пристроях АЗІ?
7. Назвіть етапи автоматичної зміни інструменту за допомогою автооператора.

4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИДАЛЕННЯ СТРУЖКИ

За ДСТУ 2391–94 оброблення різанням – вид механічного оброблення, яке полягає в утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки.

Остаточне оброблення виконується різанням, яке полягає в знятті з поверхонь заготовки певного шару металу, що залишається спеціально для цього. Шар металу, що знімається з металу, називається припуском на оброблення. У результаті видалення припуску заготовка набуває точніших форми, розмірів та заданої шорсткості поверхонь, тобто перетворюється на деталь.

Різальний інструмент виконує дві функції:

- формоутворення поверхні деталі;
- перетворення зрізаного припуску на стружку і видалення стружки із зони різання.

Стружкоутворення, зношування поверхонь леза і утворення нової поверхні на заготовці здійснюються одночасно і дуже тісно взаємозв'язані. Вони в сукупності складають деяку цілісність, яка характеризується зв'язаністю частин, що її складають, і може бути подана у вигляді замкнутого кола, в якому всі елементи обумовлюють один одного. Ця цілісність називається *системою різання* (рис. 4.1).

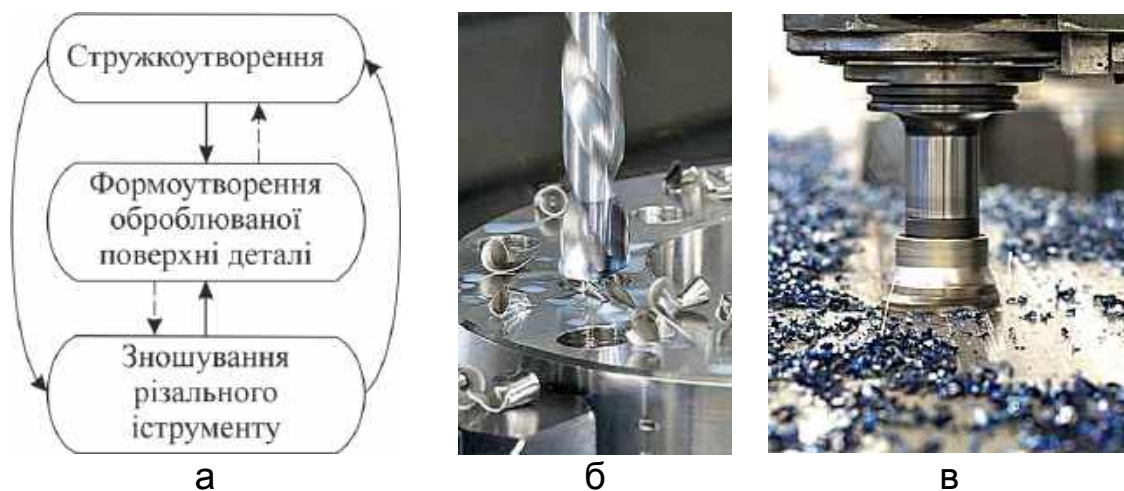


Рис. 4.1. Система різання (а) та приклади формоутворення поверхні деталі (б, в) з перетворенням зрізаного припуску на стружку

Характер взаємозв'язків між окремими елементами системи різання характеризується наявністю прямих і зворотних дій. Так, в ланцюгах «Стружкоутворення – Формування обробленої поверхні», «Зношування різального інструменту – Формування обробленої поверхні» та «Стружкоутворення – Зношування різального інструменту» існують як прямі зв'язки, так і зворотні, тобто елементи системи різання між собою тісно пов'язані і взаємно впливають один на одного.

Система різання є підсистемою замкнутої динамічної системи верстата. Остання містить пружну систему «верстат – пристрій – інструмент –

деталь» (ВПІД) та процеси, що відбуваються в рухомих сполученнях елементів пружної системи.

Обробка різанням є складним і дорогим процесом, який відрізняється значною трудомісткістю і значними втратами металу (при масовому виробництві зі стружкою втрачається 5...15 % металу, а при дрібносерійному і одиничному – до 25 %).

4.1. Типи стружки при різанні металів

Відповідно до класифікації І. А. Тіме при різанні конструкційних матеріалів утворюються чотири види стружки: елементна, суставчаста, зливна і надламу (рис. 4.2).

Елементну, суставчасту, зливну називають стружками зсуву, оскільки їх утворення пов'язане з напруженнями зсуву. Стружку надламу іноді називають стружкою відриву, оскільки її утворення пов'язане з напруженнями розтягу. Основною ознакою зливної стружки є її суцільність, вона сходиться безупинною стрічкою, завиваючись у плоску або гвинтову спіраль.

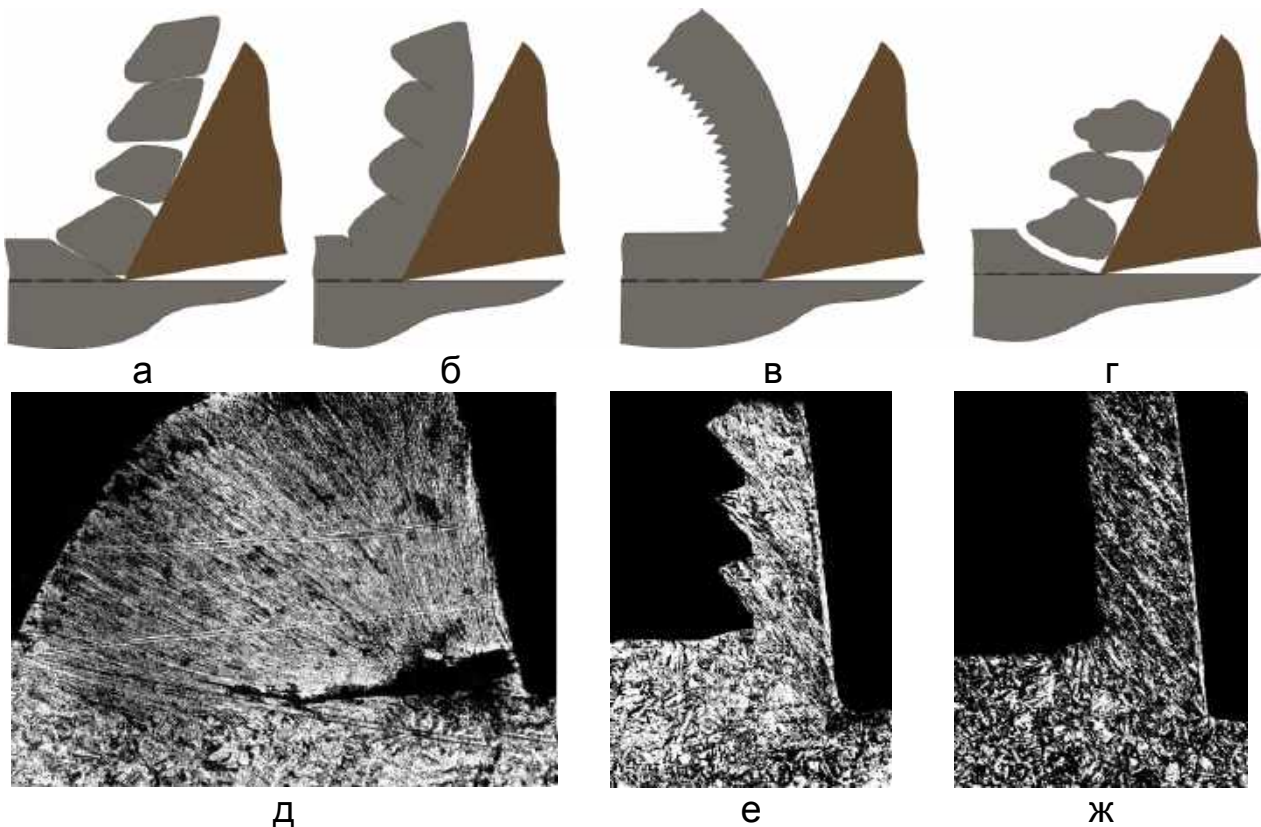


Рис. 4.2. Типи стружок, які утворюються при різанні матеріалів: а, д – елементна; б, е – суставчаста; в, ж – зливна; г – надламу

Елементна стружка (див. рис. 4.2, а) складається з окремих сильно деформованих, слабо пов'язаних між собою елементів приблизно однакової форми та розмірів. Вона утворюється при обробленні твердих матеріалів на низьких швидкостях різання, при малих передніх кутах інструменту і великих товщинах шару, що зрізається. При різанні виникає вібрація, що погіршує шорсткість обробленої поверхні.

Суставчаста стружка (див. рис. 4.2 б, е) складається з окремих елементів у формі трапеції, які деформовані по площині зсуву, а всередині елемент деформований менше. Нерівномірність навантаження на інструмент нижче, оскільки елементи повністю не сколюються. Зношування різального інструменту відбувається як по передній, так і задній поверхнях.

Зливна стружка (див. рис. 4.2, в, ж) являє собою суцільну, постійну за товщиною стрічку. Контактна з інструментом сторона стружки гладка, зовнішня – шорстка. Зливна стружка сходиться на передній поверхні інструменту з більшою швидкістю і зношує її у вигляді лунки. Зношується і задня поверхня, але меншою мірою. Ця стружка найнебезпечніша з позицій техніки безпеки для верстатника.

Стружка надлому (див. рис. 4.2, г) утворюється при різанні крихких матеріалів (чавун, бронза). Вона складається з окремих частинок різної форми та матеріалів. Процес стружкоутворення відбувається внаслідок пружних деформацій.

З геометричних параметрів на тип стружки найбільш сильно впливають передній кут γ і кут нахилу λ головної різальної кромки. При обробленні пластичних матеріалів зі збільшенням кутів γ і λ елементна стружка перетворюється на суставчасту, а потім – на зливну.

Тип стружки багато в чому залежить від роду і механічних властивостей оброблюваного матеріалу. При різанні пластичних матеріалів можливе утворення перших трьох видів стружки. В міру збільшення твердості й міцності зливна стружка перетворюється на суставчасту, а потім – на елементну. При обробленні крихких матеріалів утворюється або елементна стружка, або стружка надламу. Збільшення подачі призводить при різанні пластичних матеріалів до послідовного перетворення зливної стружки на суставчасту та елементну.

4.2. Технологічні методи дроблення стружки

Видалення стружки із зони різання – одна з важливих умов надійної, якісної та високопродуктивної обробки виробів на металорізальному обладнанні з ЧПК. Наявність стружки призводить до появи дефектів на оброблюваній поверхні, передчасного зношування різального інструменту, його затуплення і поломки.

Для надійної роботи системи видалення та перероблення стружки має бути забезпечена необхідна однорідна фракція стружки (зазвичай довжиною 10...20 мм). Різноманітність різальних інструментів, форм і матеріалів оброблюваних заготовок призводить до утворення стружки різних форм і розмірів, що залежать від виду, режимів оброблення та фізико-механічних властивостей матеріалу, що обробляється.

Тому першим із технологічних заходів, пов'язаних з видаленням стружки із зони різання, є її формування.

У машинобудуванні застосовують такі технологічні методи формування (дроблення) стружки:

1. Вибір геометрії різальної частини інструменту, при якому використовують стружколами у вигляді лунок, уступів або канавок, що виконуються на гранях різальної кромки різця. Застосування накладних стружкоколів.

2. Вибір режимів різання, при яких має місце ефект стружколамання.

3. Вибір схем переміщення інструменту короткими ходами.

4. Переривання подачі.

5. Формування стружкорозділювальних спіральних канавок.

6. Додаткові переміщення інструменту.

Рекомендовані сфери застосування кожного з перелічених методів залежно від видів обробки та матеріалів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Методи дроблення стружки

Технологічна операція	Конструкційні матеріали, що обробляються			
	Сталі			
	Конструкційні	Високовуглецеві	Нержавіючі	Жароміцні
	Метод дроблення стружки			
Свердління	4	4	4	4
Точіння чорнове	2	2	4, 6	4, 6
Розточування чорнове	2	2, 3	4, 6	4, 6
Точіння канавок	1, 3	1, 3	3, 4	1, 4
Точіння чистове	1, 5	1, 5	5	5
Розточування чистове	1, 5	1, 5	5	5

Примітка. Прийняті позначення: 1 – вибір геометрії різальної частини інструменту; 2 – вибір режимів різання; 3 – вибір схем переміщення інструменту; 4 – переривання подачі; 5 – формування стружкорозділювальних канавок; 6 – додаткові переміщення.

Методи 3, 4, 5, 6 реалізують шляхом програмування для забезпечення формування стружки за будь-якою схемою. Розглянуті методи формування стружки можуть бути використані для токарних верстатів з ЧПК (рис. 4.3, а – в) і для багатоопераційних верстатів з ЧПК свердлильно-фрезерно-розточувальної групи (рис. 4.3, г, д).

Криволінійна передня поверхня з фаскою (див. рис. 4.3, а) застосовується на різцях, якими обробляють в'язкі матеріали, що дають зливну стружку. Дужка радіусом R сприяє завиванню і дробленню стружки і видаленню її із зони різання. Розміри дужки залежать від товщини зрізуваного шару: чим більше товщина зрізу, тим більше радіус R і ширина дужки. Для цієї форми передньої поверхні необхідно взяти таку геометрію: передній кут $\gamma = 25...30^\circ$ для різців зі швидкорізальних інструментальних матеріалів і $\gamma = 16...20^\circ$ – для твердосплавних різців.

Ширина фаски f різця зазвичай береться такою, що дорівнює $0,3S$, де S – подача на оберт, але не більше $0,25$ мм.

При фрезеруванні кінцевими, циліндричними та фасонними фрезами стружку дроблять інструментом із зубами, сегментованими по різальних кромках (див. рис. 4.3, г, д).

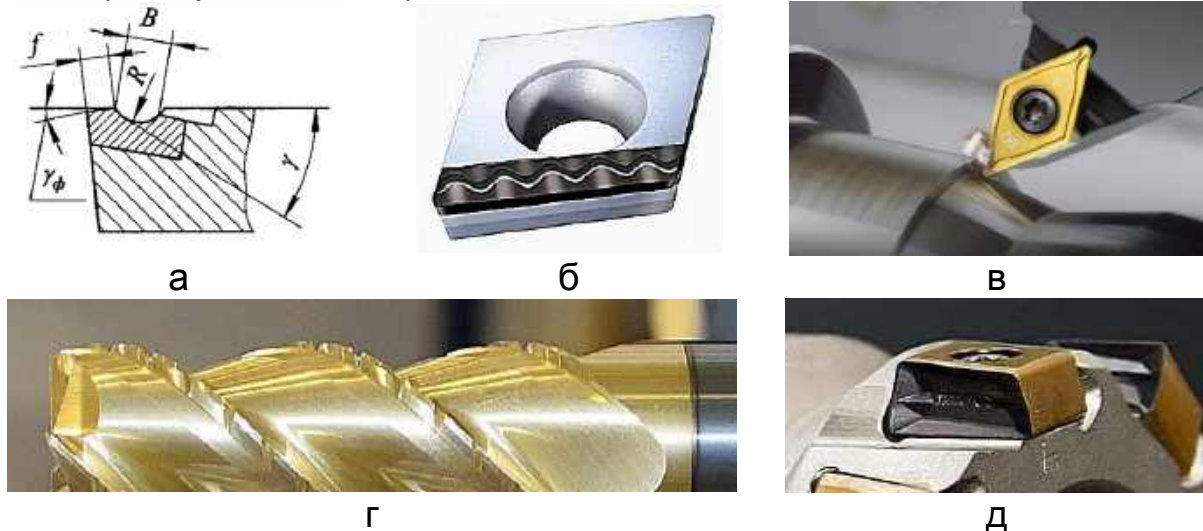


Рис. 4.3. Конструкція різального інструменту зі стружколамами

Найбільш ефективними є комбіновані пристрої для уловлювання та відведення стружки та пилу із зони різання через систему трубопроводів за допомогою стисненого повітря. Такі комбіновані пристрої покладено в основу конструкцій як навісних агрегатів, що відсмоктують стружку та пил, так і пересувних агрегатів універсального застосування.

Контрольні запитання

1. Які дві функції виконує різальний інструмент?
2. Назвіть види стружки, які утворюються при різанні конструкційних матеріалів.
3. Як впливають умови оброблення на типи стружки, які виникають при різанні?
4. Яка стружка є найнебезпечнішою з позицій техніки безпеки для верстатника?
5. Назвіть технологічні методи формування (дроблення) стружки.
6. Як уловлюють і відводять стружку та пил із зони різання?

5. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОНОЛІТНИХ ПАНЕЛЕЙ З ПЛИТ

У конструкціях сучасних літаків широко використовують монолітні металеві вузли, серед яких велику групу складають так звані монолітні панелі, в яких полотно обшивки та елементи каркаса (ребра) є одним цілим.

Застосування монолітних вузлів і панелей з плит у конструкціях літаків обумовлено низкою переваг порівняно з іншими конструкційними матеріалами, у тому числі і з композиційними матеріалами.

Монолітні панелі з плит є деталями, в яких обшивку виконано як одне ціле з елементами каркаса (ребрами) і які розрізняються за типом ребра:

- вафельні панелі з ребрами, що перетинаються (виготовляються механічною обробкою з плити);

- стрингерні панелі з ребрами в перерізі Г-подібної, Т-подібної або штирової форми, розташованими тільки в поздовжньому напрямку (одержують прокаткою або пресуванням);

- різновтовщинні плити, що являють собою клинову або ступінчасту обшивку, які одержують механічною обробкою з плоскою або профільованою прокаткою плити з посиленнями під стрингери та нервюри (застосовуються в збірно-монолітній конструкції панелі).

За видом утвореної поверхні монолітні панелі з плит можуть бути такими, що розгортаються і не розгортаються, які в свою чергу підрозділяються за способом побудови поверхні.

Панелі, що не розгортаються з перегином або криволінійною твірною, застосовуються як крилові або фюзеляжні обшивки подвійної кривизни і через відсутність ефективних механізованих методів серійного виробництва є нетехнологічними. В окремих випадках такі типи поверхонь можуть бути одержані з різновтовщинної плити або стрингерної заготовки.

Перспективні конструкторські рішення залежать від ефективності застосування монолітних вузлів, що визначається з урахуванням великої кількості конструкторських, технологічних та економічних параметрів.

На рис. 5.1 показано варіанти застосування монолітних вузлів і панелей з плит у конструкціях літаків, які використовуються нині і стали традиційними, а також варіанти, що є перспективними.

Так, наприклад, використання монолітних панелей з плит у конструкції кесонів крил сучасних літаків вважається тривіальним, а їх застосування у конструкції фюзеляжів останніми роками породжено значним зростанням обсягу складальних робіт на літаках великих габаритів.

Аналіз відомих схем конструктивно-технологічного членування літаків показує, що перспективним є застосування монолітних панелей з плит у випадках, коли досягається висока ефективність масових та економічних показників. Вартість монолітних панелей з плит істотно залежить від усіх технологічних процесів, що застосовуються як при виробництві заготовок, так і на всіх етапах оброблення та формозміни монолітних панелей.

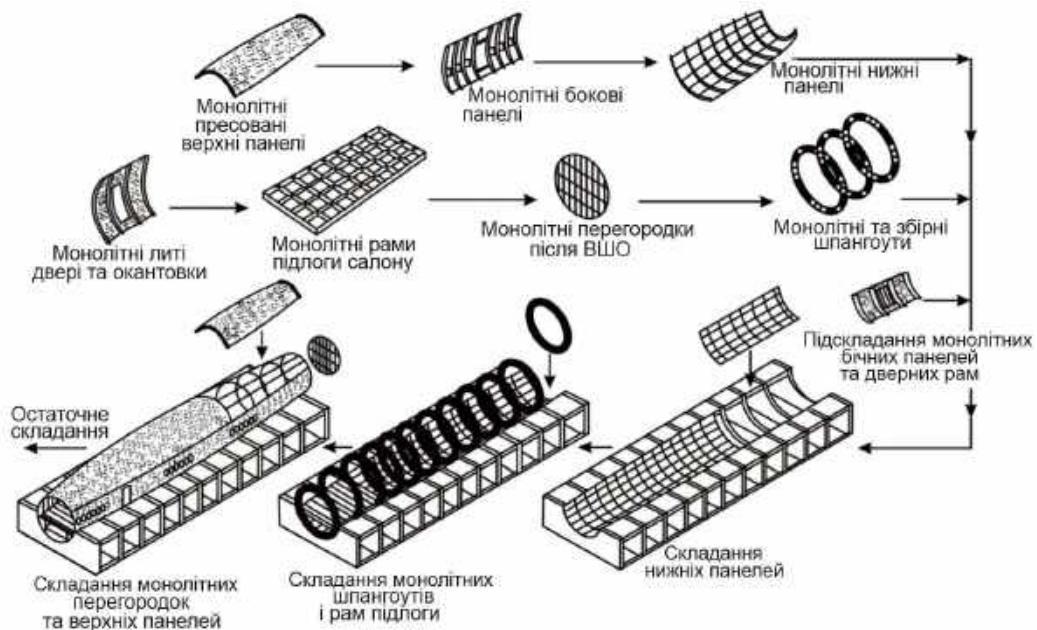


Рис. 5.1. Схема застосування монолітних вузлів та панелей з плит у конструкції фюзеляжів літаків

На авіаційних підприємствах заготовки монолітних панелей з плит обробляють на довгоходових фрезерних верстатах з ЧПК із рухомими порталами. У проміжках між фрезерними операціями виконується необхідне механічне виправлення площинності панелі. Завершальними технологічними операціями є операції формоутворення згідно з зовнішніми обводами агрегату, а також операції забезпечення заданого ресурсу.

5.1. Технологічні варіанти виробництва монолітних панелей з плит

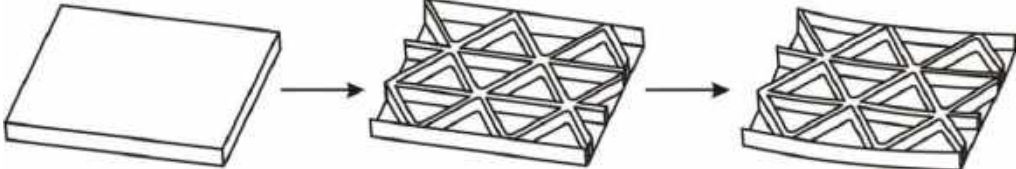
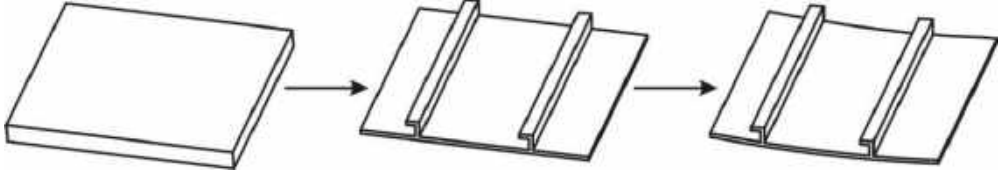
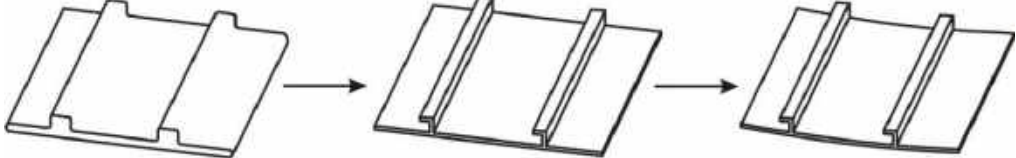
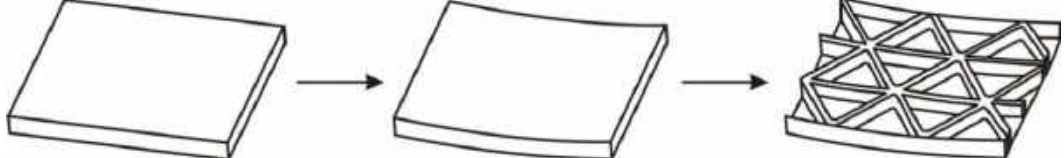
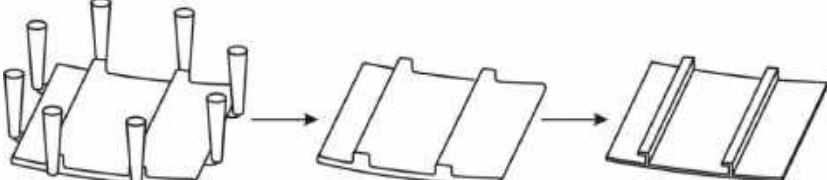
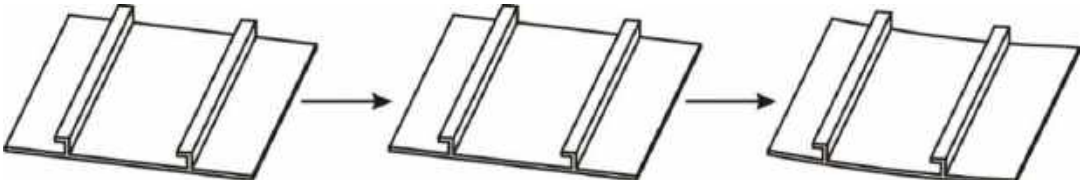
Формоутворення плоских монолітних панелей з плит є складним технологічним процесом, що відрізняється великою трудомісткістю та високою кваліфікацією робітника. Труднощі, що виникають при формоутворенні панелей, обмежують можливості створення складних форм поверхні, тому в конструкціях літаків застосовуються монолітні панелі з плит в основному одинарної та невеликої подвійної кривизни.

У табл. 5.1 наведено основні технологічні варіанти виробництва монолітних панелей з плит, які використовуються в авіаційній промисловості різних країн. Вибір того чи іншого варіанта застосування монолітної панелі з плити в конструкції літака або вибір заготовки, що застосовується, залежить від безлічі техніко-економічних показників, за якими оцінюється ефективність застосування вибраного варіанта.

Вибір варіанта заготовки іноді роблять за окремими показниками технологічності. Наприклад, варіанти А, Б, Г часто вважаються нетехнологічними у зв'язку з низьким коефіцієнтом використання матеріалу, в той же час вони є кращими в одиничному та дрібносерійному виробництвах.

Варіанти В, Д, Е дають змогу заощаджувати матеріал, але їх застосування пов'язане з використанням дорогих процесів та обладнання для отримання заготовок литтям, пресуванням або прокаткою.

Технологічні варіанти виробництва монолітних панелей з плит

Варіант	Опис
А	<p>Вафельні панелі, фрезеровані з плити та підкріплені у двох напрямках з подальшим формоутворенням за контуром</p> 
Б	<p>Панелі, фрезеровані з товстої плити з прямолінійним ребренням та подальшим формоутворенням за контуром</p> 
В	<p>Панелі, фрезеровані з профільованої пресованої заготовки з прямолінійними ребрами та подальшим формоутворенням за контуром</p> 
Г	<p>Панелі з відформованої за контуром товстої плити з наступним п'ятикоординатним фрезеруванням вафельного ребрення</p> 
Д	<p>Литі панелі з найбільшими можливими розмірами та подальшим з'єднанням заклепками або зварюванням</p> 
Е	<p>Пресовані монолітні панелі з полотном та ребренням з перерізом, близьким до заданого, з подальшим трикоординатним фрезеруванням, формоутворенням за контуром та з'єднанням заклепками або зварюванням</p> 

Прикладом технологічного варіанта Д (див. табл. 5.1) виробництва монолітних панелей з плит є виготовлення корпорацією Lockheed Martin багатоцільового пілотованого модуля (MPCV) для космічного корабля NASA «Оріон». Конструктивно герметична капсула (рис. 5.2, а) модуля виконана з литих панелей конічної та циліндричної форм із зовнішнім ребренням (рис. 5.2, б, в), які після механічної обробки з'єднують між собою методом зварювання тертям з перемішуванням.

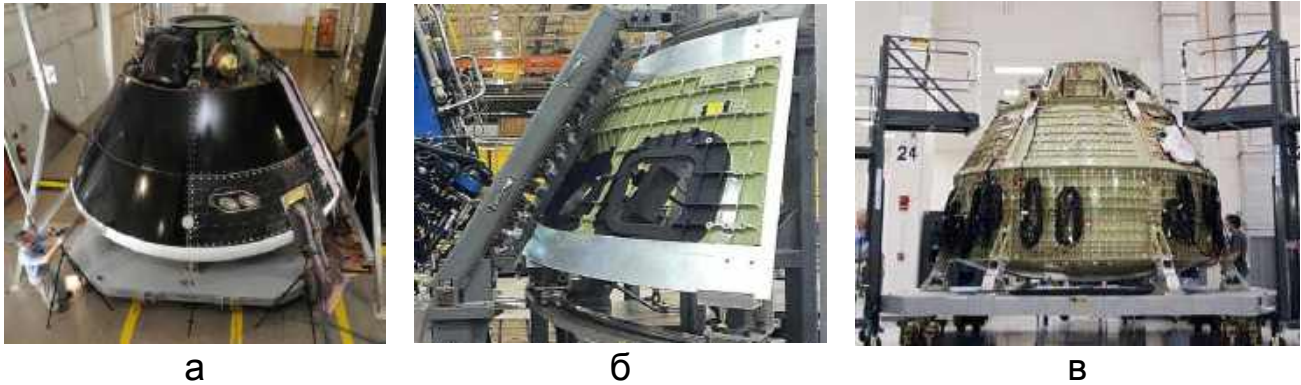


Рис. 5.2. Капсула з литих панелей із зовнішнім ребренням

Під час руху інструменту на стику зварюваних поверхонь відбувається перемішування та перенесення металу з утворенням зварного шва. Метод зварювання тертям з перемішуванням створює вакуум-щільне з'єднання, міцніше порівняно з традиційними методами зварювання.

5.2. Переваги та недоліки застосування монолітних панелей з плит

Застосування монолітних панелей з плит у конструкціях літаків виправдане лише у випадках суттєвого поліпшення експлуатаційних характеристик виробів. Геометричні розміри монолітних панелей з плит та місця їх розташування у планері вибирають з урахуванням міцності, ресурсу та маси конструкції. Створення літаків великої вантажопідйомності потребує вирішення низки науково-технічних завдань, пов'язаних з отриманням заготовок великих габаритів, та розроблення технологічних процесів їх оброблення, формозміни та зміцнення.

У конструкції важких літаків знайшли широке застосування монолітні панелі з плит, які мають низку технологічних і конструктивних переваг порівняно зі збірною конструкцією. Такі панелі дають змогу зменшити масу конструкції за рівної міцності, підвищити ресурс літака, зменшити обсяг складальних робіт, застосувати місцеву герметизацію замість суцільної.

Важливою перевагою монолітних панелей з плит є суттєве зменшення обсягу складальних робіт, особливо під час виробництва літаків великої вантажопідйомності. Зменшення кількості вхідних деталей дає змогу знизити обсяг та терміни підготовки виробництва, а також кількість необхідного оснащення.

Однак при використанні монолітних панелей з плит знижується коефіцієнт використання матеріалу порівняно зі збірною конструкцією.

При виготовленні монолітної конструкції необхідно підвищувати потужність верстатного обладнання, вартість напівфабрикатів, подовжувати цикл виробництва. Серйозною технологічною проблемою є формоутворення монолітних панелей з плит, особливо у зв'язку з тенденцією збільшення габаритів панелей.

5.3. Конструктивні особливості монолітних панелей з плит

Монолітні панелі із заготовок у вигляді плит обробляють на фрезерних верстатах з ЧПК, що дають змогу отримувати великогабаритні обводоутворювальні деталі крила, центроплана та фюзеляжу сучасних літаків, насамперед аеробусів та надзвукових винищувачів, з будь-якою необхідною конструктивною схемою підкріплювального силового набору (рис. 5.3).



а



б



в



г



д

Рис. 5.3. Приклади конструкції монолітних фрезерованих панелей з плит:
а – вафельна; б – стрингерна з фітингом; в – кесонна з люками;
г – гофрована; д – ромбічна

Зняття зайвої частини матеріалу заготовки панелі з плити досягається фрезеруванням з різними формами переходів у плані та радіусами жолобів. У результаті фрезерування одержують ступінчасте зменшення товщини полотна панелі до необхідної величини – вибірки.

Найбільш поширені вибірки, що мають форму у плані двох типів:

– перехід з прямою лінією жолоба перпендикулярно до дії основного силового потоку;

– перехід, що має форму півеліпса.

Як приклад розглянемо типові зміни вибірки монолітних панелей крила двох регіональних пасажирських літаків різних авіаційних виробників.

Передня панель крила першого літака є монолітною суцільнофрезерованою конструкцією, що має вибірки першого типу. Загальний вигляд панелі та її тривимірну модель показано на рис. 5.4. Розглянуто елемент панелі, що має дві типові вибірки з різними геометричними параметрами.

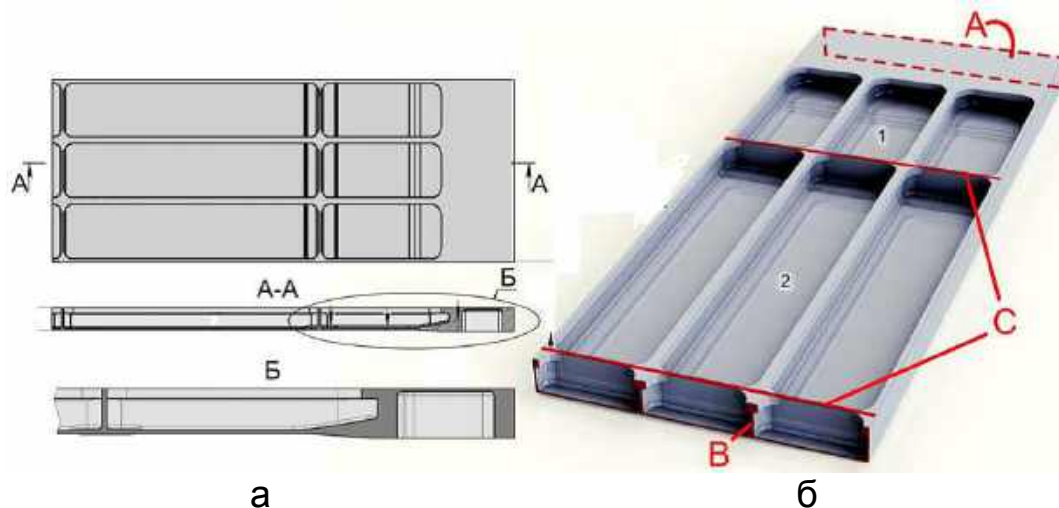


Рис. 5.4. Передня панель крила першого літака: а – загальний вигляд панелі; б – тривимірна модель

Короткій вибірці з боку фітингового стику присвоєно № 1, довгій вибірці від полотна до ребра – № 2 (див. рис. 5.4, б). У вибірці № 1 здійснено переходи від товщини 19,5 мм до товщини 3 мм жолобами радіусами більше 100 мм і з товщини 2,5 мм на 5 мм жолобом радіусом 20 мм. У вибірці № 2 здійснено перехід від товщини 3 мм до 5 мм жолобом радіусом 20 мм.

Найбільш небезпечними зонами монолітних панелей з плит є жолобоподібні переходи, в яких реалізується неоднорідне поле напружень. Навантаженість таких зон визначається комбінацією місцевих напружень, що спричиняються від локального вигину в результаті зміни товщини полотна панелі, і напруження від галтельного переходу.

Типовий розрахунковий випадок (див. рис. 5.4, б) – жорстке закріплення грані А та відсутність переміщень уздовж вертикальної осі та поворотів навколо горизонтальної осі по вертикальній грані В з урахуванням навантаження поперечних ребер у площині С.

Центральна панель крила з технологічними отворами першого літака є монолітною суцільнофрезерованою деталлю з вибірками як першого, так і другого типів. Загальний вигляд панелі та її тривимірна модель показано на рис. 5.5.

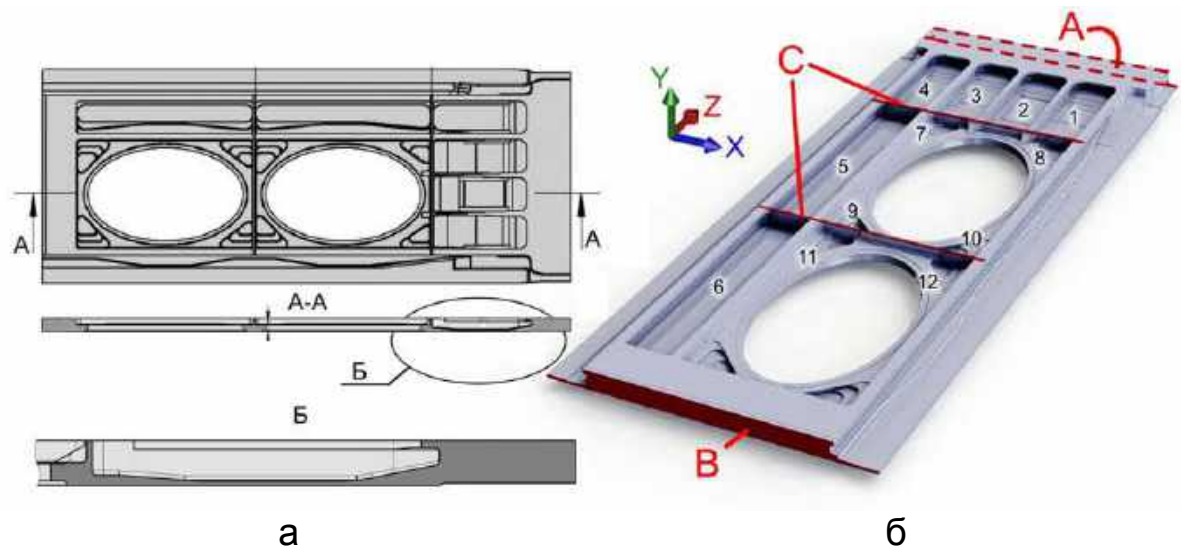


Рис. 5.5. Центральна панель крила першого літака:
а – загальний вигляд; б – тривимірна модель

Розглянутий елемент монолітної панелі з плити має шість вибірок першого типу та вісім другого типу з різними геометричними параметрами. У вибірках № 1 – 4 здійснено переходи з товщини 19,5 мм на товщину 3 мм галтелями радіусами понад 100 мм.

Загальний вигляд панелі та її тривимірну модель другого аналізованого літака показано на рис. 5.6.

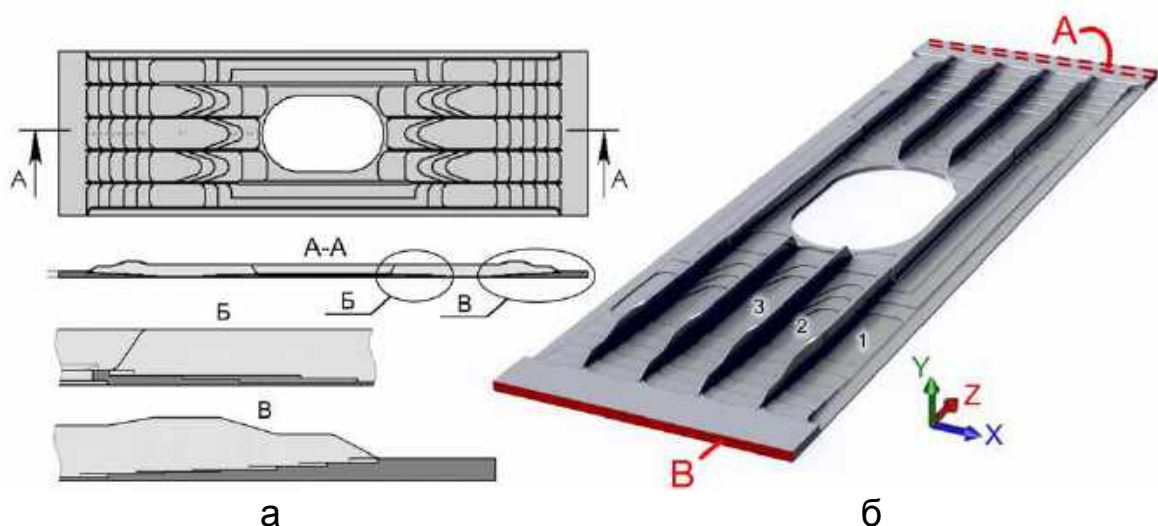


Рис. 5.6. Центральна панель з плити крила другого літака:
а – загальний вигляд; б – тривимірна модель

Центральна панель крила з технологічними отворами є монолітною суцільнофрезерованою деталлю, що містить вибірки обох зазначених вище типів. Товщина панелі змінюється поступово переходами з 20 на 3 мм.

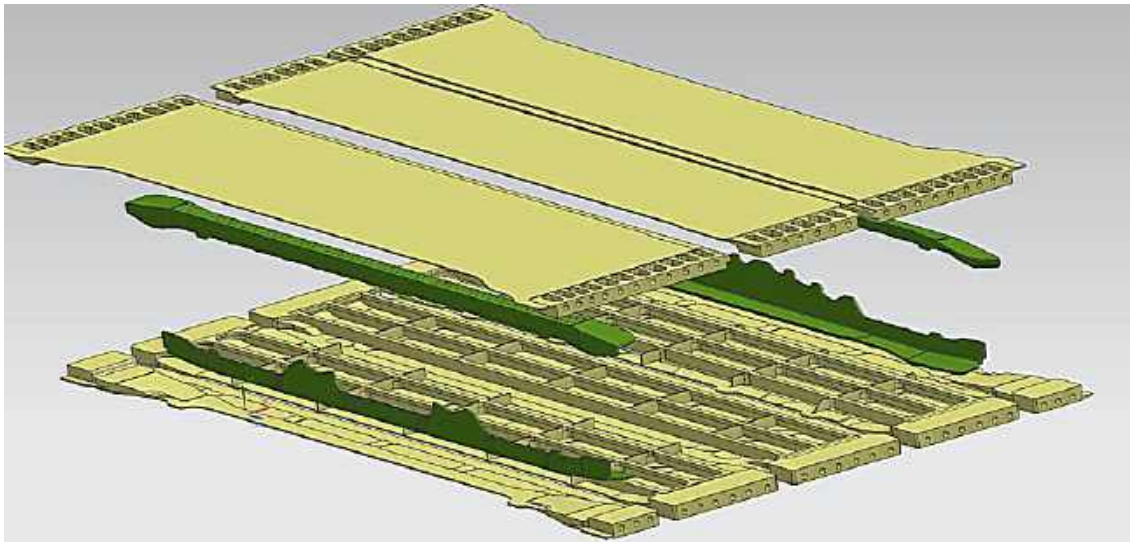
5.4. Технологія виготовлення монолітних панелей із плит

Панелювання конструкції планера літака – це процес технологічного членування агрегатів, відсіків та секцій на збірні та монолітні панелі. Використання монолітних панелей з плит дає значну економію маси шляхом застосування напівфабрикатів з більш високими механічними показниками, збільшує надійність герметизації паливних відсіків унаслідок зменшення кількості отворів, знижує трудомісткість складальних робіт.

Нині фітингові стики досить широко використовують у конструкції планера літака. Це пов'язано з тим, що більшість сучасних пасажирських і транспортних літаків мають значну злітну масу і, отже, високу інтенсивність навантажень у зоні стикування крила з фюзеляжем.

Найчастіше з'єднання такого типу виконують за двома схемами:

- монолітні, коли зону фітингових колодязів фрезерують разом із панеллю із цільного напівфабрикату у вигляді плити (рис. 5.7, а, в);
- збірні, при якій фітинговий гребінець з'єднують з монолітною панеллю за допомогою високоміцних болтових з'єднань (рис. 5.7, б).



а



б



в

Рис. 5.7. Приклади фітингового стику центроплана (а, в) та крила (б) пасажирського літака середнього класу

Як приклад розглянемо конструкцію центроплана крила важкого транспортного літака Ан-124 «Руслан» (рис. 5.8).

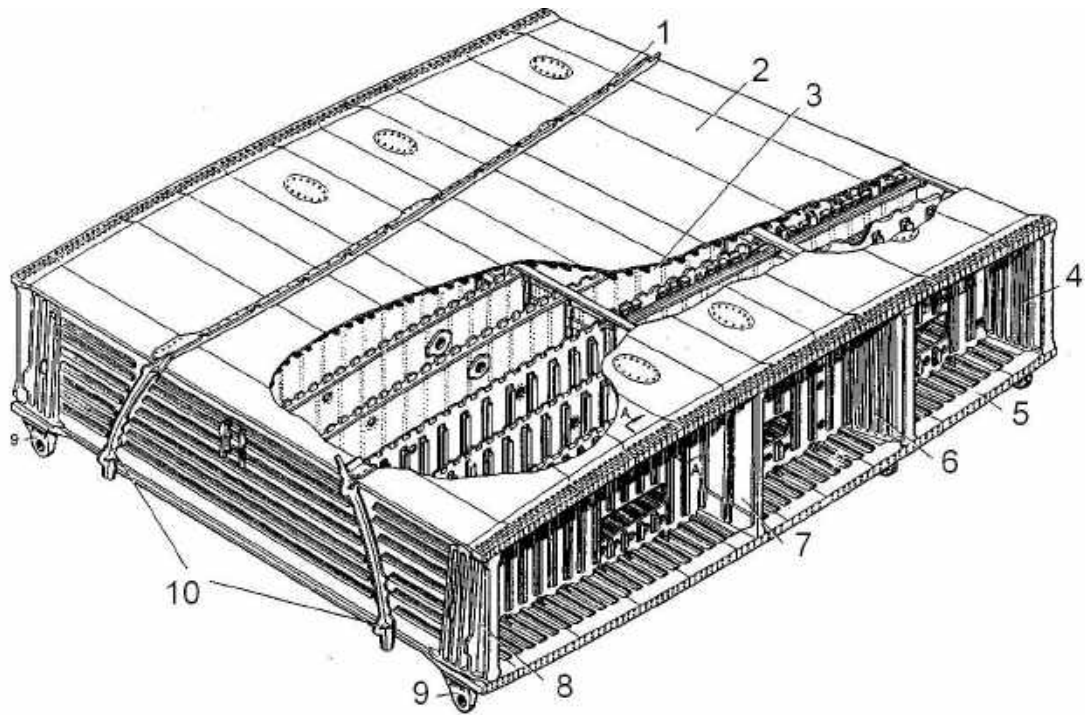


Рис. 5.8. Схема центроплана важкого транспортного літака Ан-124 «Руслан»:
 1 – профіль; 2 – панель верхня; 3 – нервюра; 4 – лонжерон № 4; 5 – панель нижня;
 6 – лонжерон № 3; 7 – лонжерон № 2; 8 – лонжерон № 1; 9 – кронштейн
 навіски центроплана на фюзеляж; 10 – дуга

Верхня та нижня панелі центроплана – збірні, кожна складається з одинадцяти панелей, з'єднаних між собою болтами. Панелі – суцільно-фрезеровані з алюмінієвих плит, з поздовжніми та поперечними ребрами та кінцевою потовщеною частиною для поперечного фітингового стику.

Нижче розглянуто маршрутну технологію виготовлення верхньої панелі центроплана пасажирського літака середнього класу із заготовки-напівфабрикату у вигляді алюмінієвої плити (табл. 5.2). Ескіз панелі із зазначенням оброблюваних поверхонь показано на рис. 5.9.

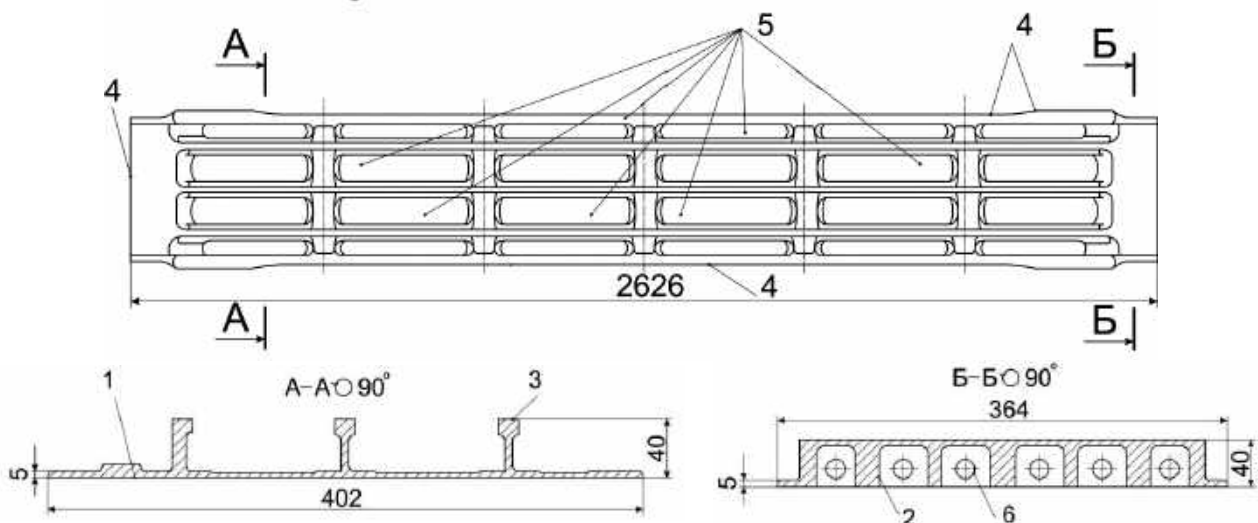


Рис. 5.9. Схема панелі центроплана пасажирського літака: 1 – полотно;
 2 – колодязь фітинговий; 3 – ребро; 4 – стики; 5 – колодязі; 6 – отвори стику

Маршрутна технологія виготовлення панелі центроплана з плити

Номер операції	Операція	Зміст операції
005	Контрольна	Контролювати механічні характеристики плити
010	Розмічувальна	Розмітити темплети та базові отвори
015	Фрезерна	Відрізати темплети, відправити до лабораторії
020	Фрезерна	Фрезерувати поверхні 1, 2, 3, свердлити базові отвори 6 попередньо
025	Фрезерна	Фрезерувати поверхні 1, 2, 3 остаточно
030	Фрезерна	Фрезерувати поверхні 4, 5 попередньо
035	Старіння	Виконати стабілізуюче старіння (72 години)
040	Фрезерна	Фрезерувати поверхні 4, 5 остаточно
045	Слюсарна	Обпилити задирки, заокруглити гострі кромки
050	Контрольна	Контролювати розміри та шорсткість поверхонь, припусків на припасування та складання комплекту панелей
055	Контрольна	Неруйнівний контроль відсутності мікротріщин
060	Згинання	Гнути панель згідно з кресленням та типовою технологією
065	Контрольна	Контролювати згинання панелі за теоретичним контуром крила
070	Слюсарна	Підігнати стиковані поверхні панелі з урахуванням технологічних припусків
075	Фрезерна	Обробити базові отвори 6 остаточно
080	Контрольна	Контролювати розміри та розташування базових отворів 6 згідно з кресленням
085	Зміцнення	Зміцнити поверхні панелі згідно з кресленням та типовою технологією зміцнення
090	Контрольна	Контролювати контур панелі згідно з кресленням

Обов'язковим етапом виготовлення монолітних панелей з плит є неруйнівний люмінесцентний контроль відсутності мікротріщин у вихідній плиті та панелі після механічної обробки. Під час люмінесцентного контролю на монолітні панелі наносять спеціальний розчин (рис. 5.10, а), а потім порошок (рис. 5.10, б), що виявляє ті дефекти, які можна побачити лише в ультрафіолетовому світлі.



а



б

Рис. 5.10. Неруйнівний люмінесцентний контроль монолітних панелей з плит

Масу монолітних панелей, виготовлених із плит, слід призначати не за номінальними розмірами, а з урахуванням всього поля допуску на товщину полотна та ребер.

За аналогічною маршрутною технологією, за винятком операції згинання, з плит виготовляють монолітні силові та несилкові нервюри центроплана (рис. 5.11, а, б) та крила (рис. 5.11, в) пасажирських літаків.



Рис. 5.11. Приклади монолітних нервюр центроплана (а, б) та крила (в) з плит

Використання сучасних комп'ютерних інтегрованих систем CAD/CAM/CAE дає змогу ефективно інтегрувати процеси проектування, інженерного аналізу та технологічної підготовки виробництва монолітних панелей із напівфабрикату у вигляді плити (рис. 5.12).

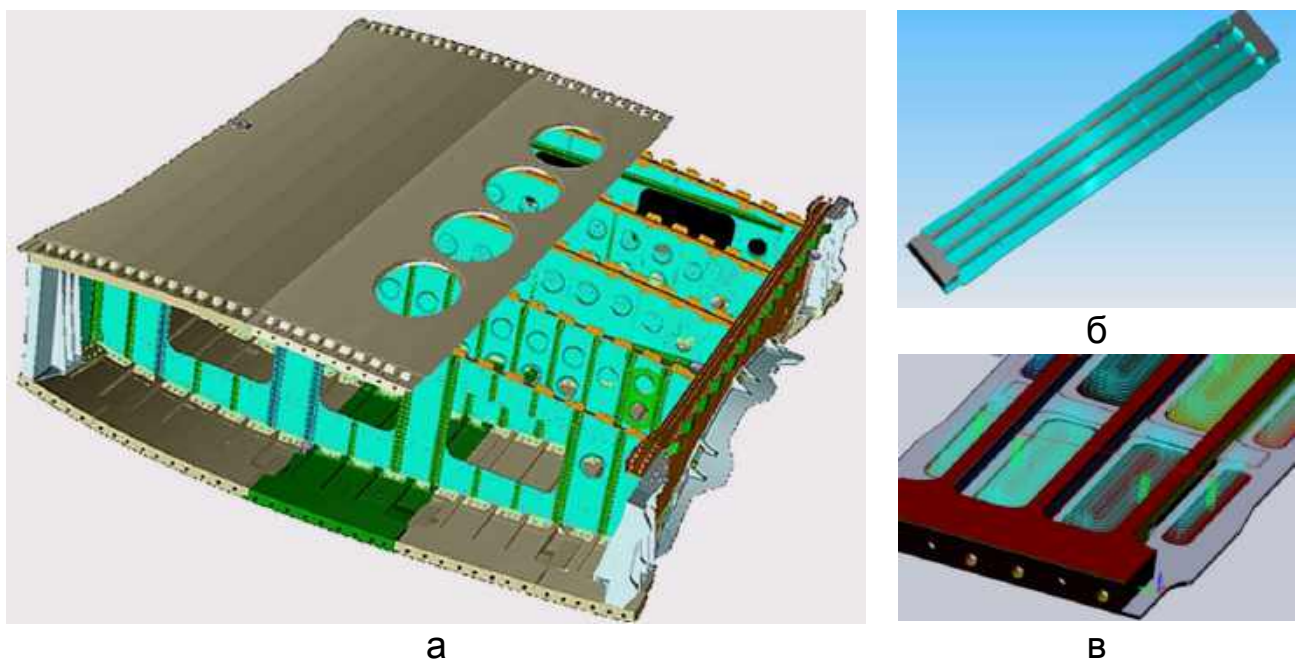


Рис. 5.12. Комп'ютерні моделі: а – центроплана; б – фрезерування стрингерного набору панелі; в – фрезерування фітингових колодязів

Монолітні панелі, виготовлені з алюмінієвих плит, та збірно-монолітні панелі знаходять широке застосування у конструкції фюзеляжів інтегрального компонування військових літаків (рис. 5.13).

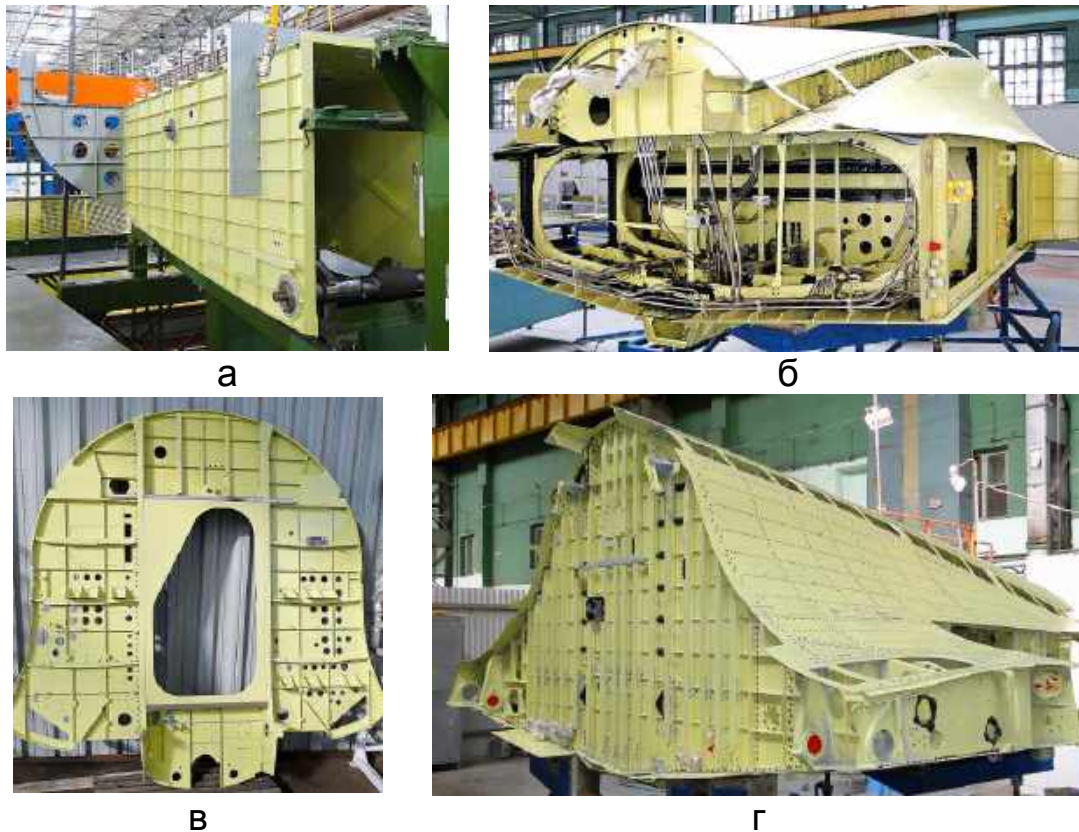


Рис. 5.13. Приклади застосування панелей з плит у конструкції фюзеляжів військових літаків: а – повітрязабірника; б, г – відсіку фюзеляжу; в – перегородки

Одним із досить поширених методів підвищення витривалості панелей з плит є поверхнево-пластичне деформування (ППД), внаслідок якого поверхневий шар матеріалу зазнає значних пластичних деформацій, що супроводжується спричиненням залишкових напружень стиску.

5.5. Технологічність монолітних панелей з плит

Основними факторами, що сприяють зниженню трудомісткості виготовлення монолітних панелей з плит, є підвищення технологічності геометричних форм оброблюваних поверхонь, обґрунтоване призначення точності та шорсткості зон обробки різанням.

Для покращання технологічності колодязів, карманів та інших конструктивних елементів монолітних панелей з плит рекомендується дотримуватися низки таких технологічних вимог. Розміри конструктивних елементів з площинами, що сполучаються, мають бути пов'язані з розмірами стандартизованих кінцевих фрез. Радіус сполучення дна конструктивного елемента слід вибирати таким, що дорівнює торцевому радіусу фрези R (рис. 5.14, а). Найбільша глибина конструктивних фрезерованих елементів панелі має бути на 4...5 мм менше довжини різальної частини фрези.

Багато переходні радіуси дна конструктивних елементів замінювати фасками; це є особливо важливим під час роботи фрез, оснащених твердим сплавом (рис. 5.14, б).

Радіус сполучення R для конструктивних елементів у вигляді фрезерованих ребер і стінок панелей з плит зазвичай призначають із співвідношення $R = (0,2 - 0,25)B$, де B – ширина фрезерування (рис. 5.14, в).

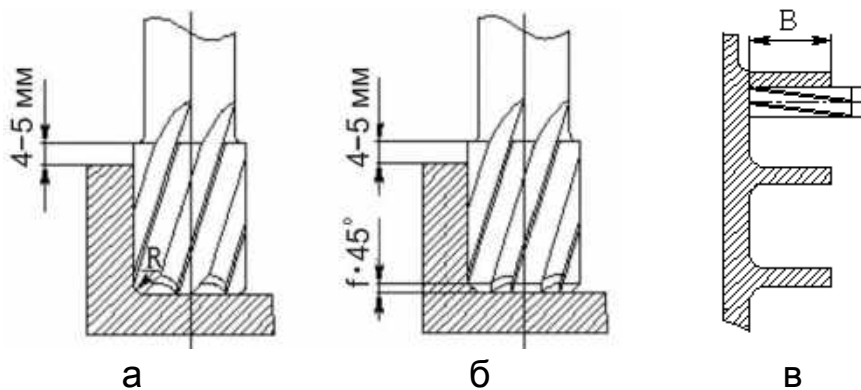


Рис. 5.14. Ув'язування розмірів сполучених площин і кінцевих фрез

Радіус сполучення, що утворює циліндричну увігнутість на фрезерованій стінці ребра, має бути більше половини діаметра фрези на 2 мм, а саме: $R > (R_{fp} - 2)$. Вибір діаметра фрези за цією рекомендацією дає змогу виключити «віджимання» інструменту при попутному фрезеруванні та його «підхоплення», що призводить до підрізу контуру при зустрічному фрезеруванні. Тому при фрезерній обробці конструктивних елементів у вигляді ребер та стінок технологічно обґрунтованим є вибір інструменту з радіусом, меншим, ніж мінімальний радіус циліндричної увігнутості на контурі.

Для забезпечення жорсткості інструменту діаметр кінцевої фрези має задовольняти умову $H < 2,5D$, де H – максимальна висота стінки панелі, що обробляється. Якщо потрібний менший радіус сполучення ребер, у конструкції фрезерованої панелі необхідно передбачати уступи, що обробляються на окремих технологічних переходах (рис. 5.15).

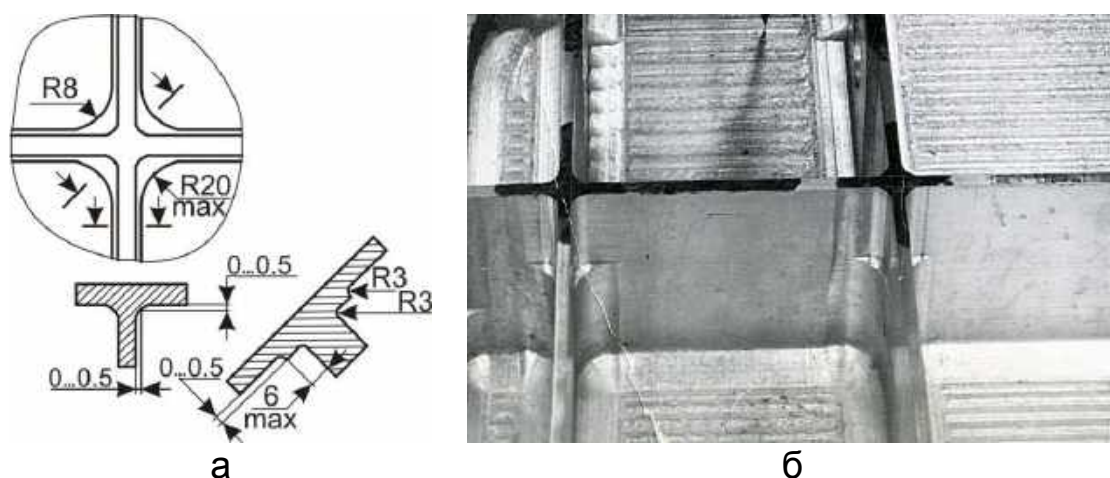


Рис. 5.15. Уступи для поверхонь з різними радіусами сполучення ребер: а – рекомендації щодо технологічності; б – фрагмент панелі фюзеляжу

Для фрезерування ділянок стоншення з різними перепадами товщин полотна панелі на кресленні слід указувати вимогу для технолога « R – тільки для інструмента» (рис. 5.16, а, в).

Переходи від ребер до полотна при фрезеруванні панелі з плити задавати ухилом за товщиною не рекомендується, технологічно виправданими є ступінчасті переходи (рис. 5.16, б, г, д).

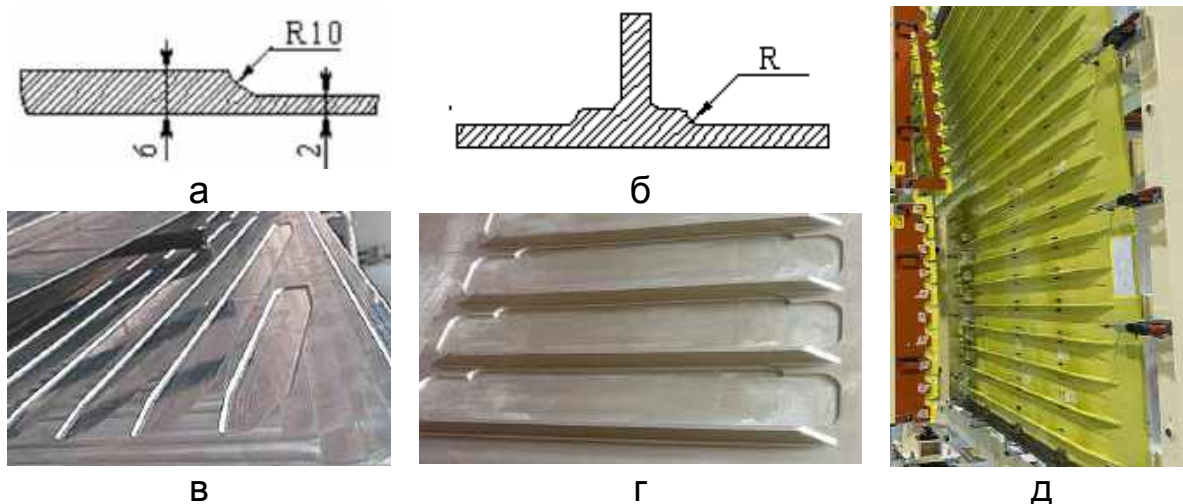


Рис. 5.16. Полотно панелі з плити з різними перепадами товщин:
а, б – рекомендації щодо технологічності; в – фрагмент панелі крила;
г – фрагмент панелі фюзеляжу; д – комплектація у складальному пристрої

Радіуси сполучення колодязів і карманів бажано виконувати однаковими, тоді оброблення буде виконуватися одним інструментом.

Контрольні запитання

1. Як розрізняються монолітні панелі з плит за типом ребра?
2. Проаналізуйте основні технологічні варіанти виробництва монолітних панелей з плит.
3. Назвіть переваги та недоліки застосування панелей з плит.
4. Наведіть приклади конструкції фрезерованих з плит панелей.
5. Які вибірки в конструкції панелей з плит є найбільш поширеними?
6. Який етап маршрутної технології виготовлення монолітних панелей із плит є обов'язковим?
7. Назвіть основні фактори, що сприяють зниженню трудомісткості виготовлення монолітних панелей з плит.
8. Яку умову має задовольняти діаметр кінцевої фрези для забезпечення жорсткості інструменту?

6. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРЕСОВАНИХ ПАНЕЛЕЙ

6.1. Конструктивні особливості монолітних пресованих панелей

Пресовані панелі в конструкції пасажирських і транспортних літаків почали використовувати у зв'язку зі збільшенням потрібної товщини обшивки несучих поверхонь крила, розширенням використання моноблочної конструктивно-силової схеми. Конструктивно пресовані панелі значно різняться залежно від виду ребра заготовки, зміни висоти ребер по довжині заготовки та їх розташування, зміни товщини полотна. Типове оребрення полотна пресованих панелей крила, центроплана і фюзеляжу літаків може бути Г-подібним (рис. 6.1, а) або Т-подібним (рис. 6.1, б, в).

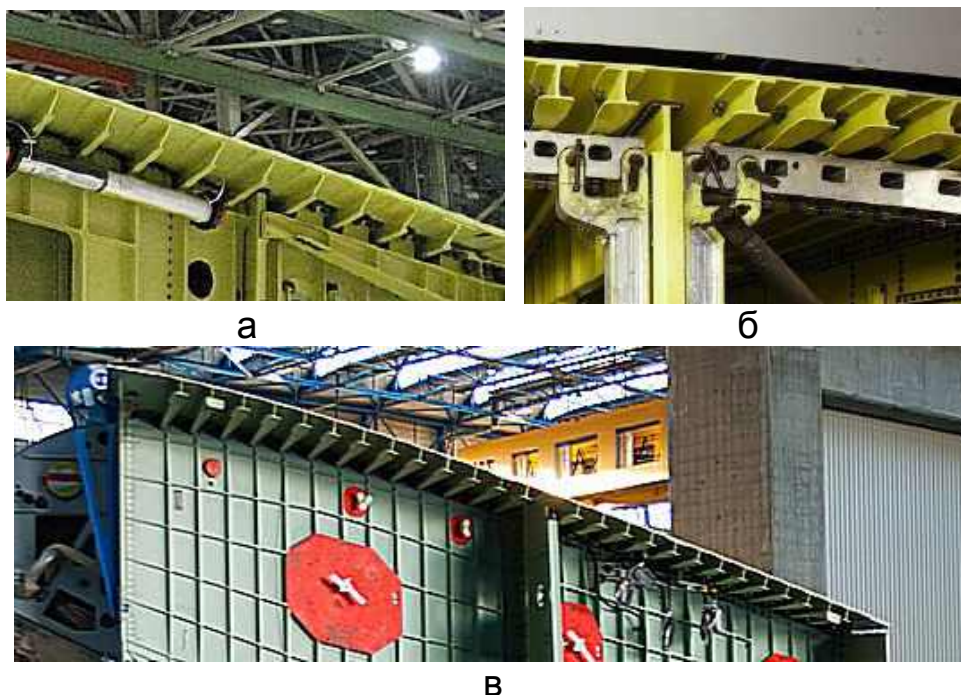
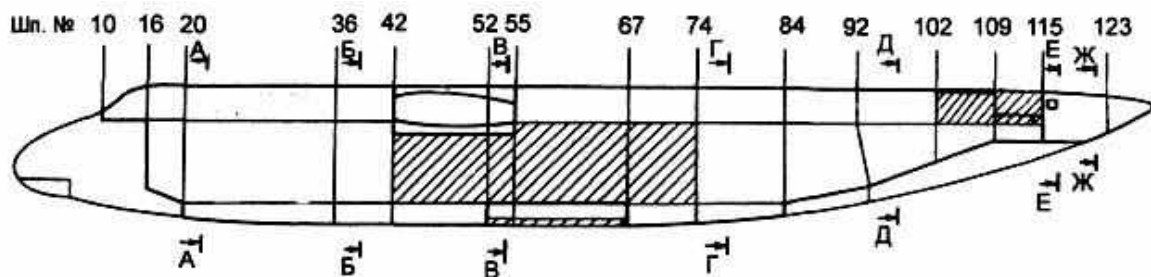


Рис. 6.1. Типове оребрення полотна пресованих панелей

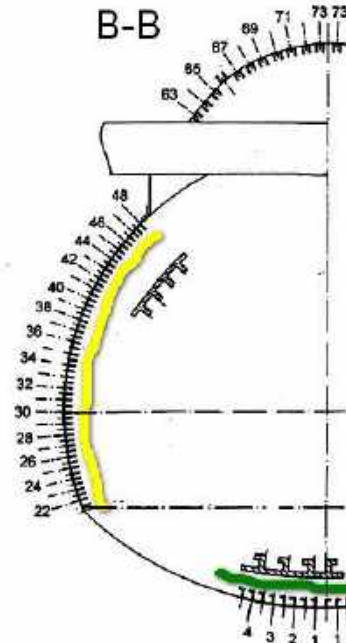
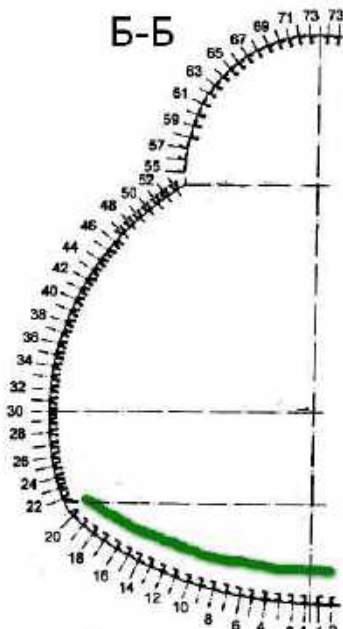
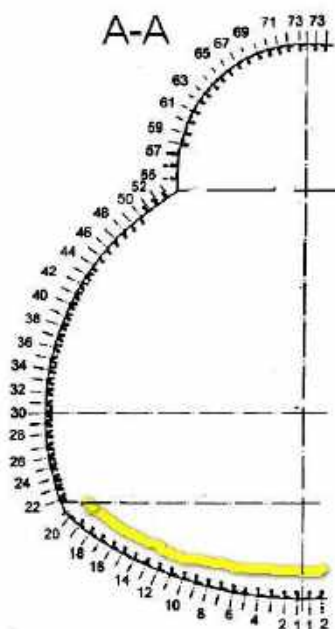
Доцільність застосування монолітних і збірно-монолітних конструкцій з пресованих панелей підтверджено багаторічним досвідом експлуатації їх у вітчизняному та зарубіжному пасажирському та транспортному літакобудуванні. Характерним прикладом може бути важкий транспортний літак Ан-124, призначений для перевезення великогабаритної техніки та вантажів.

Фюзеляж літака є суцільнометалевим півмонококом з поздовжнім набором зі стрингерів і балок, з поперечним набором зі шпангоутів і працюючої обшивки. Центроплан крила стикується з фюзеляжем по шпангоутах № 42, 52 та 55. По шпангоутах № 102 – 115 здійснюється стикування кіля з фюзеляжем.

Для наочності розташування панелей з плит та пресованих із заготовок-напівфабрикатів на схемі фюзеляжу цього літака показано у вигляді двох заштрихованих зон (рис. 6.2).



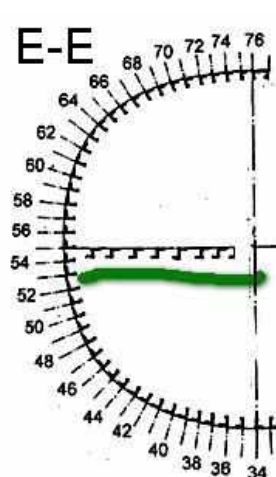
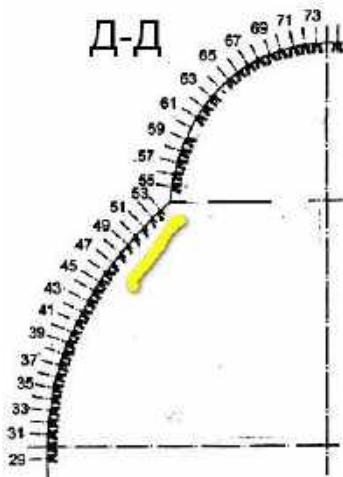
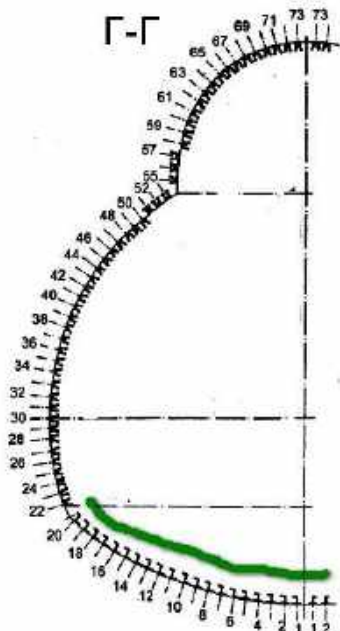
а



б

в

г



д

е

ж

Рис. 6.2. Схема розташування та вигляд панелей на фюзеляжі за перерізами:
 а – зони розташування панелей; б – А-А (з плити); в – Б-Б (пресовані);
 г – В-В (з плити та пресовані); д – Г-Г (пресовані); е – Д-Д (з плити);
 ж – Е-Е (пресовані)

На літаку Ан-124 встановлено стрілоподібне крило трапецієподібної форми, що має злам та крутку профілю за розмахом. Крило навішене на фюзеляжі за схемою верхньоплана за допомогою шести шарнірних вузлів. Знизу на крилі кріпляться чотири пілони для турбовентиляторних двигунів.

Конструкція крила за розмахом складається з центроплана та двох консольних частин крила (КЧК). До консольних частин кріплять закінцівки. У поперечному перерізі крило складається з носової, кесонної та хвостової частин.

Кесонна частина є силовою частиною крила і складається з продольного і поперечного силових наборів (рис. 6.3).

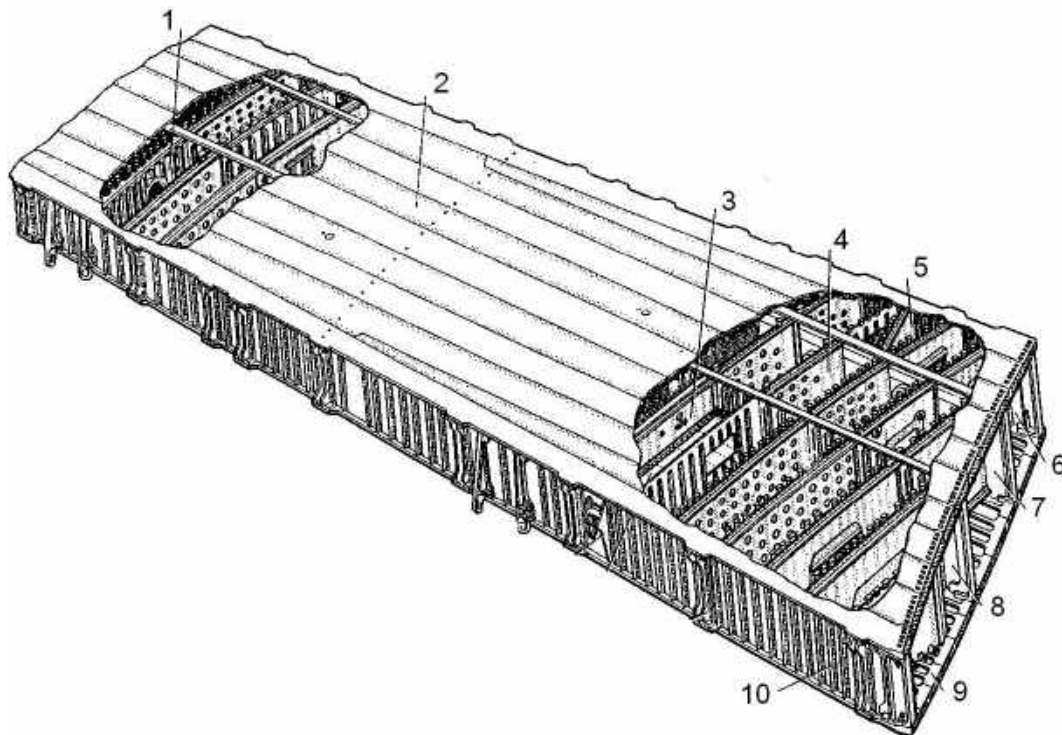


Рис. 6.3. Конструкція кесона КЧК літака Ан-124: 1, 5 – нервюри силові; 2 – панель верхня; 3 – нервюра герметична; 4 – нервюра несилова; 6 – лонжерон № 4; 7 – лонжерон № 3; 8 – лонжерон № 2; 9 – панель нижня; 10 – лонжерон № 1

Поздовжній силовий набір кесона КЧК складається з лонжеронів, комплекту верхніх та нижніх панелей. Поперечний силовий набір складається з нервюр.

Верхня поверхня КЧК складається з одинадцяти панелей між нервюрами № 6 – 41 і трьох панелей між нервюрами № 41 – 64. Нижня поверхня КЧК складається з одинадцяти панелей між нервюрами № 5 – 41 та п'яти панелей між нервюрами № 41 – 54. Панелі, розташовані між нервюрами № 5 – 41, мають потовщені частини для поперечних стиків з центропланом.

На рис. 6.4 показано схему розташування монолітних суцільнофрезерованих з плит (жовтий колір) та пресованих (сірий колір) панелей на верхній та нижній поверхнях кесона КЧК.

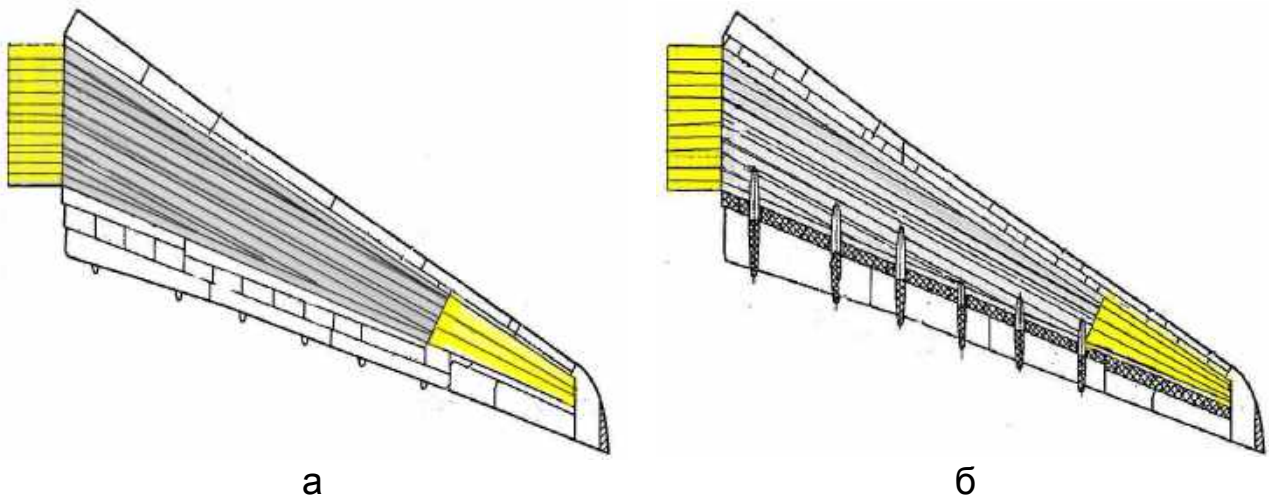


Рис. 6.4. Схема розташування та вигляд панелей на кесоні КЧК:
а – вигляд зверху; б – вигляд знизу

Нервюри кріпляться до верхніх і нижніх панелей і лонжеронів болтами та заклепками за допомогою книць та компенсаторів.

КЧК стикується з центропланом по нервюрі № 5. Стик – фланцевий, виконаний по всьому периметру розніму.

6.2. Технологічність монолітних пресованих панелей

Монолітні панелі із заготовок-напівфабрикатів, виготовлених гарячим пресуванням за допомогою матриці, рекомендується застосовувати для високонавантажених конструкцій крила, фюзеляжу та інших агрегатів, що мають подовжній набір підкріплювальних ребер – стрингерів.

Пресовані заготовки панелей мають такі переваги:

- підвищені міцнісні механічні характеристики внаслідок високого коефіцієнта деформації (обтиснення) при пресуванні;
- різке скорочення обсягу механічної обробки;
- високий коефіцієнт використання металу: маса готових панелей становить 70...80 % від маси вихідної заготовки;
- наявність постійного перерізу по всій довжині заготовки, що спрощує операції правки та формоутворення;
- можливість отримання підкріплювальних ребер таврового та інших перерізів, найбільш раціональних з погляду роботи на стиск;
- усі поверхні пресованих заготовок у стані поставки мають низьку шорсткість $Ra = 1,25$ мкм незалежно від складності профілю перерізу.

При проектуванні пресованих панелей рекомендується віддавати перевагу профілям з конфігураціями 4 – 7 (рис. 6.5, б).

Профілі з конфігураціями 1 – 3 (рис. 6.5, а) можна застосовувати лише в крайніх випадках, оскільки місцеві потовщення поверхні на обшивці після формоутворення обводу призводять до помітного огранювання зовнішньої поверхні.

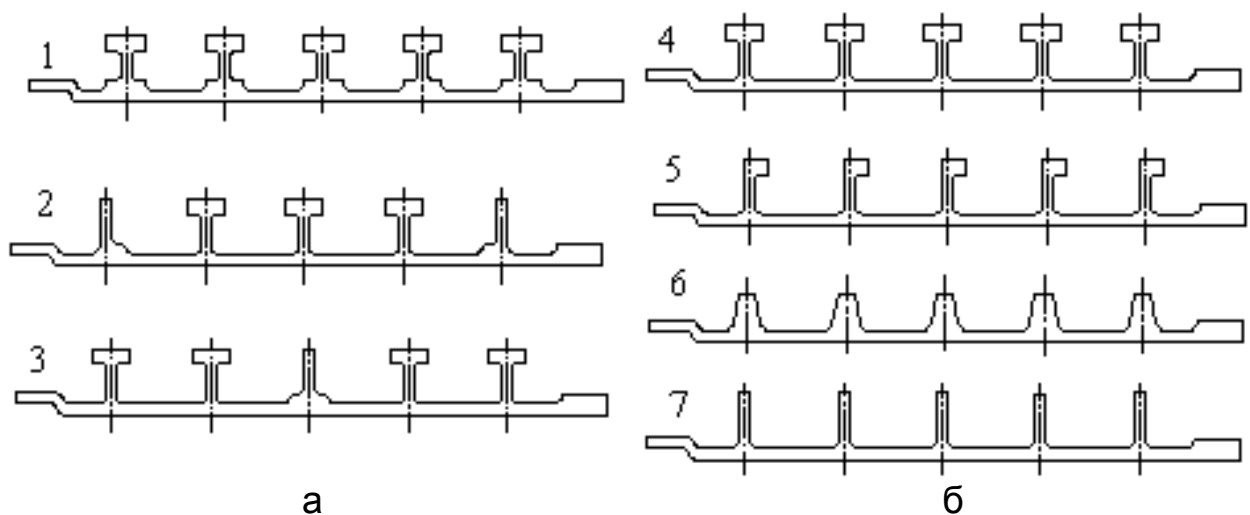


Рис. 6.5. Типові профілі пресованих панелей:
а – нетехнологічні; б – технологічні

На рис. 6.6 цифрами позначено розміри типових геометричних елементів пресованих панелей.

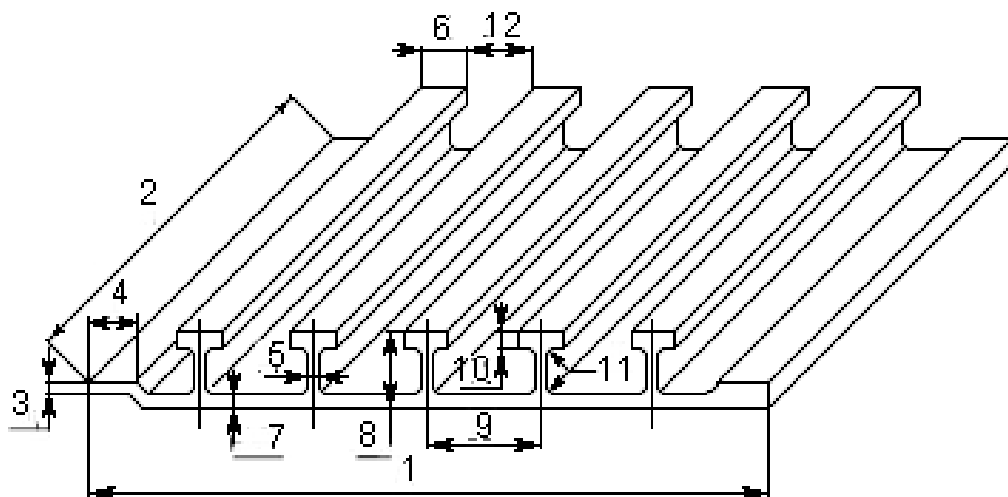


Рис. 6.6. Позначення розмірів типових геометричних елементів пресованих панелей

Нині металургійною промисловістю освоєно виробництво пресованих заготовок-напівфабрикатів для монолітних стрингерних панелей довжиною до 28000 мм при ширині до 3000 мм.

За галузевими керівними технологічними матеріалами (КТМ) рекомендуються такі розміри геометричних елементів пресованих панелей, мм:

- | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| 1 – не більше 3000; | 5 – не менше 4; | 9 – не обмежений; |
| 2 – не більше 28000; | 6 – не обмежений; | 10 – не менше 6; |
| 3 – не менше 4; | 7 – не менше 3; | 11 – не менше 4; |
| 4 – не обмежений; | 8 – не більше 80; | 12 – не менше 30. |

Технологічними є пресовані панелі, які мають:

- постійний переріз по всій довжині;
- ребра стрингерів, що зберігають задану в заготовці форму на всій довжині панелі;

- однаковий рівень усіх ребер за висотою;
- мінімальну кількість ділянок пресованої панелі, що підлягають механічній обробці різанням.

Оброблення обшивки пресованої панелі на клин з боку внутрішньої поверхні не рекомендується, оскільки ця поверхня є найбільш складною частиною панелі.

Допуск на товщину полотна для механічної обробки має бути в діапазоні від +0,3 до -0,5 мм. Для підвищення технологічності необхідну міцність панелі слід задавати з урахуванням оребрення, залишаючи постійною товщину полотна.

Однак пресовані панелі мають недоліки, що ускладнюють механічну обробку різанням і збільшують її трудомісткість:

- заготовка панелі не забезпечує необхідну точність за розмірами між стрингерами, величина якої може змінюватися в діапазоні від +0,3 до -0,5 мм;
- спостерігається шаблеподібність стрингерного набору, величина якого може перевищувати 1 мм на один погонний метр довжини панелі.

6.3. Технологія виготовлення монолітних пресованих панелей

У конструкції монолітних деталей крила літаків важкого класу застосовують два види стрингерних пресованих панелей площею перерізу до 1000 см² та максимальною довжиною до 28 м.

Перший вид – з наскрізним розташуванням стрингерів, ніжки яких не обробляють (рис. 6.7, а). Другий вид конструкції довгомірних стрингерних пресованих панелей крила – з монолітною закінцівкою (рис. 6.7, б).

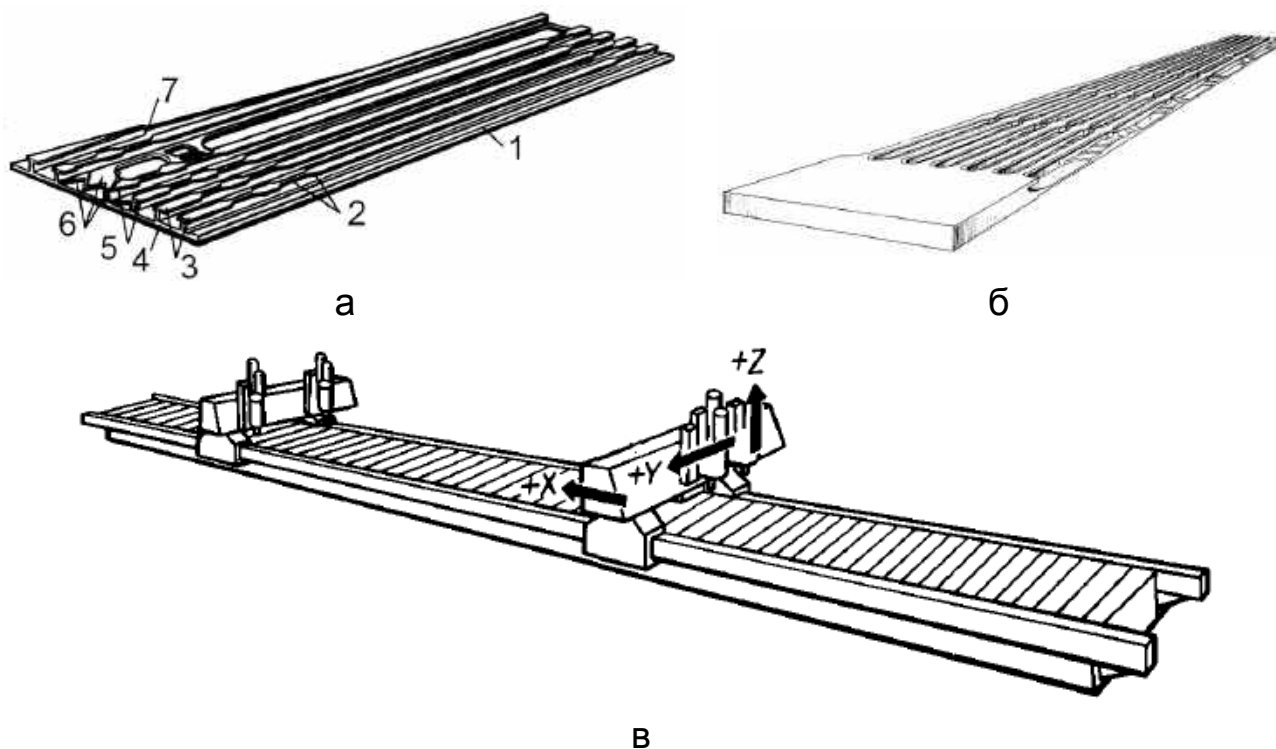


Рис. 6.7. Панелі з наскрізним розташуванням стрингерів (а) і закінцівкою (б) та компонування довгоходового двопортального фрезерного верстата з ЧПК (в)

Для підвищення продуктивності такі заготовки через їхню велику довжину обробляють одночасно двома порталами спеціалізованого довгоходового фрезерного верстата з ЧПК (рис. 6.7, в).

Кінцевими фрезами обробляють наступні поверхні з наскрізним розташуванням стрингерів (див. рис. 6.7, а) на панелі: бічні стінки 1 по довжині, торці 4, полиці 3, фестони 2 на полицях стрингерів, закруглення полиць 5, вирізи і зрізи 7, міжстрингерні поглиблення 6 на полотні і площині поздовжніх стиків.

Товщина полотна стрингерних панелей коливається від 2,5 мм у зоні стоншення між стрингерами до 8 мм у зонах привалкових площин. Після чорнової обробки поздовжніх ребер та міжреберних стоншень виконують оброблення монтажних люків і привалкових площин, а потім остаточне оброблення ребер.

Вікна панелі обробляються у два етапи – спочатку вирізується проріз, який обробляється по контуру з боку стрингерів (внутрішній контур), а потім виконується оброблення окантовки під ущільнення з боку зовнішнього теоретичного контуру.

Нижче розглянуто окремі етапи оброблення довгомірної панелі з пресованого профілю з монолітною плитою-закінцівкою (див. рис. 6.7, б).

Заготовку розбивають на чотири зони, з яких першу та третю обробляють одночасно двома порталами фрезерного верстата з ЧПК відповідно, далі – другу зону одночасно з четвертою, у тому числі й зону переходу А стрингерної частини до плити закінцівки (рис. 6.8, а).

У першу чергу одним порталом за спеціальною керувальною програмою (КП) свердлять отвори в базових точках $H1$, $H2$, $H3$ і $H4$ по поздовжній осі верстата для фрезерування кожної зони панелі (рис. 6.8, б).

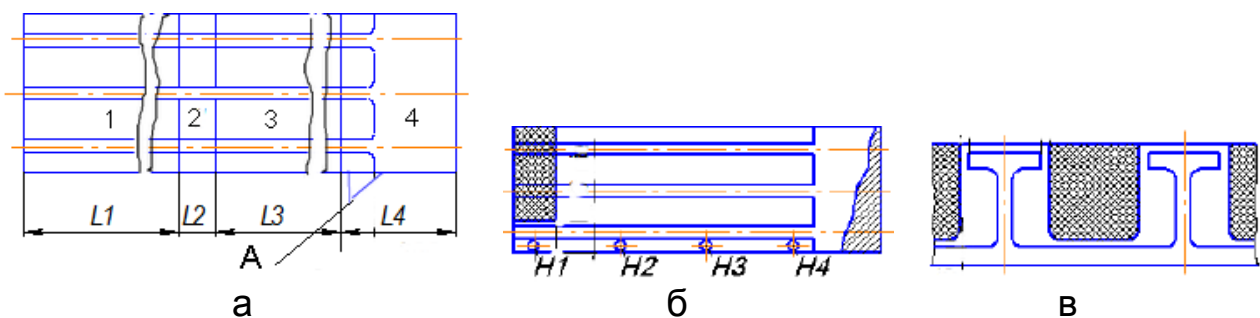


Рис. 6.8. Схеми зон оброблення та розташування базових отворів

Далі після відрізання металу для темплетів та розвантаження плити в зоні секції № 4 (рис. 6.8, в) з припуском 5 мм на товщину полотна та 3 мм на ширину полиць стрингерів виконується фрезерування поверхні теоретичного контуру крила (ТКК) за два робочі ходи.

Перший робочий хід виконують двома порталами одночасно, а другий – лише першим порталом для забезпечення якості поверхні ТКК. Подальше оброблення виконують на стрингерній стороні при базуванні заготовки панелі на чисту поверхню ТКК із закріпленням на вакуумному столі.

Важливою є операція формування базових поверхонь стрингера для коригувального пристрою, що виконується з нульової точки *H1* першим порталом. Ця операція необхідна у зв'язку з нерівномірним розподілом припуску на стрингерах і можливістю перенесення цієї похибки на міжстрингерну відстань (рис. 6.9, а). Зайвий метал знімається зі стрингера на стороні, протилежній до проходу коригувального пристрою.

Далі в технологічній послідовності обробляються такі конструктивні елементи першого стрингера пресованої панелі:

- полотно та ніжка стрингера з припусками 3 мм на товщину полотна та на кожний бік ніжки (рис. 6.9, б);
- полиця стрингера по товщині з нижнього боку та ніжка стрингера (рис. 6.9, в);
- полотно над замком з припуском 4 мм та ніжка стрингера з припуском 3 мм (рис. 6.9, г);
- полиця стрингера по товщині та ніжка над замком панелі (рис. 6.9, д);
- ніжка стрингера та полотно панелі (рис. 6.9, е);
- ніжка стрингера та полотно над замком панелі з припуском 1 мм (рис. 6.9, ж);
- зона внутрішня ніжки стрингера вздовж замка панелі (рис. 6.9, з).

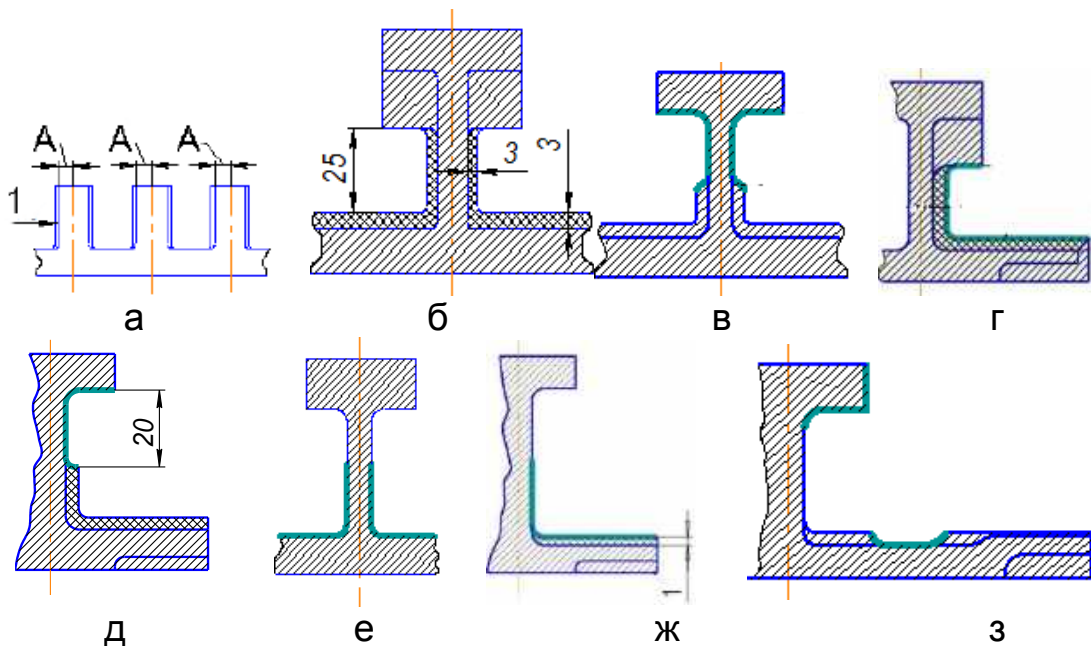


Рис. 6.9. Етапи оброблення конструктивних елементів першого стрингера: 1 – щуп коригувального пристрою; А – номінальний розмір полиці стрингера

Ніжки стрингерів і гравюри на полотні в міжстрингерній зоні обробляють грибоподібною фрезою з поділом на верхню і нижню частини двома порталами по зонах, а полиці стрингерів по контуру і висоті фрезерують з нульової точки *H1* одним першим порталом (рис. 6.10, а).

Характерним вузлом усіх спеціалізованих фрезерних верстатів з рухомими порталами є пристрій корекції шаблеподібності пресованих заготовок стрингерних панелей. Коригувальний механізм необхідний для від-

стеження в процесі фрезерної обробки справжнього положення ніжок стрингерів у заготовці пресованої панелі та автоматичного внесення відповідної корекції в КП оброблення.

Щуп 1 коригувального пристрою розташовують на стрингері, що лежить поряд з оброблюваним (рис. 6.10, б). Сколи на стрингері (рис. 6.10, в) панелі фрезерують одним порталом, починають оброблення з базової точки *H1* (див. рис. 6.8, б). Такі технологічні переходи повторюють для всіх стрингерів на заготовці панелі.

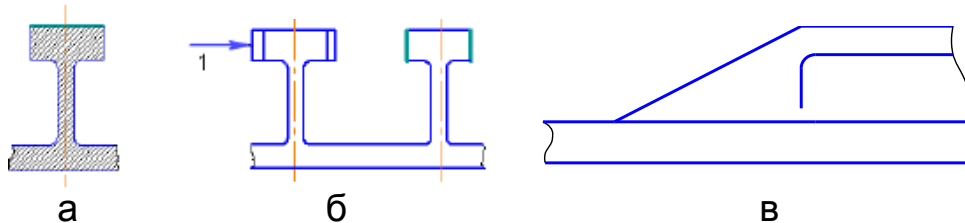


Рис. 6.10. Етапи оброблення конструктивних елементів першого стрингера з використанням коригувального пристрою

Окремою частиною маршрутного технологічного процесу є оброблення замкової частини на краю заготовки пресованої панелі.

Схему оброблення площини над замком до ніжки стрингера панелі показано на рис. 6.11, а, зовнішнього контуру панелі з боку замка попередньо з припуском 10 мм – на рис. 6.11, б. Необхідність витримувати розміри, задані від кромки панелі, потребує її переустановлення, додаткової розмітки та фрезерування з одного установка замкової частини разом із формуванням зовнішнього контуру панелі (рис. 6.11, в).

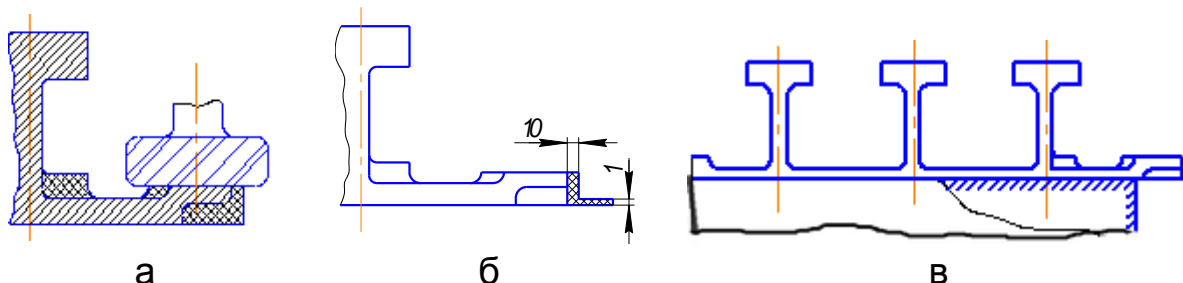


Рис. 6.11. Схеми оброблення замкової частини на закінцівці заготовки панелі

Технічні умови постачання панелі на складання мають допускати такі відхилення її поверхні від ТКК: уздовж нервюр – до 1 мм; за розмахом – до 1 мм/м; на всю довжину панелі – до 3 мм.

6.4. Пристрій корекції шаблеподібності пресованих стрингерів

Коригувальний механізм (рис. 6.12) складається з корпусу 4, в якому встановлено датчик зворотного зв'язку 3 та рухома штанга 2, на кінці якого розташований змінний важіль 1 зі щупом. Коригувальний механізм разом з кронштейном та фрезерною голівкою переміщується у поперечному напрямку по осі *Y* відносно заготовки пресованої панелі 5. Електричний сигнал від датчика зворотного зв'язку надходить до блока ЧПК верстата.

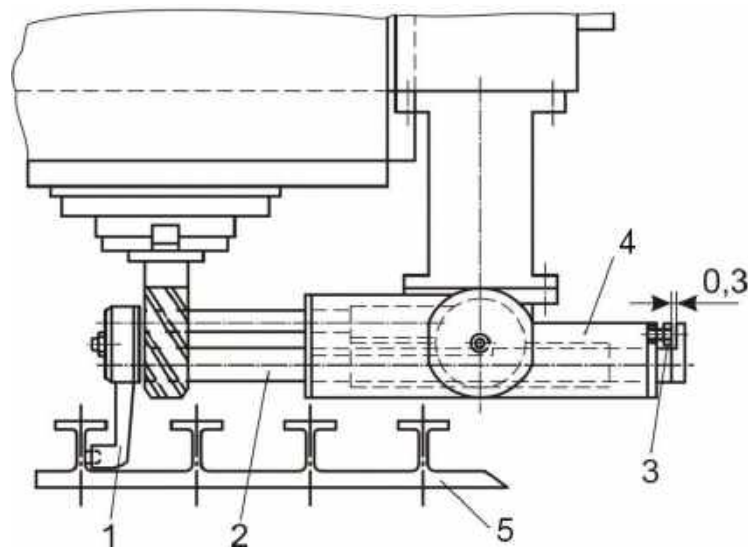


Рис. 6.12. Схема коригувального механізму

Коригувальний механізм установлюють на поперечну каретку одного з двох порталів спеціалізованого довгоходового фрезерного верстата з ЧПК так, що вісь фрези знаходиться на відстані 120 мм від осі щупа у напрямку поздовжнього переміщення portalу. Узгодження сигналів датчика зворотного зв'язку не має перевищувати 0,3 мм. Ця неузгодженість фіксується упором 3.

Унаслідок неузгодженості при вмиканні подач верстата за КП одразу починається поперечне переміщення каретки з фрезерною головкою та коригувальним механізмом до ребра стрингера доти, поки важіль зі щупом (див. рис. 6.12) не торкнеться цього ребра.

Програму оброблення стрингерної панелі розраховують щодо першої стінки першого ребра стрингера, припускаючи, що ребра – ідеально прямолінійні.

Оброблення заготовки стрингерної панелі на верстаті з використанням механізму коригування виконується таким чином. Перед початком оброблення фрезерна головка з коригувальним механізмом установлюється у вихідне положення відповідно до технологічної карти налагодження верстата. Щуп коригувального механізму за КП підводиться переміщенням portalу та поперечної каретки до стрингера, за яким має стежити щуп.

Таким чином досягається оброблення фестонів стрингерів і міжстрингерних заглиблень панелі паралельно до ребер з точністю $\pm 0,1$ мм.

Після оброблення стрингера фреза за КП перекладається на протилежний бік стрингера, причому важіль зі щупом механізму коригування залишається на попередньому боці ребра. Потім виконується оброблення стрингера з іншого боку.

Для оброблення міжстрингерних заглиблень панелі змінюється інструмент, і за координатою Y фрезерна головка виставляється у вихідне положення. Після цього виконується оброблення міжстрингерних заглиблень у тому порядку, що й оброблення стрингерів.

6.5. Вакуумний пристрій для кріплення заготовок типу плит та панелей

До комплектації спеціалізованих фрезерних верстатів з рухомими порталами входять вакуумний пристрій для кріплення оброблюваних заготовок типу плит і панелей, а також пневматичний пристрій для зняття зі столу та опускання на вакуумний стіл цих заготовок.

На вакуумний пристрій накладаються дві однакові вакуумні станції (рис. 6.13, а), розташовані з торців станини верстата, і вакуумний стіл, установлений на верхній площині станини верстата (рис. 6.13, б).

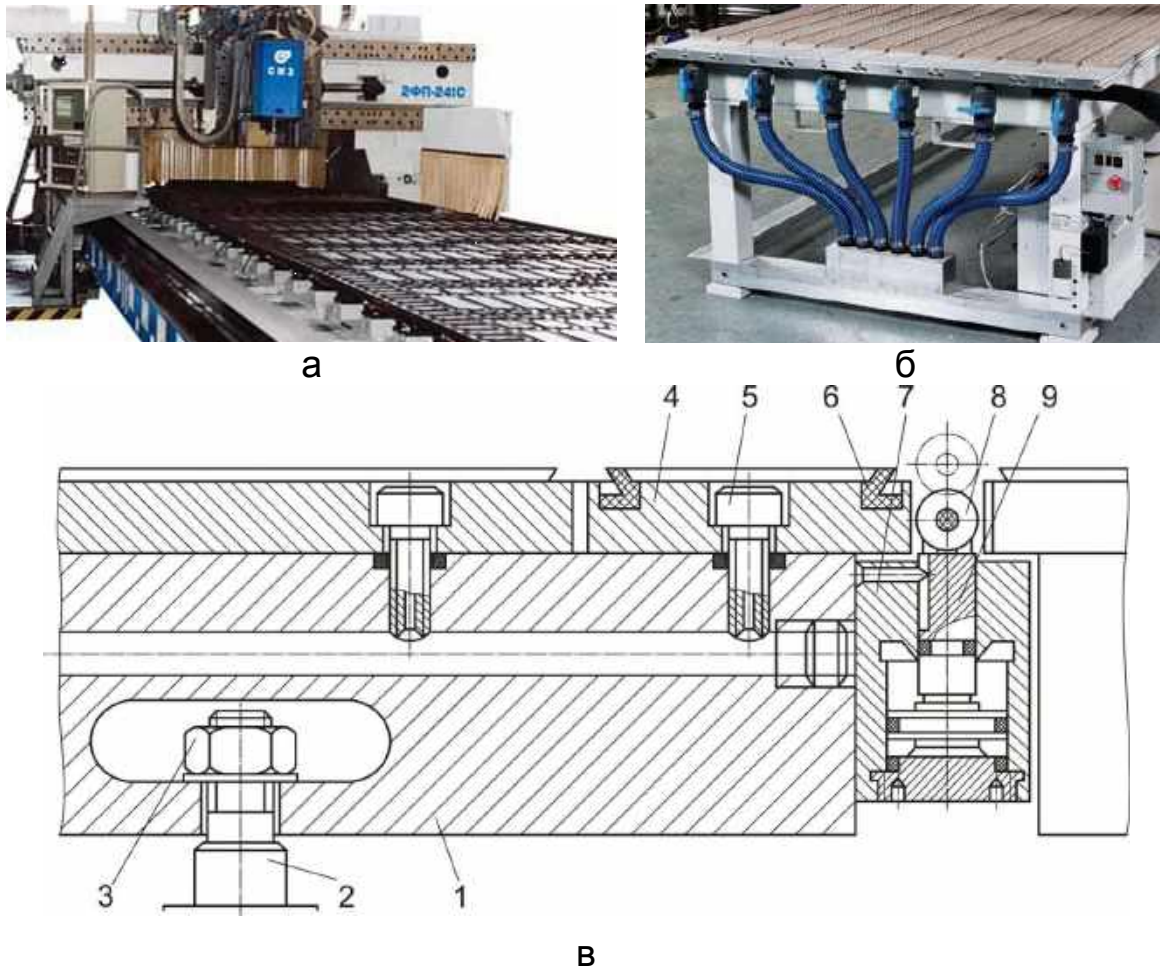


Рис. 6.13. Конструкція блока (а) та загальний вигляд (б) вакуумного столу

Вакуумний стіл складається з набору окремих блоків сталевих брусків 1 розмірами 800x70x80 мм (рис. 6.13, в), прикріплених болтами 2 та гайками 3 до Т-подібних пазів площини станини верстата. У колодках 4 є канавки для установлення гумових ущільнень 6. Колодки кріплять спеціальними гвинтами 5 з наскрізними внутрішніми отворами до площин блоків.

Заготовки панелей, що обробляються, встановлюють на площині колодок, після чого вмикають вакуумні станції. Така система не припускає охоплення периметра заготовки ущільнювачем, що надає можливості обробляти різальним інструментом край деталі.

Для зручності установлення великогабаритних заготовок панелей і зняття (відриву від вакуумного столу) заготовок є пневматичні циліндри 7, установлені між вакуумними блоками, які з'єднані колектором. Стиснене повітря подається в циліндри від цехової мережі.

Поршні 9 циліндрів оснащені пластмасовими роликами 8, якими можна пересувати заготовку панелі при установленні на верстат. Хід поршнів становить 14 мм, що достатньо для відриву панелі від вакуумного столу.

Контрольні запитання

1. Назвіть причину появи пресованих панелей у конструкції пасажирських та транспортних літаків.
2. Як розрізняються пресовані панелі конструктивно?
3. Укажіть місця розташування пресованих панелей у конструкції фюзеляжу та крила літака Ан-124.
4. Які переваги мають пресовані заготовки монолітних панелей?
5. Які недоліки пресованих панелей ускладнюють їх механічну обробку різанням та збільшують її трудомісткість?
6. Назвіть два види конструкції довгомірних стрингерних пресованих панелей крила літака.
7. Проаналізуйте окремі етапи оброблення довгомірної панелі з пресованого профілю з монолітною плитою-закінцівкою.
8. Який вузол є характерним для всіх спеціалізованих фрезерних верстатів з рухомими порталами?
9. Як виконується оброблення заготовки стрингерної панелі на верстаті з використанням механізму коригування?
10. Назвіть основні вузли вакуумного пристрою для кріплення заготовок типу плит та панелей.

7. ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАНЕРА ЛА

Деталі планера ЛА, що оброблюються з видаленням зайвого матеріалу, об'єднують у вісім типових класів:

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

2. Плоскі деталі з криволінійними складовими – рами, шпангоути, нервюри (матеріал заготовок – алюмінієві, титанові сплави й сталі).

3. Великогабаритні оболонкові деталі – панелі й обшивки одинарної й подвійної кривизни зі змінним перерізом з алюмінієвих сплавів.

4. Прямолінійні деталі великої довжини – стрингери, лонжерони з постійними й змінними перерізами по довжині (матеріал заготовок – алюмінієві, титанові сплави й сталі).

5. Об'ємні деталі середніх габаритів – качалки, кронштейни, важелі (матеріал заготовок – алюмінієві, магнієві, титанові сплави й сталі).

6. Великогабаритні деталі циліндричної форми – циліндри й штоки шасі з високоміцних сталей і титанових сплавів.

7. Арматура – хрестовини, трійники, штуцери гідравлічних і газових систем (матеріал заготовок – алюмінієві, титанові сплави й сталі).

8. Кріпильні деталі – болти, гвинти, гайки, шайби, заклепки (матеріал заготовок – високоміцні титанові, алюмінієві сплави й сталі).

Об'єднання деталей у класи здійснюється за ознаками спільності процесів їх виготовлення, однотипності устаткування, що застосовується, і за можливістю використання уніфікованого оснащення. На рис. 7.1 показано деякі типові представники деталей із зазначених класів.

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.

За розширеною класифікацією розрізняють такі характерні об'єкти п'ятикоординатного об'ємного 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 лінійчастими поверхнями (деталі передкрилків, закрилків, дефлекторів);

– елементи об'ємного обводотвірного оснащення (болванки, обтяжні пуансони, виклеювальні пристрої, малковані рубильники, формблоки).

Доводиться зважати на небезпеку деформування форми деталі внаслідок перерозподілу залишкових напружень у заготовці. У цих випадках технологічний процес поділяють на операції чорнової і подальшої обробки.



1
а



2
б



2
в



2
г



3
д



3
ж



3
и



6
к



4
л



4
п



5
м



7
н

Рис. 7.1. Приклади деталей планера ЛА, що обробляються з видаленням зайвого матеріалу: а – каркас ліхтаря кабіни пасажирського літака; б – монолітний шпангоут винищувача; в – силова нервюра крила; г – збірно-монолітний шпангоут вертольота; д – панель центроплана пасажирського літака; ж – листова обшивка фюзеляжу; и – панель крила; к – носовий стояк шасі пасажирського літака; л – лонжерон лопаті несучого гвинта вертольота; м – кронштейн; н – штуцер; п – лонжерон крила аеробуса

Чорнове оброблення виконують на потужних, особливо жорстких верстатах (із ЧПК або універсальних), а потім піддають їх термообробленню для зняття внутрішніх напружень. Далі механічне оброблення виконується на п'ятикоординатних верстатах з ЧПК.

7.1. Виготовлення деталей каркаса ліхтаря кабіни

Об'ємні заготовки каркаса ліхтаря кабіни найчастіше виготовляють із високоміцного ливарного магнієвого сплаву марки ZE10A (США) або TA55RS (Англія). Механічна обробка виконується тільки гострозаточеним інструментом. Застосування мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) не допускається. На ділянці обробки магнієвих сплавів застосовуються спеціальні заходи пожежної безпеки.

Складність виготовлення деталей каркаса ліхтаря кабіни обумовлена наявністю великої кількості плоских і циліндричних поверхонь, орієнтованих під різними кутами (рис. 7.2, а), та малою жорсткістю. На рис. 7.2, б показано зовнішній вигляд каркаса ліхтаря кабіни пасажирського літака зовні, на рис. 7.2, в – зсередини відсіку Ф1 фюзеляжу. Класичним прикладом оригінальної конструкції є литий каркас носового ліхтаря кабіни спеціального літака для аерофотозйомки Ан-32Р (рис. 7.2, г).

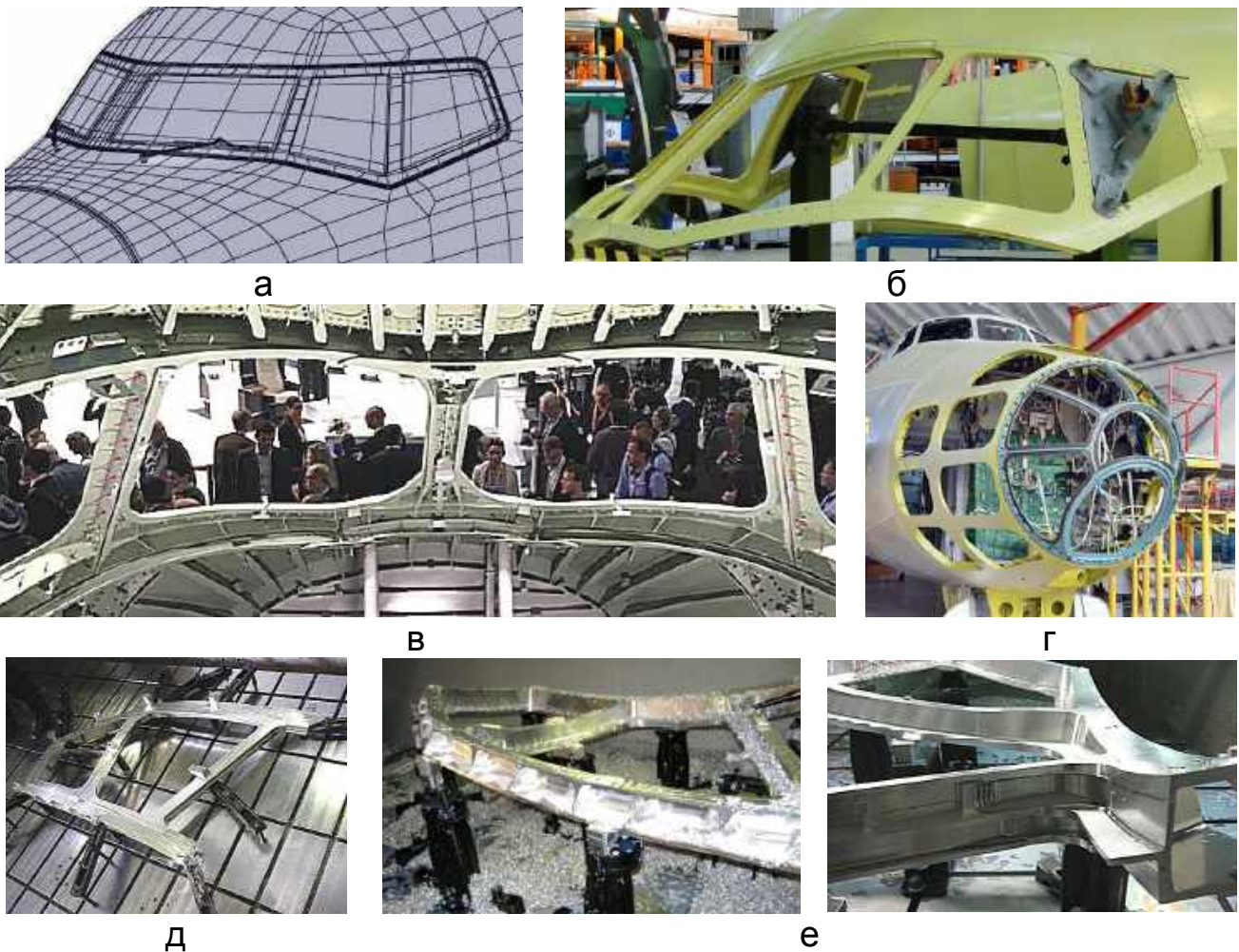


Рис. 7.2. Монолітні деталі каркаса ліхтаря кабіни пасажирського літака

Під час оброблення заготовок каркаса ліхтаря насамперед формують зовнішню поверхню, що виходить на теоретичний контур (рис. 7.2, д).

Оброблення здійснюється кінцевою фрезою, вісь якої постійно розвертається за нормаллю до дотичної теоретичного контуру. Потім фрезерують внутрішній бік з базуванням на вже обробленій поверхні теоретичного контуру (рис. 7.2, е). Комп'ютерні моделі оснащення (рис. 7.3, а, в) дають можливість виконання точної ув'язки на всіх етапах виробництва каркаса ліхтаря кабіни, включаючи складання в стапелі носового відсіку Ф1 фюзеляжу (рис. 7.3, б).

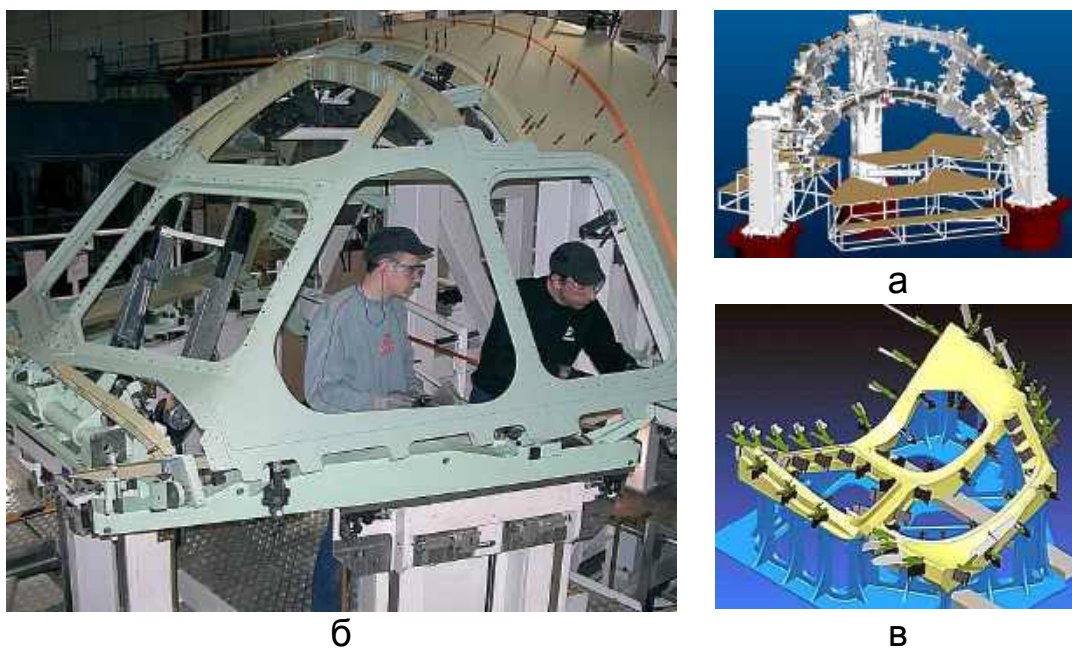


Рис. 7.3. Агрегатне складання (а) і комп'ютерні моделі оснащення (б, в) для каркаса ліхтаря кабіни пасажирського літака

Легкі вертольоти та бомбардувальники з поперечним розташуванням крісел у кабіні мають відкидні частини ліхтаря (рис. 7.4, а) з аналогічною технологією виготовлення.



Рис. 7.4. Відкидні частини ліхтаря легкого вертольота (а) та літака-бомбардувальника (б)

Для сучасних надзвукових літаків-випилювачів характерна однокаркасна моноблочна (рис. 7.5, а) або двокаркасна з нерухомим козирком і стулками, що відкриваються (рис. 7.5, б, в), конструкція скління ліхтаря.



Рис. 7.5. Каркас і скління ліхтаря кабіни надзвукових літаків-випищувачів

Для забезпечення високого рівня вимог взаємозамінності та ремонтнопридатності кожен відформовану заготовку з високоміцного акрилового скла (рис. 7.6, а) установлюють у спеціальний пристрій для розмітки по периметру номінального контуру скління (рис. 7.6, б). Комплект скління закріплюють на поворотній рамі пристрою та базують за шаблонами контуру перерізу (ШКП).

Технологічний припуск видаляють на п'ятикоординатному фрезерному верстаті з ЧПК кінцевою фрезою з алмазним напиленням.

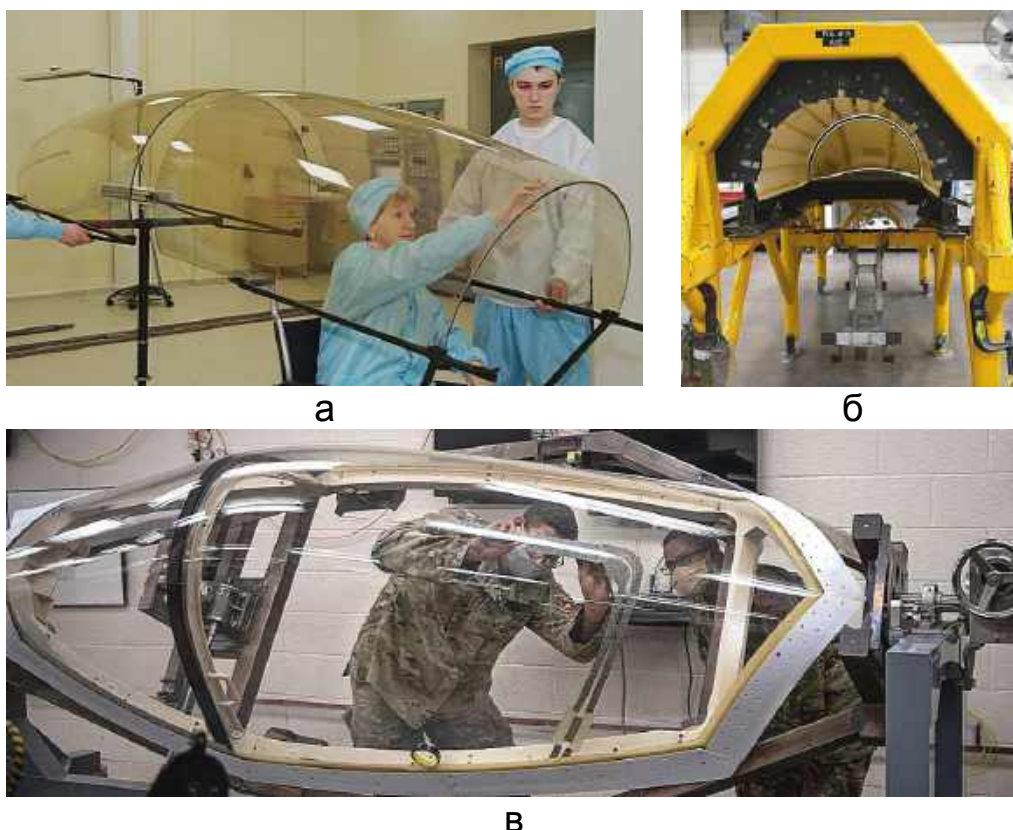


Рис. 7.6. Комплект скління (а) та пристрій для розмітки номінального контуру поверхні скління (б) та складання каркаса ліхтаря (в) випищувача

Для забезпечення геометричної та ремонтної взаємозамінності каркасів ліхтаря кабіни їх складання виконують у спеціальному пристрої, який має ув'язані фіксатори стиків каркаса з фюзеляжем (рис. 7.6, в).

7.2. Виготовлення деталей каркаса дверей та люків

Проектування технологічних процесів виготовлення деталей каркаса дверей та люків починається з розроблення теоретичного електронного макета (ТЕМ) складальної одиниці, до якої входять ці деталі (рис. 7.7, а).

ТЕМ є базою для розроблення конструктивного електронного макета (КЕМ) деталей каркаса дверей та люків.

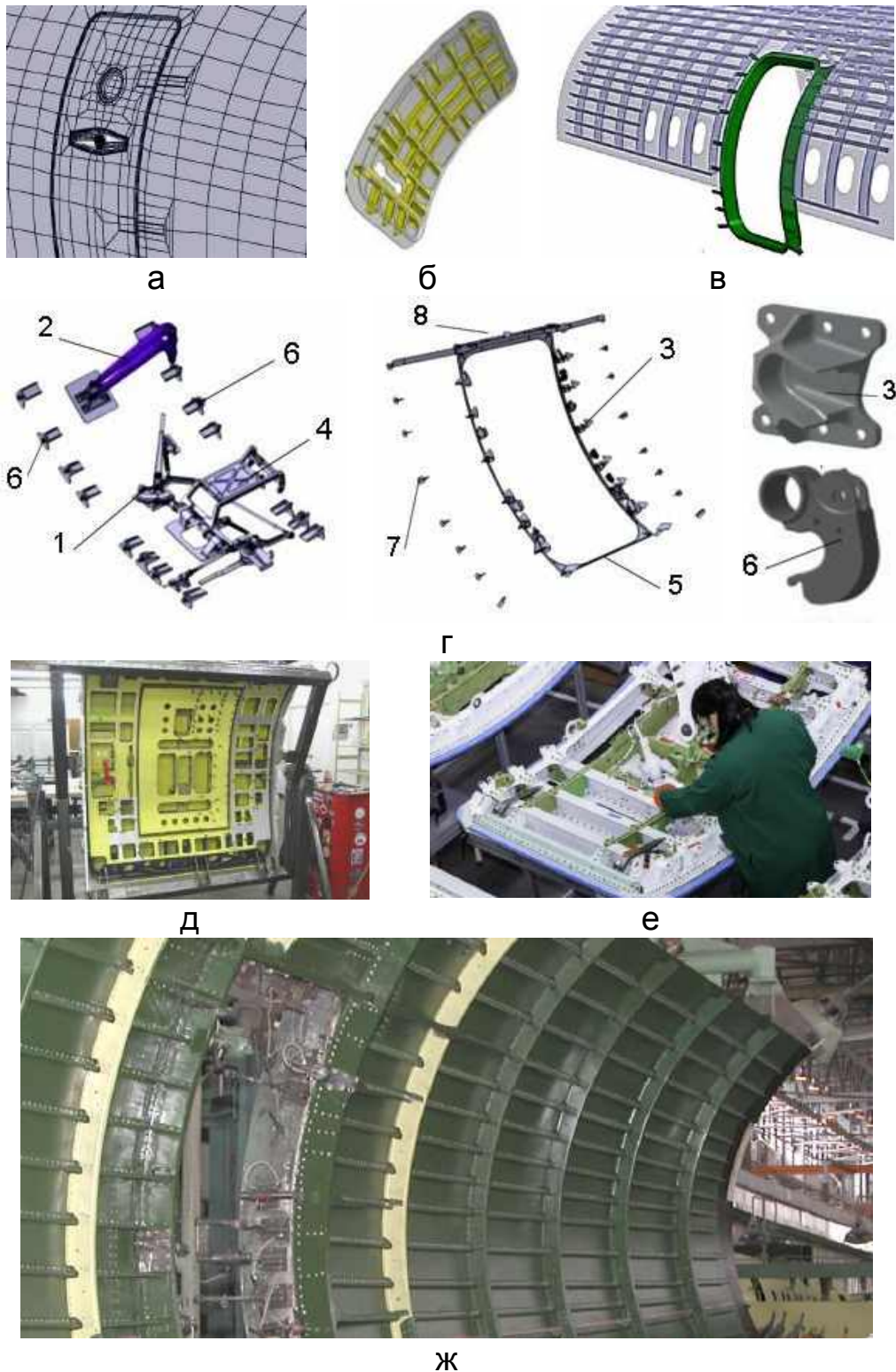


Рис. 7.7. Двері та окантовки у фюзеляжі пасажирського літака

КЕМ дверей, люків та відповідних окантовок на фюзеляжі виконується у вигляді повного тривимірного опису геометрії деталей та їх взаєморозташування у складальних одиницях (рис. 7.7, б, в). На КЕМ виконується ув'язка взаємного просторового розташування елементів дверей – паралелограмного механізму 2, штирьових опор 3, шарнірної ланки 4, які кінематично пов'язані із закриванням ручки 1, поворотними гаками 6 бічних замків на окантовці 5, накладкою 8 та кницями 7 (рис. 7.7, г) на фюзеляжі.

За допомогою КЕМ дверей та окантування на фюзеляжі розробляється КЕМ поворотного складального пристрою дверей з комплектом кондукторних плит (рис. 7.7, д) та накладного кондуктора (рис. 7.6, ж) на пристрої складання панелі. На рис. 7.7, е показано етап монтажних та комплектувальних робіт для вхідних дверей пасажирського літака.

Вхідні, аварійні та завантажувальні двері та люки у фюзеляжі пасажирських літаків виготовляються зазвичай з відштампованих з листового дюралюмінію чаш, підкріплених каркасом. Вирізи під двері та люки в конструкції фюзеляжу підсилюють за допомогою листових окантовок, установлених у місцях вирізу, посилені шпангоутів і накладок на стрингери.

Усі високонавантажені фіксувальні та замикальні деталі дверей і окантовок (див. рис. 7.7, г) виготовляють зі штампованих заготовок із хромонікелевої сталі марки за стандартами США 15-5PH H925 (12X18H10T), яка має задовільну оброблюваність різанням.

Призначення літаків-штурмовиків та бойових вертольотів – знищення наземних цілей – визначає ряд спеціальних вимог до конструкції планера та каркаса кабіни. До вимог належать застосування матеріалів, стійких до бойових ушкоджень, а також лобового бронескла (рис. 7.8) завтовшки до 60 мм.



Рис. 7.8. Ліхтар кабіни літака-штурмовика (а, б) та бойового вертольота (в)

Компонування фюзеляжу бойових вертольотів передбачає також наявність броньованих дверей для пілота та відкидної ступки для штурмана-оператора (рис. 7.8, в) з механізмами їх аварійного скидання.

Зварний каркас кабіни виконується з титанового сплаву Ti-3Al-2,5V (BT20) з границею міцності до 1300 МПа підвищеної твердості та в'язкості.

Висока хімічна активність титану при підвищених температурах, низька теплопровідність ускладнюють механічну обробку титанових сплавів.

При фрезуванні каркаса кабіни із титанового сплаву рекомендовано використовувати інструмент із пластинами зі сплаву ВК6М. Швидкість різання має становити 40...60 м/хв, подача – 0,05...0,15 мм/зуб.

При виборі охолоджувальної емульсії слід врахувати, що для зменшення зносу фрез крім відведення тепла необхідно забезпечити зменшення коефіцієнта тертя між поверхнями. Кращі результати дає використання веретенного масла, сульфофрезолу, мінерального графітованого масла.

При обробленні титанових сплавів особливу увагу необхідно приділяти питанням техніки безпеки, оскільки утворення тонкої стружки і тим більше пилу може призвести до самозаймання та інтенсивного горіння.

7.2.1. Вилкові стики каркаса дверей та люків

Стик – це конструктивне оформлення розніму двох складальних одиниць. Ці розніми містять один або кілька стиків типу «вухо-вилка». За допомогою таких вузлів можна утворювати рухомі та нерухомі з'єднання.

Каркаси дверей та люків найчастіше мають вилкові стики з планером літака або вертольота. Деталі, що утворюють вилковий стик, називають стиковими вузлами або вузлами стику. Вони завжди мають отвори під стикові болти (ОСБ).

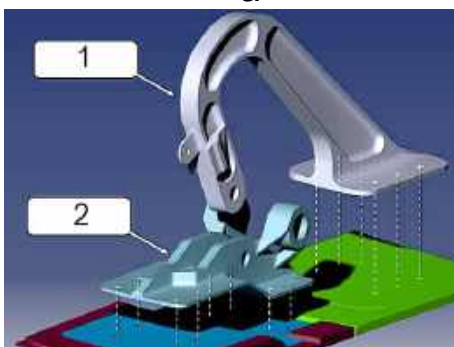
Сучасним ефективним засобом ув'язування стиків «вухо-вилка» на каркасах дверей (рис. 7.9, а) та люків для всіх виробів авіаційної техніки є комп'ютерне твердотільне моделювання (рис. 7.9, в).



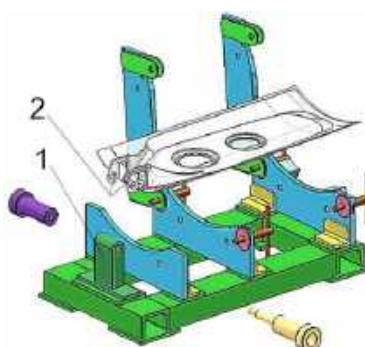
а



б



в



г

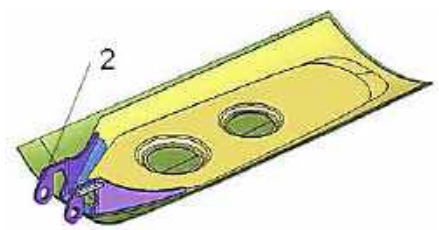


Рис. 7.9. Ув'язування деталей вилкового стику: 1 – «вилка»; 2 – «вухо»

Стикові вузли є деталями, не слід їх плутати з технологічними вузлами, які є закінченими складальними одиницями, наприклад лонжеронами, нервюрами, шпангоутами та панелями, стулками шасі.

При з'єднання «вуха» та «вилки» їх сполучені поверхні мають бути точно виготовлені, отвори під сполучний болт точно узгоджені з урахуванням заданої посадки та якості точності. Тому на етапі складання до стиків ставлять високі вимоги щодо їх геометричної взаємозамінності й ув'язування між собою і з обводами.

Для забезпечення геометричної взаємозамінності встановлювання (навішування) стикових вузлів виділяють як особливу частину складального процесу і здійснюють у спеціальних складальних пристроях, що мають ув'язані фіксатори обводів і стиків «вухо-вилка» (рис. 7.9, б).

Зазвичай ОСБ вилкового стику обробляють після свердління розгортанням, протягуванням за 7 – 9-м квалітетами точності, стикові вузли «вухо-вилка» фіксують у складальному пристрої штирями (рис. 7.9, г).

7.3. Виготовлення петльових шомпольних з'єднань стикових вузлів

У конструкції планера пасажирських, транспортних літаків, винищувачів і вертольотів широко використовують петльові шомпольні з'єднання, що є малогабаритними силовими стиковими вузлами (рис. 7.10).

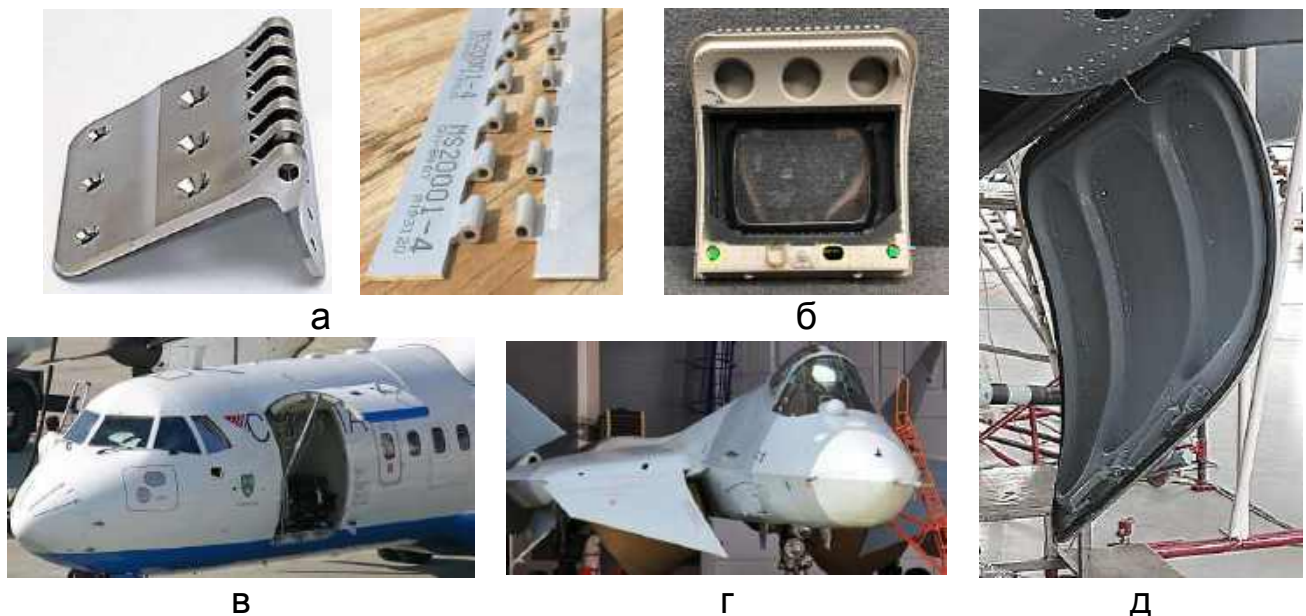


Рис. 7.10. Приклади використання петльових шомпольних з'єднань у конструкції планера літака: а – загальний вигляд петель; б – стулка дверей; в – вантажний люк; г – носок крила, що відхиляється; д – експлуатаційний люк

Напівфабрикатом для виготовлення петель є точний пресований титановий, сталевий або алюмінієвий профіль постійного перерізу.

Комп'ютерне моделювання забезпечує ув'язування петльових з'єднань дверей (рис. 7.11, а) та люків (рис. 7.11, б), опор і гаків замків (рис. 7.11, г) із конструкцією планера літака, що сполучається (рис. 7.11, в).

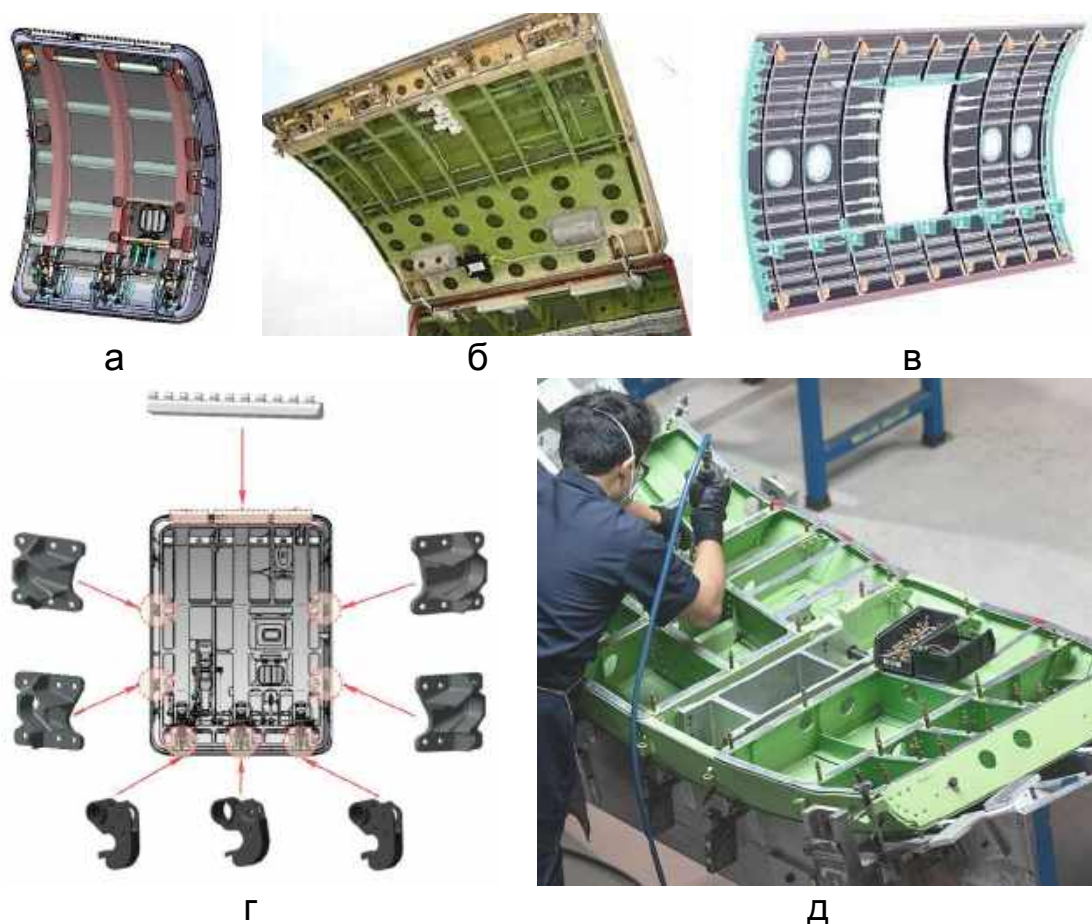


Рис. 7.11. Петльові шомпольні з'єднання стикових вузлів

Для забезпечення геометричної взаємозамінності петльових шомпольних з'єднань їх установлення на каркас дверей або люків здійснюють у спеціальних складальних пристроях, що мають ув'язані фіксатори обводів у вигляді ложементів, упорів і притискачів (рис. 7.11, д). Відкидні кондукторні плити з притискачами по периметру каркаса пристрою забезпечують фіксацію та спільну обробку свердлінням, зенкеруванням та розгортанням отворів у каркасі дверей та однієї петлі. Висувні фіксатори по осях замків та макетну петлю кріплять до рами та монтують за макетом дверей під час монтажу пристрою. Накладний кондуктор (див. рис. 7.7, ж) забезпечує ув'язування положення опор і замків на каркасі планера літака.

На рис. 7.12 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 із зазором $H11/d11$. Матеріал петель – титановий сплав марки Ti-6Al-4V (BT5).

Напівфабрикатом для виготовлення шомпольних петель є точний пресований профіль постійного перерізу з від'ємною (рис. 7.12, а) або нульовою (рис. 7.12, б) малкою. Основними операціями під час механічного оброблення петель є фрезерування ділянок за кроком (рис. 7.12, в) і розсвердлювання шомпольного отвору діаметром 5 мм до діаметра $6,5^{+0,2}$ мм. Фрезерування ділянок здійснюється в пристрої на фрезерному верстаті з ЧПК дрібнозубою дисковою фрезею з трьома різальними кромками.

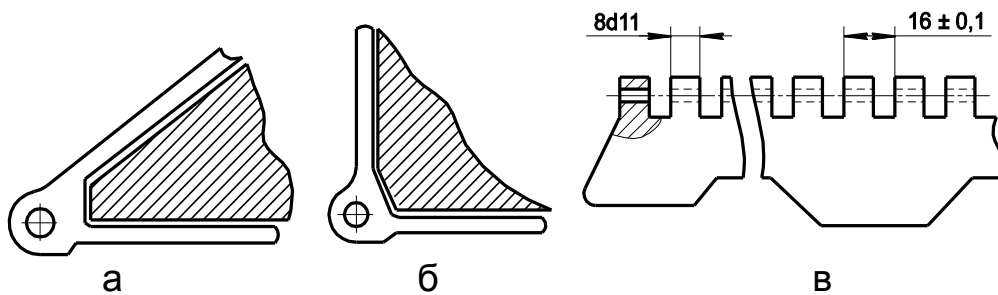


Рис. 7.12. Типові конструкції петлі носка крила, що відхиляється

Режим різання при фрезерування ділянок: швидкість – 25 м/хв; хвилинна подача – 15 мм/хв. Розсвердлювання отвору з виправленням прямолінійності його осі здійснюють на спеціальному горизонтально-свердлильному верстаті, застосовуючи кондуктор, свердлами зі швидкорізальної сталі марки Р9К10. Режим різання під час розсвердлювання: швидкість – 10 м/хв; хвилинна подача – 0,1 мм/хв. Відносна оброблюваність титанового сплаву марки Ti-6Al-4V (BT5) становить 0,8.

7.4. Оброблення силових шпангоутів фюзеляжу

Виготовлення великогабаритних деталей силового каркаса планера літака, насамперед силових шпангоутів фюзеляжу (рис. 7.13), з монолітних заготовок на верстатах з ЧПК є складним і трудомістким процесом.

Розробляючи маршрутні й операційні технології оброблення цих деталей, слід враховувати пластичні деформації (поводки) заготовки, що спричиняються унаслідок перерозподілу внутрішнього напруження під час знімання з неї металу. При механічній обробці фрезеруванням великих заготовок величина жолоблення від пластичних деформацій може становити до 10 мм.

Існують різні види траєкторій для формування конструктивних елементів типу «колодязь», «карман» та їм подібних шляхом проходів рядками, спіралями та їх комбінаціями. Застосування таких прийомів дає змогу виконувати продуктивне оброблення ребер жорсткості елементів заготовки, яка змінюється, що призводить до впливу на точність одержуваних розмірів пружних і пластичних деформацій оброблюваних площин.

Дійовим методом скорочення поводок і забезпечення заданої точності параметрів оброблення заготовок є розроблення такого маршрутного технологічного процесу, коли матеріал заготовки знімають пошарово, чергуючи ці шари відносно нейтральної за напруженням площини деталі.

Типова послідовність оброблення заготовок 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 центру 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.

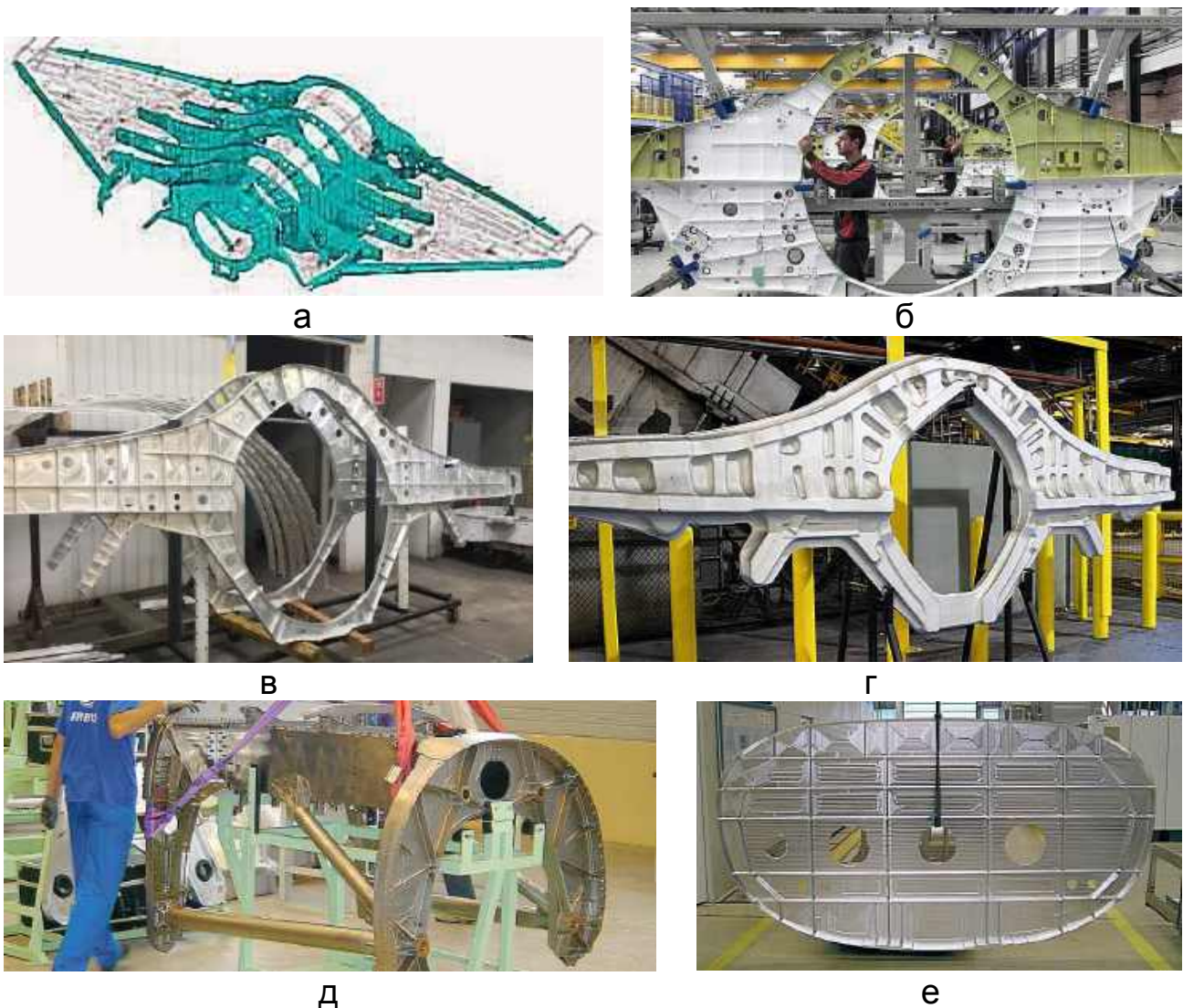


Рис. 7.13. Силві шпангоути: а – схема розташування у фюзеляжі літака-винищувача; б – етап секційного складання; в – вигляд після механічної обробки; г – вигляд штампованої заготовки; д – вигляд мотогондולי двигуна; е – вигляд стінки відсіку фюзеляжу

Зазвичай, витримавши рекомендовану послідовність фрезерування та усі технологічні умови, можна отримати необхідну геометрію деталі після попереднього оброблення. Щоб забезпечити жорсткість конструктивних елементів заготовки, під час оброблення до пристрою додають додаткову кількість затискних елементів. Передбачено технологічні паузи для переустановлення затискних елементів з однієї зони в іншу.

Основні конструкційні матеріали для виготовлення силових шпангоутів – це алюмінієвий сплав, що деформується, марки 7075-T73 (АК6), який належить до класу кувальних алюмінієвих сплавів, та титановий сплав марки Ti-6Al-4V (BT5). Поковки зі сплаву 7075-T73 (АК6) заввишки більше

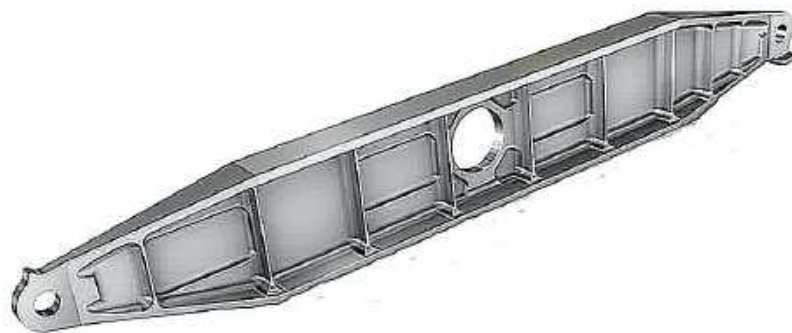
120 мм обробляються попередньо під термообробку з припуском 20 мм на бік, потім гартуються, далі виконується остаточна механічна обробка.

Механічна обробка пресованих заготовок силових шпангоутів виконується із застосуванням портално-фрезерних верстатів з ЧПК. Завдяки жорсткості конструкції верстати забезпечують високоточне оброблення заготовок силових шпангоутів з алюмінієвих і титанових сплавів, які мають багато різних за контуром і глибиною колодязів, вікон і виїмок.

За цією маршрутною технологією виготовляють також монолітні балки (рис. 7.14, б) із вузлами навішування основних стояків шасі зі штампованих заготовок (рис. 7.14, а), нижні частини шпангоутів (рис. 7.14, в, г) та силові нервюри (рис. 7.14, д), заготовками для яких є плити.



а



б



в



г



д

Рис. 7.14. Приклади монолітних силових деталей планера літака з плит

Комплектування і механічне складання вузлів та секцій планера літака, до складу яких входять силові шпангоути, виконують у спеціальних нерухомих або поворотних пристроях (рис. 7.15).

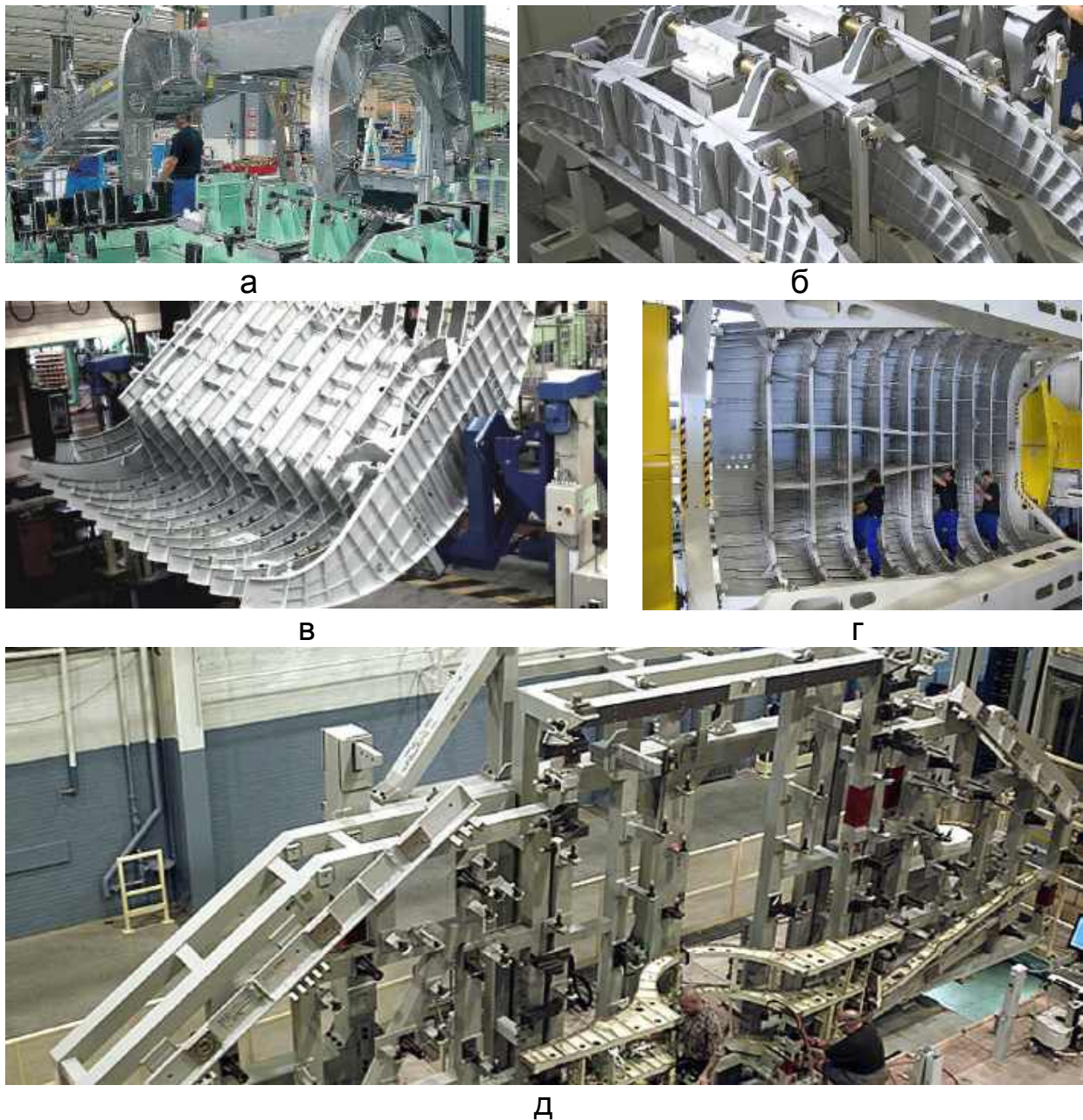


Рис. 7.15. Механічне складання вузлів та секцій, до складу яких входять силові шпангоути: а – пілон та мотогондола; б – відсік фюзеляжу з вузлами навішування кіля; в – ніша носового стояка шасі; г – вантажна рампа; д – інтегрований відсік фюзеляжу та крила надзвукового літака-винищувача

Висока точність виготовлення та жорсткість розглянутих силових деталей фюзеляжу і крила літака як типових дають змогу виконувати складання вузлів та секцій за системою допусків та посадок з базуванням деталей по координатно-фіксувальним отворам.

7.5. Оброблення деталей механізації крила літака

Особливості процесів механічної обробки в сучасному авіаційному виробництві обумовлені тим, що переважна частина номенклатури деталей планера літака відрізняється високою складністю геометричних форм, що визначаються вимогами аеродинаміки.

7.5.1. Оброблення рейок передкрилків і закрилків

Рейки передкрилків і закрилків – це високонавантажені деталі крила (рис. 7.16), які виготовляють зі сталевих і титанових штамповок.

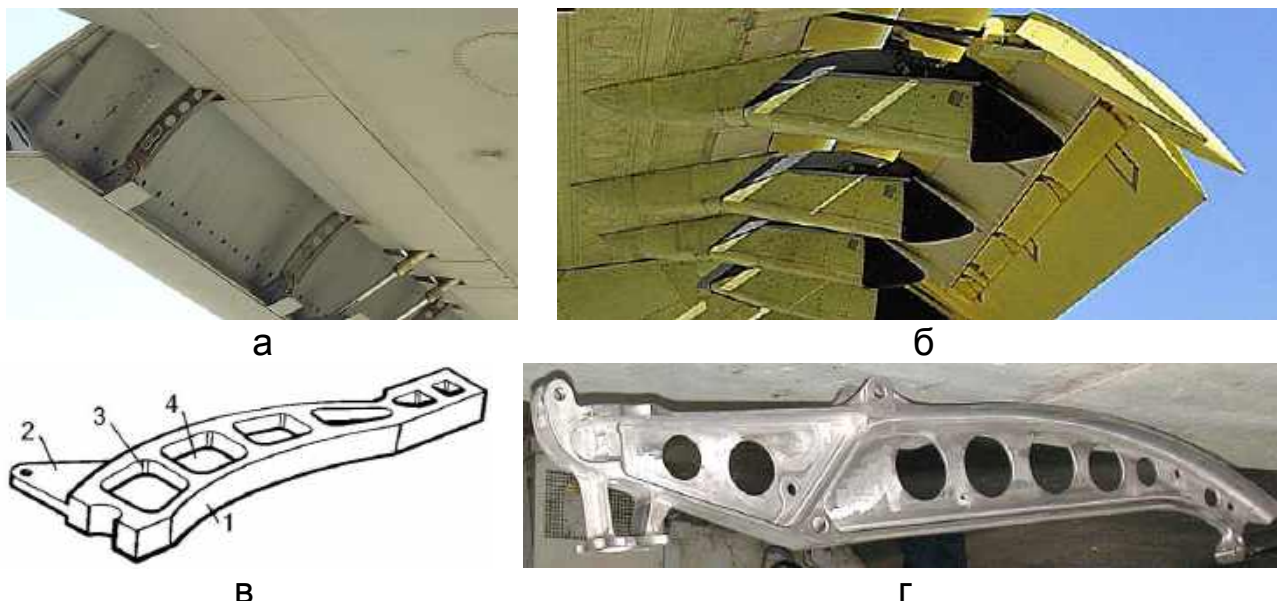


Рис. 7.16. Рейки механізації крила: а – передкрилка; б – закрилка; в – типова конструкція; г – зовнішній вигляд рейки закрилка; 1 – зовнішній контур; 2 – площина вушка; 3 – внутрішні контури колодязів; 4 – дно колодязів

Конструктивними особливостями цих деталей є реборди-напрявні, утворені дугами кіл, а також фігурні колодязі й глухі пази.

Рейки передкрилків і закрилків обробляють на верстатах з ЧПК кінцевими й кутовими фрезами з робочою частиною з твердого сплаву ВК8.

Типова технологічна 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 спеціальному верстатному пристрої з фіксуванням по двох технологічних отворах. Якщо заготовкою рейки є штамповка, 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 з остаточним доведенням шліфувальними головками або шляхом оброблення на спеціалізованому шліфувальному верстаті.

Шліфування деталей із високоміцних сталей виконують за два технологічні переходи:

- попереднє з одностороннім припуском 0,3...0,5 мм;
- чистове з одностороннім припуском 0,03...0,1 мм.

7.5.2. П'ятикоординатне оброблення деталей каркаса крила

Стикову гребінку збірно-монолітних панелей крила (рис. 7.17, а) обробляють по контурах і внутрішніх обводах 2, розташованих на криволінійній поверхні 1.

Щоку каретки дефлектора закрилка (рис. 7.17, б, в) обробляють по зовнішньому контуру 5 з малкованою поверхнею, внутрішніх контурах 1 і дну 2, а також по внутрішніх контурах з малкованими поверхнями 3 і 4.

Щока каретки дефлектора закрилка, посилена ребрами жорсткості, є обмеженою по контуру лінійчастою поверхнею з висотою борту приблизно 50 мм, але діапазон змінення малок уздовж порівняно невеликої ділянки контуру деталі дуже широкий – від нульової малки до кута 30° . Ця деталь потребує високої точності положення теоретичного контуру відносно висоточних отворів з'єднання з кареткою.

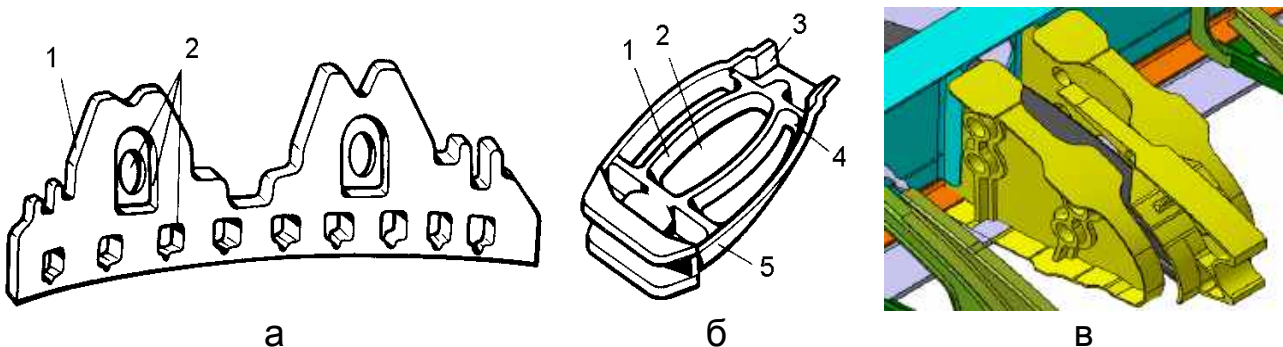


Рис. 7.17. Деталі каркаса крила: а – гребінка консолі крила; б – щока каретки дефлектора закрилка; в – комп'ютерна модель щоки

Заготовку щоки каретки дефлектора закрилка базують у пристрої за двома координатно-фіксувальними отворами діаметром 8 мм і кріплять через попередньо оброблені стикувальні отвори, що дає можливість здійснювати оброблення за одне установлення на верстат з ЧПК.

Типова послідовність програмного 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 подрізів;
- торцювання ребер поверхонь за висотою у п'ятикоординатному режимі фрезерування;
- фрезерування внутрішньої поверхні колодязів у трикоординатному режимі з остаточним формуванням полотна за товщиною.

Далі обробляють внутрішній контур 1 (див. рис. 7.17, б) у трикоординатному режимі фрезерування – попередньо фрезою діаметром 16 мм з припуском 1 мм й остаточно фрезою діаметром 12 мм.

Контрольні запитання

1. В які типові класи об'єднують деталі планера ЛА, що оброблюють з видаленням зайвого матеріалу?
2. Які характерні об'єкти п'ятикоординатного об'ємного фрезерування розрізняють за розширеною класифікацією?
3. Чим обумовлена складність виготовлення деталей каркаса літара кабіні сучасних літаків?
4. Як забезпечується високий рівень вимог взаємозамінності та ремонтпридатності скління літара з високоміцного акрилового скла?
5. З чого починається проектування технологічних процесів виготовлення деталей каркаса дверей та люків літака?
6. Які питання потребують особливої уваги при механічній обробці заготовок із титанових сплавів?
7. Якими технологічними засобами забезпечують геометричну взаємозамінність установа стикових вузлів «вуха-вилка»?
8. Як забезпечують ув'язування деталей петльових шомпольних з'єднань стикових вузлів?
9. Яка операція є основною під час механічного оброблення деталей петльових шомпольних з'єднань?
10. Яку особливість механічної обробки заготовок силових великогабаритних деталей необхідно враховувати при розробленні маршрутної та операційних технологій їх виготовлення?
11. Назвіть типову технологічну послідовність оброблення заготовок силових шпангоутів.
12. Яким інструментом обробляють на верстатах з ЧПК рейки передкрилків і закрилків?
13. Назвіть типову технологічну послідовність оброблення рейок передкрилків і закрилків.
14. Як базують заготовку щоки каретки дефлектора закрилка для забезпечення оброблення за одне встановлення?
15. Назвіть типову технологічну послідовність програмного механічного оброблення щоки каретки.

8. ОБРОБЛЕННЯ ВИРОБІВ 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 напруження; високу корозійну стійкість; радіопрозорість.

Високі показники КМ з питомої міцності, жорсткості й опірності втомі у поєднанні зі специфічними властивостями – радіопрозорістю, високою демпфівальною здатністю, низькою теплопровідністю – зумовили широке їх використання в конструкціях сучасних ЛА.

Оброблення різанням КМ використовують під час виготовлення широкої номенклатури традиційних деталей – обшивок, стрингерних панелей, накладок, поясів, багат шарових панелей зі стільниковим заповнювачем. Технологічні вузли з КМ – балки, шпангоути, лонжерони, відсіки агрегатів – потребують значного часу для 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, низькою теплопровідністю, наявністю волокон тощо.

У той же час процес різання КМ супроводжується тими самими явищами, що й процес різання металів: стружкоутворенням, силовими й тепловими явищами, інтенсивним спрацьовуванням інструменту.

8.1. 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 зараховувати 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. 8.1).

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.



Рис. 8.1. Класифікація пластмас за стійкістю до нагрівання

Кожний клас конструкційних пластмас, у свою чергу, поділяють 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, дисульфіді молібдену).

2. Термореактивні пластмаси:

- з газоповітряним наповнювачем (пінопласти, поропласти);
- з порошкоподібним наповнювачем (фенопласти);
- 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 виправдовується 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.

Групу пластмас із волокнистим наповнювачем доцільно поділити на низку підгруп за складом і властивостями наповнювача й сполучного, схемою армування матеріалу.

Область застосування КМ в конструкції сучасного пасажирського літака показано на рис. 8.2, лопатей вертольота – на рис. 8.3.

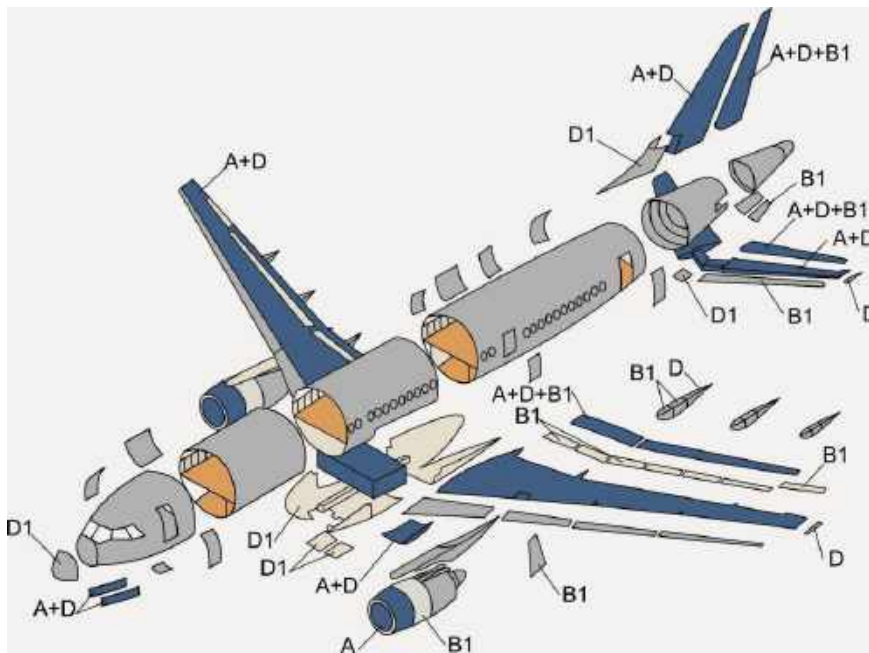


Рис. 8.2. Область застосування КМ у конструкції сучасного літака: А – вуглецева стрічка; D – склотканина; B1 – вуглецева тканина для стільникових конструкцій; D1 – склотканина для стільникових конструкцій

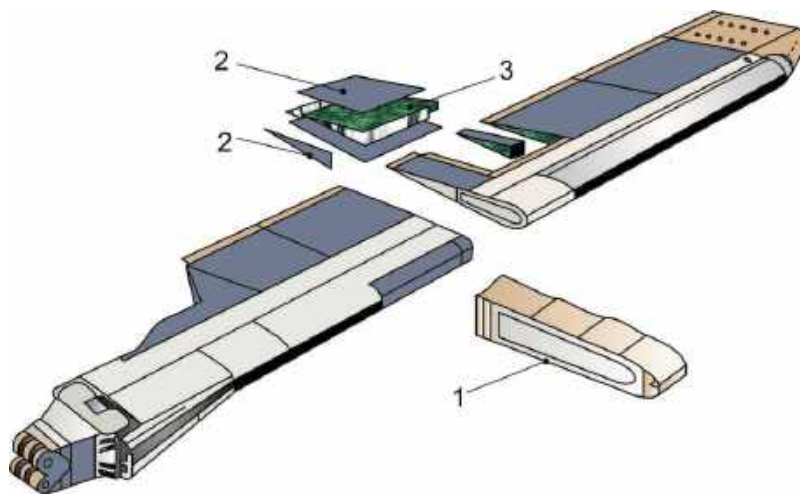


Рис. 8.3. Типова схема розташування КМ у лопаті сучасного вертольота: 1 – склотканина; 2 – органотекстоліт; 3 – стільниковий заповнювач з полімерсотопласта

Як імпортозамінники російських КМ на ДП «АНТОНОВ» та інших підприємствах авіаційного та ракетно-космічного профілю України успішно застосовують препреги американської компанії HEXCEL марок HexPly M21/34%/UD194/IMA та HexPly M21/40%/285T2. До складу цих препрегів входять вуглецеві волокна марки IMA і вуглецева тканина 285T2 на епоксидному сполучному марки M21. Матеріалом для композитного лонжерона лопатей сучасних вертольотів є препрег на основі склотканини марки 120, просоченої епоксидним сполучним марки M21HexPly M21/45%/120 компанії HEXCEL.

8.2. 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.

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 різи, фрезерування, шліфування.

8.2.1. Розрізання листових заготовок із КМ

Листові заготовки з КМ розрізають на верстатах стрічковими й дисковими пилками, дисковими фрезами, абразивними кругами.

Щоб уникнути значного перегрівання, не рекомендується здійснювати 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 пилками (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.

8.2.2. Токарне оброблення заготовок із КМ

Точіння заготовок 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 заготовок із КМ, 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, наприклад вуглепластиків, широко використовуються алмазні інструменти, які оснащені вставками із надтвердих матеріалів (НТМ) (рис. 8.4).

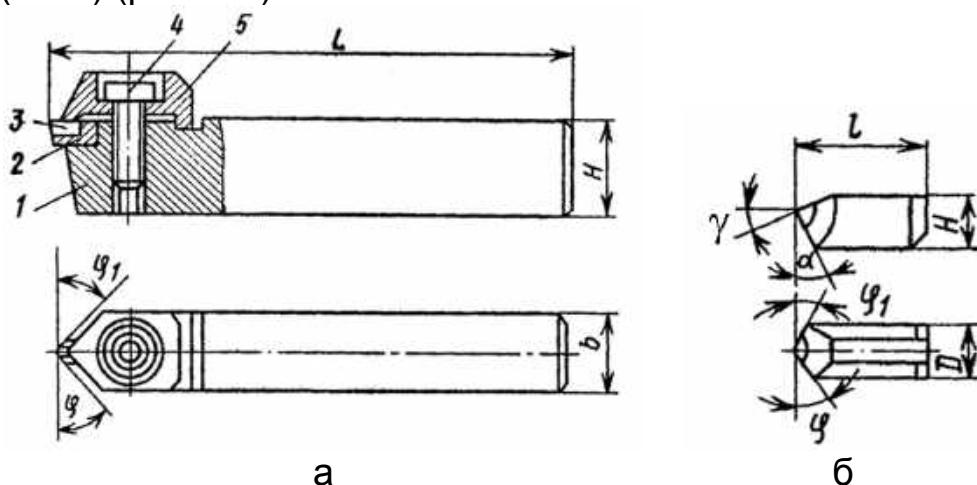


Рис. 8.4. Збірний різець, оснащений вставкою із НТМ:
а – конструкція різця; б – параметри різального елемента

Збірний різець (див. рис. 8.4, а) виконано у вигляді корпусу 1, в 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. Конструктивні розміри кристалічних вставок стандартизовано (див. рис. 8.4, б): $\gamma = -5...8^\circ$; $\alpha = 10...12^\circ$; $\varphi = 15...45^\circ$; $\varphi_I = 15...45^\circ$; $l = 18...30$ мм; $D = 5...16$ мм; $H = 4...12$ мм.

Режим різання заготовок із КМ на зразок вуглепластиків алмазним інструментом має такі значення: $v = 800...1000$ м/хв, $S_o = 0,04$ мм/об.

8.3. Оброблення отворів у заготовках із КМ

Свердління заготовок із КМ є одним із найпоширеніших видів обробки. На рис. 8.5 зображено рекомендовані форми заточки різальної частини й конструкції свердел зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів.

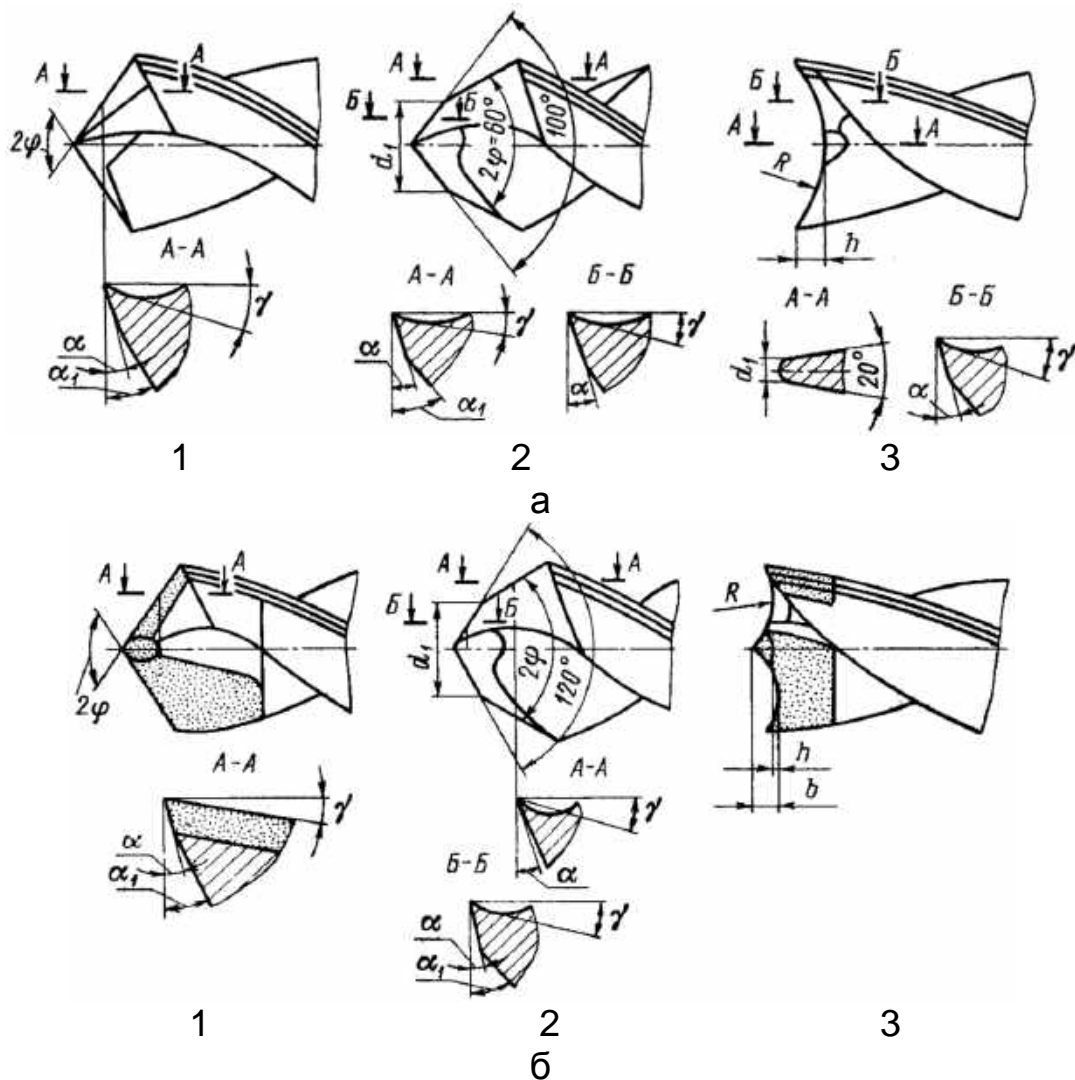


Рис. 8.5. Форми заточки різальної частини свердел зі швидкорізальних сталей (а) і твердих сплавів (б):
1 – Н; 2 – П; 3 – ПРК

Свердла зі швидкорізальних сталей (див. рис. 8.5, а) із формами заточки різальної частини типу Н (нормальна), П (подвійна) і ПРК (з підрізувальними різальними кромками) застосовують для свердління отворів у склопластиках, свердла з твердих сплавів (див. рис. 8.5, б) з такими самими формами заточки – у скло-, вугле- і боропластиках.

Найбільше на якість оброблення отворів і спрацювання свердел впливає кут при вершині свердла 2ϕ (рис. 8.6). Область оптимальних значень кутів лежить у діапазоні $85...90^\circ$, що забезпечує мінімальну величину механічних пошкоджень.

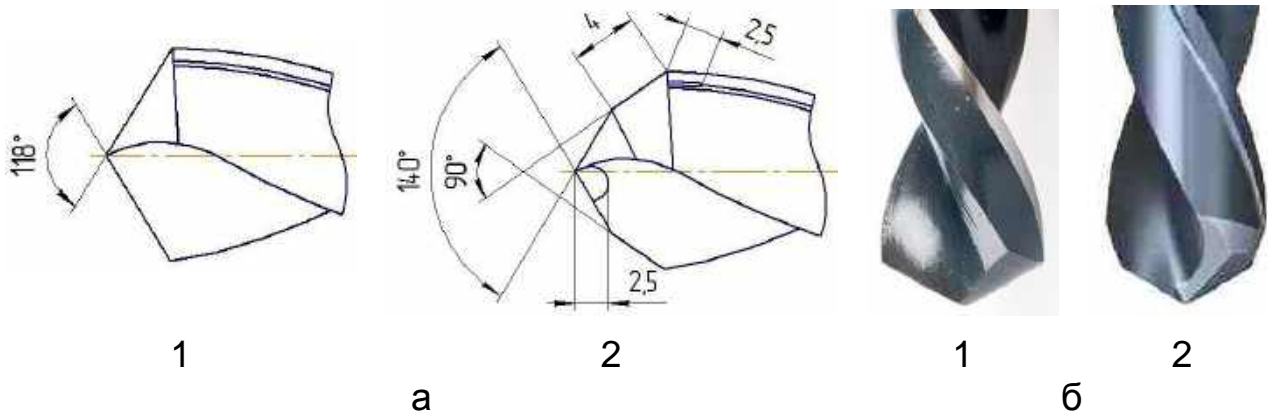


Рис. 8.6. Геометричні параметри різальної частини (а) та загальний вигляд (б) стандартних свердел: 1 – Н; 2 – П

Застосування подвійного заточування та полірованих стружкових канавок зменшує тертя, дає змогу відвести стружковий шар від обробленої поверхні та направити по дну стружкової канавки (рис. 8.7).

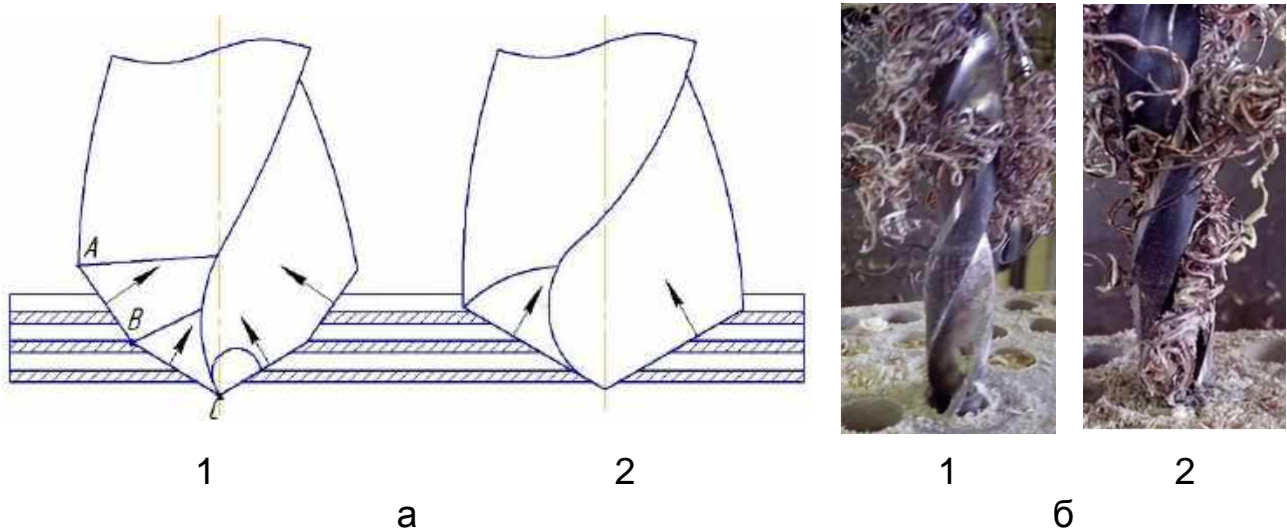


Рис. 8.7. Схема руху (а) та загальний вигляд (б) стружки залежно від форми заточування різальної частини свердла: 1 – П; 2 – Н

У точці *B* на перетині різальних кромки *AB* і *BC* свердла з подвійним заточуванням (див. рис. 8.7, а, 1) відбувається дроблення стружки, що полегшує її транспортування по стружкових канавках і запобігає утворенню щільних пакетів стружки.

Лезовий інструмент, що застосовується для оброблення отворів у КМ, має відповідати таким вимогам:

- величина заднього кута різання α має бути максимально збільшена до $20...30^\circ$, що сприяє меншому викришуванню сполучного, а отже, й зменшенню шорсткості поверхні отвору;

- величина переднього кута γ має бути в межах $0...15$ з міркувань оптимального стружкоутворення. Зі збільшенням переднього кута спостерігається ворсистість крамок отворів, особливо в момент виходу куточків свердла з отвору;

- зменшення кута нахилу канавок ω до $10...15$ і використання свердел з широкою полірованою канавкою покращує відведення стружки й сприяє підвищенню якості оброблення отворів;

- різальна кромка має бути гострозаточеною;

- стружкові канавки для виключення прилипання продуктів різання мають бути підвищеної ширини та відполіровані.

Щоб запобігти налипанню стружки на інструмент під час свердління, рекомендується наносити на поверхню канавок свердел дисульфід молібдену. Використовувати під час свердління МОР не рекомендується, оскільки останні змішуються з пилом та утворюють пасту, яка ускладнює свердління.

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

За критерій спрацювання свердел зазвичай беруть величину спрацювання по задній грані h_3 різальної кромки свердла (рис. 8.8).

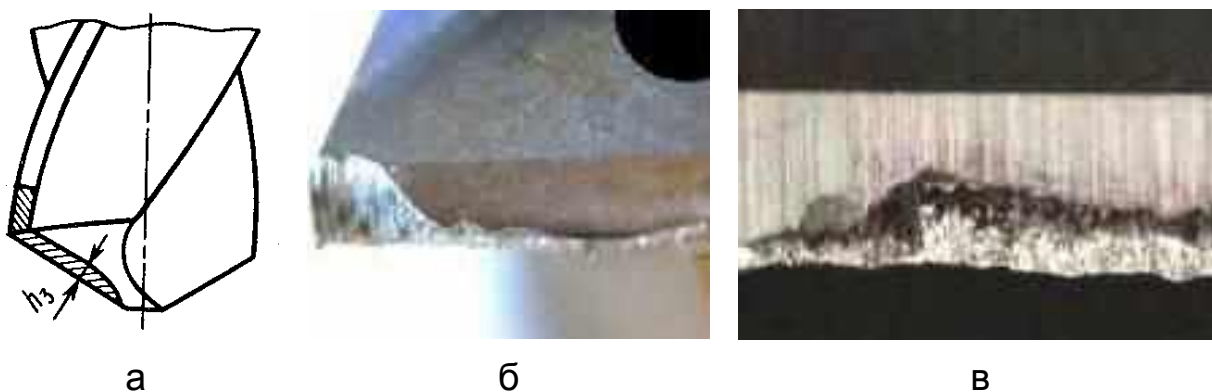


Рис. 8.8. Схема спрацювання різальної кромки свердла по задній грані (а) та загальний вигляд різальної кромки, що спрацьована (б, в)

Допустима величина спрацювання інструменту для оброблення різанням КМ набагато нижча, ніж для металевих заготовок.

Режим різання для свердління деталей із КМ вибирають так, щоб забезпечити необхідні показники шорсткості поверхні й періоду стійкості інструменту.

Свердління на великих подачах спричиняє відшаровування матеріалу на вхідному й вихідному торцях отвору, на малих – призводить до вор-

систості поверхні отвору. Зі збільшенням подачі понад 0,3 мм/об якість отворів погіршується. 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 шести зубі 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 огранювання 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. Рекомендується брати такі геометричні параметри для робочої частини розверток і режиму різання: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $2\phi = 15^\circ$, $v = 20...40$ м/хв, $S_0 = 0,1...0,6$ мм, $t = 0,2...0,3$ мм.

На точність оброблення отворів впливає різноманітність 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 кріплення з КМ виконується мітчиками.

Висока пружність КМ у процесі утворення різи спричиняє затиснення інструменту, що знижує точність оброблення 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 (два або три) з полірованими канавками й шліфованим профілем. Хороші результати дає хромування робочих поверхонь мітчиків.

Зовнішній діаметр мітчиків слід збільшувати на 0,05...0,15 мм, зважаючи на усаджування нарізуваних отворів. Рекомендується виконувати хіміко-термічне оброблення мітчиків ціануванням, у процесі оброблення застосовувати охолодження повітрям.

Під час нарізування різи мітчиками зі швидкорізальних сталей швидкість не повинна перевищувати 15 м/хв.

8.3.1. Оброблення отворів в армованих КМ

Найважливішим показником якості отворів у виробках авіаційної та ракетно-космічної техніки є їх розмірна точність, яка має забезпечити необхідний характер посадки в механічному з'єднанні та гарантувати працездатність з'єднання стикового агрегату ЛА в цілому.

Найбільшу трудність становить оброблення отворів для встановлення металевих втулок у змішаному пакеті «композит – титанова фольга» (наприклад, для лопаті НГ бойового вертольота – це отвори діаметром 33Н7).

Композитний лонжерон лопаті НГ такого вертольота виготовляють методом автоматичного «сухого» спірального намотування 12 шарів стрічкового препрега зі склонитки на металеву оправку з подальшим затвердінням у прес-формі. Склострічки шириною 10^{+1} мм виготовляють зі склонитки на спеціальній установці моделі УЛС-3М.

У комлевій частині лонжерона встановлено комбіновані пакети посилення, що складаються з шарів титанової фольги марки ОТ4-0-0,1×220 та високоміцної склотканини марки Т-10-14 (рис. 8.9).

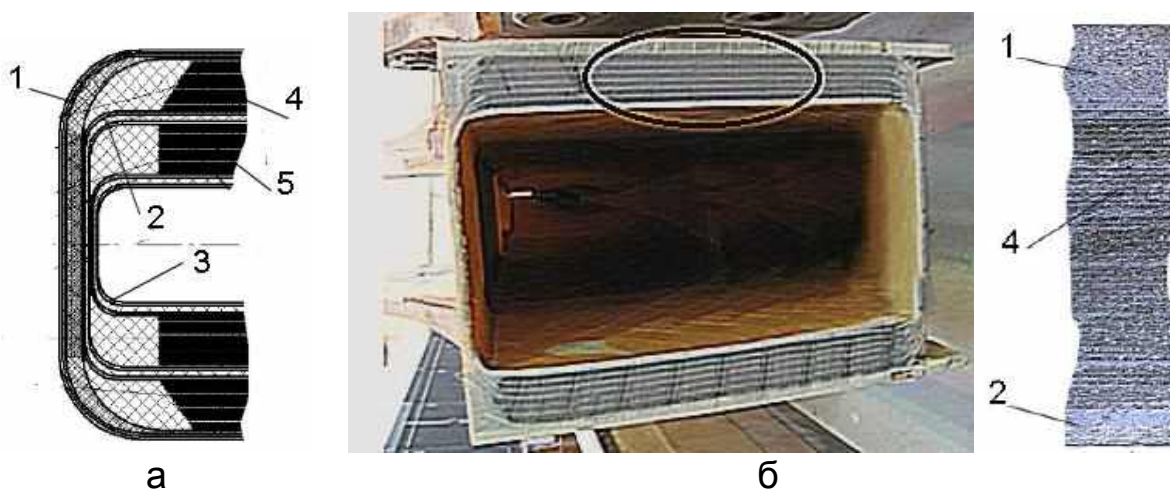


Рис. 8.9. Схема розташування (а) пакетів посилення у комлевій частині (б) композитного лонжерона: 1, 2, 3 – шари стрічкового препрега; 4, 5 – пакети посилення

Такі КМ належать до VI групи оброблюваності (I група – однорідні полімери, що найбільш легко обробляються, VI – важкооброблювані армовані композити з анізотропією властивостей).

Наявність металевих шарів ускладнює виконання отворів заданої якості по всій товщині пакета через термічну та механічну дію стружки на поверхню отворів у композитних шарах, а також утворення задирок у металевих шарах.

Чергування шарів композитного матеріалу та титанової фольги призводить до періодичного змінення механічних і теплофізичних властивостей інтегрального пакета в зоні різання, а також його оброблюваності при осьовому переміщенні інструменту. Різальні кромки інструменту перерізають по черзі тверді скляні волокна препрега, менш тверде полімерне сполучне і в'язку важкооброблювану титанову фольгу.

Найбільш небезпечним дефектом є розшаровування між сусідніми шарами армування вздовж напрямку. Основною причиною появи розшаровування є високе значення осьової сили, що діє, величина якої в основному визначається подачею.

Структурна анізотропія та дискретність властивостей армованого титановою фольгою склопластику призводять до того, що отвір набуває овальноподібної форми.

Титанова фольга, що має набагато більшу теплопровідність порівняно з КМ, буде прогріватися на значні відстані від зони різання, впливаючи на віддалені шари композита і знижуючи міжшарову міцність по межі «склопластик – титанова фольга».

Моделювання теплових полів виявило переривчасте змінення температури в процесі різання – при переході різальної кромки свердла з шару композита на шар металу відбувається її стрибкоподібне збільшення. Значення піків тепла при переході свердління з шару титанової фольги на шар композита вище, ніж з композита на титанову фольгу.

У зв'язку з цим маршрут оброблення кожного отвору в пакеті армованого КМ на верстаті з ЧПК містить:

- свердління;
- два переходи розсвердлювання;
- контурне фрезерування;
- два переходи зенкерування;
- два переходи розгортання (попереднє та чистове).

8.3.2. Свердлильні машини з автоматичною подачею

Операції оброблення отворів у важкодоступних місцях розташування композитних вузлів у планері літака або вертольота потребують застосування компактного свердлувального обладнання. Таким обладнанням є свердлильні машини з автоматичною подачею (СМАП). Завдяки автоматичному циклу виключається безпосередня участь слюсаря-складальника в процесі свердлення, що, у свою чергу, знижує ризик отримання бракованих отворів.

Провідними світовими виробниками СМАП є фірми Atlas Copco (Швеція), Desoutter (Франція), Dotco & Cleco (США), Lubbering (Німеччина). Вибір конкретної моделі СМАП залежить від складу та товщини змішаного пакета, необхідної точності та шорсткості отвору.

Виділення дрібнодисперсних частинок наповнювача, змішаного зі сполучним, утворення летких токсичних речовин під час оброблення отворів у КМ при використанні СМАП накладають особливі вимоги до виробничої санітарії. На рис. 8.10, а показано компоновальну схему СМАП моделі ST1200 компанії Desoutter (Франція). Загальний вигляд СМАП такої моделі з приєднаним шлангом та штуцером витяжної вентиляції зони оброблення композитних вузлів показано на рис. 8.10, б. Конструкція уніфікована із моделлю СМАП для оброблення отворів у металевих вузлах (рис. 8.10, в).

Висока адсорбційна здатність КМ дає змогу використовувати в процесі свердління МОР у вигляді струменя емульсії. У конструкції всіх сучасних СМАП у разі оброблення армованих пакетів, що містять титанові сплави та КМ, передбачено використання МОР у вигляді масляного туману.

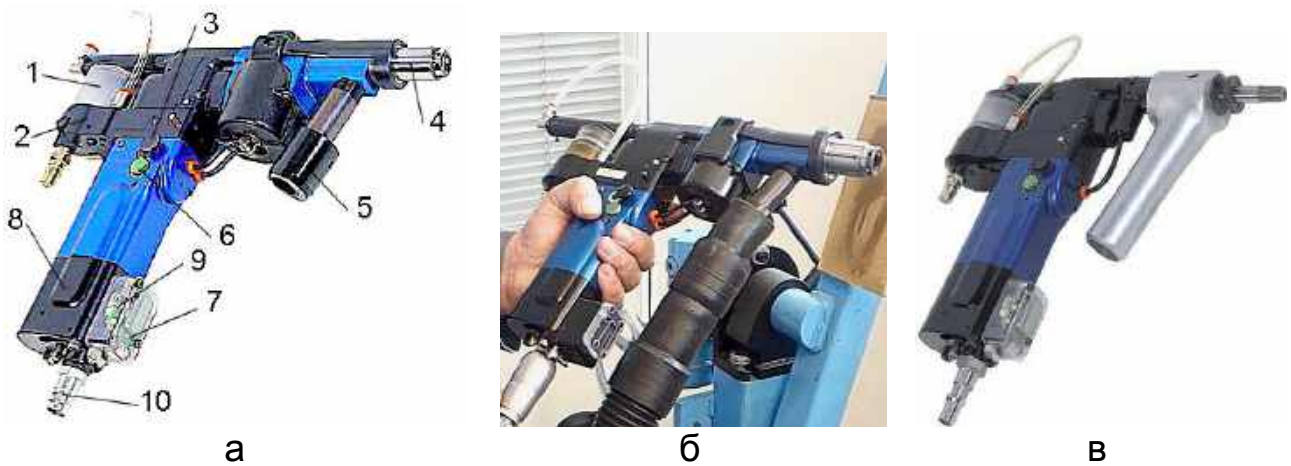


Рис. 8.10. Компонувальна схема (а) та загальний вигляд (б, в) СМАП моделі ST1200:
 1 – вібратор; 2 – маслянка; 3 – регулятор частоти обертання; 4 – патрон із щілинною насадкою; 5 – штуцер витяжної вентиляції; 6 – регулятор подачі; 7 – кнопка пускова; 8 – блок пневматичної турбіни; 9 – регулятор кількості циклів оброблення; 10 – штуцер пневматичної мережі

Для приготування та дозування масляного туману в конструкції СМАП передбачено знімний блок з масляною, в яку заправляють МОР. Блок виконує імпульсну подачу масляного туману, частота імпульсів, витрата масла та повітря за один імпульс мають регулюватися.

Конструкція СМАП дає змогу ступінчасто задавати режими різання в такому діапазоні: подача від – 0,02 до 0,20 мм/об, частота обертання – від 150 до 6500 1/хв.

8.4. Оброблення виробів із КМ фрезеруванням

Для оброблення деталей зі скло-, вугле-, органо- та боропластиків фрезеруванням 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.

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 надто швидке спрацювання.

Значною мірою на стійкість інструменту впливають геометричні параметри його різальної частини (рис. 8.11), 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 має перевищувати 0,5 мм для чорнової обробки і 0,3 мм для чистової.

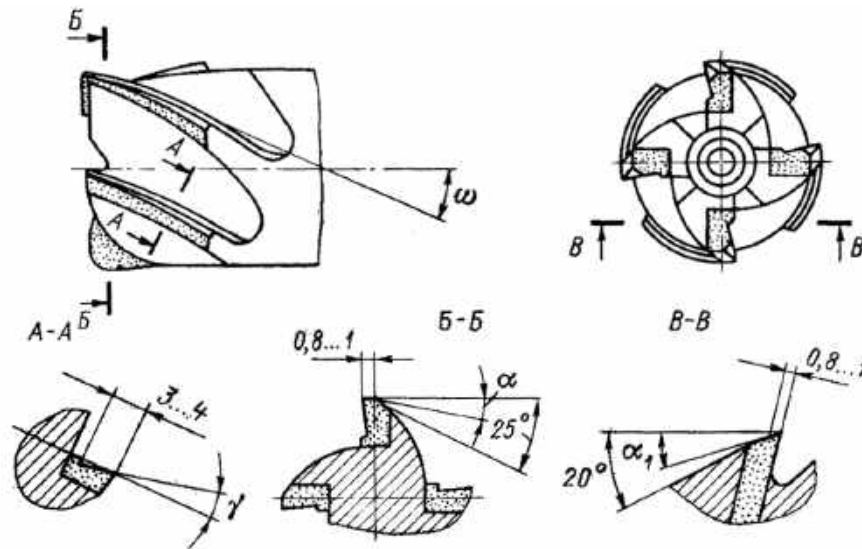


Рис. 8.11. Типова конструкція твердосплавної кінцевої фрези

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.

Контурну обробку КМ після формування виконують кінцевими фрезами з різноспрямованими спіральними канавками (рис. 8.12, а).

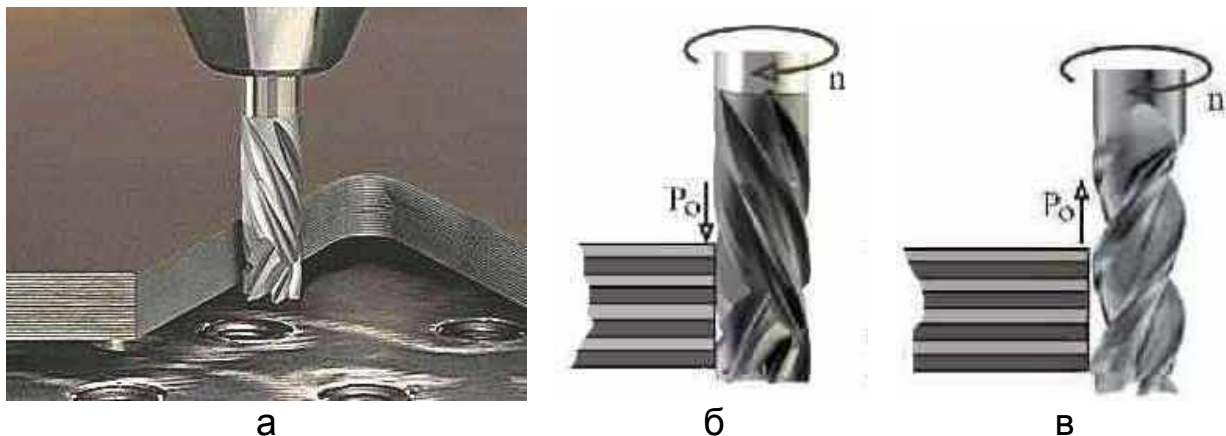


Рис. 8.12. Кінцева фреза з різноспрямованими спіральними канавками

Осьова сила різання завдяки такій конструкції кінцевої фрези стискає пакет КМ (рис. 8.12, б), що дає змогу уникнути його розшарування. Стандартна кінцева фреза при обробці різанням розтягує пакет (рис. 8.12, в), що може призвести до його розшарування.

У процесі фрезерування деталей із КМ дуже ефективним є використання інструментів, оснащених вставками із НТМ. У цьому разі конструкція інструменту не відрізняється від конструкції фрез із твердих сплавів, змінні ножі (наприклад, торцевих фрез) є вставками із НТМ марки АСБ.

Для контурного та об'ємного фрезерування композитних виробів застосовують кінцеві фрези, які мають шар із синтетичного алмазу марки АС15 зернистістю, не нижчою за 400/315 (рис. 8.13).

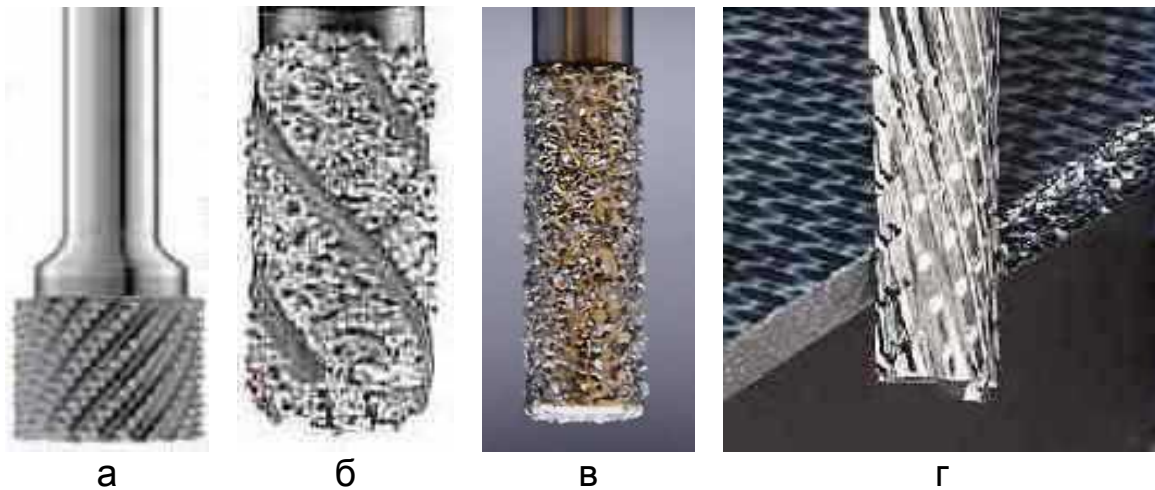


Рис. 8.13. Кінцеві фрези з алмазною кулькою для видів обробки: а – чорновий; б – напівчистовий; в – чистовий; г – приклад фрезерування композитної обшивки

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 для цього 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.

8.5. Видалення стружки й пилу із зони різання КМ

Для видалення стружки та пилу із зони фрезерування на верстатах із ЧПК передбачено спеціальну витяжну вентиляцію (рис. 8.14, а).

Витяжна вентиляція має систему гнучких трубопроводів і приймач-уловлювач для видалення стружки і пилу безпосередньо із зони фрезерного оброблення (рис. 8.14, б).

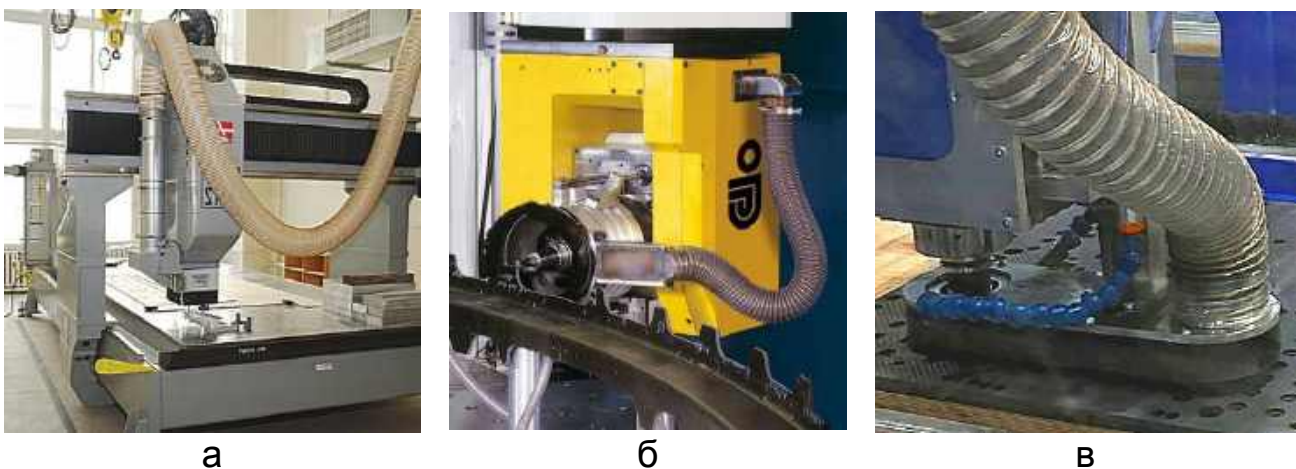


Рис. 8.14. Загальний вигляд витяжної вентиляції на верстаті з ЧПК (а), приймача стружки та пилу із зони фрезерування (б) та свердління (в) КМ

Спеціальна конструкція інструментів дає можливість захоплювати стружку й пил безпосередньо в зоні різання інструменту. На рис. 8.15, а зображено конструкцію спеціального самообертового різця з твердого сплаву, який застосовується для зовнішнього обточування заготовок із КМ.

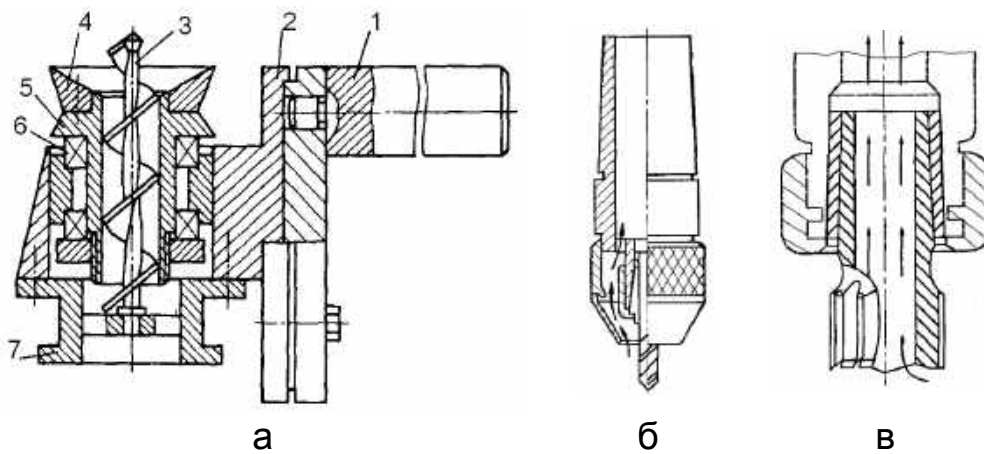


Рис. 8.15. Інструменти спеціальних конструкцій для оброблення деталей із КМ:

- а – токарний різець із стружковідвідним пристроєм;
б – цанговий патрон з кільцевою щілиною; в – порожниста фреза

Оправка 1 закріплена у різцетримачі верстата. Самообертовий різець 4 установлено у втулці 5, яка сполучена з корпусом 2 через підшипники 6. До патрубку 7, з'єданого з корпусом 2 гвинтами, закріплений шнек 3. Патрубок 7 сполучений із системою витяжної вентиляції. У процесі оброблення різець обертається, і по гвинтових канавках шнека стружка прямує до каналу витяжної вентиляції.

Під час свердління пил і стружка відводяться через цанговий патрон з кільцевою щілиною (рис. 8.15, б), під час фрезерування – через центральний отвір в інструменті (рис. 8.15, в).

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію конструкційних пластмас за стійкістю до нагрівання й оброблюваністю різанням.
2. Які характерні особливості оброблення різанням властиві типовим представникам КМ?
3. Назвіть вимоги до лезового інструменту для оброблення отворів у КМ.
4. Які технологічні переходи містить маршрут оброблення отвору в пакеті армованого КМ?
5. Як впливають геометричні параметри різальної кромки свердла на якість оброблення 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. Які методи видалення стружки й пилу із зони різання застосовуються у процесі оброблення деталей із КМ?

9. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШАСІ ЛІТАКА

Шасі літака, вертольота або дрона (рис. 9.1) призначено для забезпечення стоянки на землі, руху під час зльоту, посадки та рулювання, а також для поглинання кінетичної енергії при посадці та гальмуванні.



а



б



в



г



д



е



ж



и



Рис. 9.1. Приклади зовнішнього вигляду шасі деяких сучасних літальних апаратів: а – багатозікове головне шасі аеробуса В-747; б – носовий стояк аеробуса; в – візок головного шасі регіонального пасажирського літака; г – шестистоякове головне шасі військово-транспортного літака А-400; д – десятистоякове головне шасі важкого транспортного літака Ан-124 «Руслан»; е – шасі дрона Х-47В корабельного базування; ж – шасі надзвукового винищувача; и – шасі бойового та транспортного вертольотів

Шасі літака пов'язано механічними, гідравлічними, електричними каналами з бортовими системами прибирання, випуску, гальмування, розвороту коліс передньої опори, сигналізацією положень шасі у кабіні екіпажу.

Виготовлення шасі потребує використання великої кількості спеціальних, у тому числі й унікальних, технологій, тому з технічних та економічних міркувань їх доцільно зосереджувати на спеціалізованих підприємствах світової авіаційної промисловості.

Нині лише чотири спеціалізовані компанії – Héroux-Devtek (Канада), Liebherr (Німеччина), Safran Landing Systems (Франція), Triumph Group (США) забезпечують обсяг близько 90 відсотків світового виробництва шасі для таких провідних розробників цивільної та військової авіаційної техніки світового рівня як Airbus, Boeing, Bombardier, Mirage Dassault, Embraer, Gulfstream, Lockheed Martin, Northrop Grumman, Sikorsky.

У колишньому СРСР шасі для всіх типів літаків та вертольотів виготовляв лише один спеціалізований завод «Гидропривод» (м. Горький).

9.1. Конструктивні особливості шасі літаків

Конструкція шасі містить корпус стояка та систему підкосів і тяг, що сприймають реакції землі та кріплять циліндр амортизатора і колеса до крила і фюзеляжу будь-якого пасажирського, військового літака або вертольота, одночасно може бути механізмом прибирання-випускання шасі.

На рис. 9.2, а подано комп'ютерну модель основних конструктивних елементів носового стояка шасі пасажирського літака регіонального класу (механізми прибирання-випускання шасі умовно не показано).

Корпус 1 стояка є основним силовим елементом шасі літака, що сприймає і передає на конструкцію планера сконцентровані статичні й динамічні навантаження, що виникають при зльоті і посадці.

Внутрішня порожнина корпусу стояка шасі літака використовується для розміщення амортизатора 2. Азотно-масляний довгоходовий амортизатор шасі забезпечує плавність ходу при русі по аеродрому та пом'якшує удари, що виникають у момент приземлення літального апарата.

Підкоси 3 слугують опорами корпусу носового стояка, розвантажують його від згинального моменту і збільшують жорсткість конструкції шасі.

Траверса 4 розташована на підкосах корпусу стояка і є поворотним вилковим стиком стояка шасі з силовим шпангоутом літального апарата.

Механізм 5 забезпечує поворот коліс переднього стояка шасі для маневрування літального апарата по злітно-посадковій смугі і запобігає виникненню коливань коліс типу «шиммі», що самозбуджуються.

Шліц-шарнір 6 з'єднує шток амортизатора зі стояком і перешкоджає повороту штока в циліндрі стояка. На маточину 7 кріплять колеса носового стояка шасі. Двоважільний підкіс 8 фіксує передній стояк шасі у випущеному положенні.

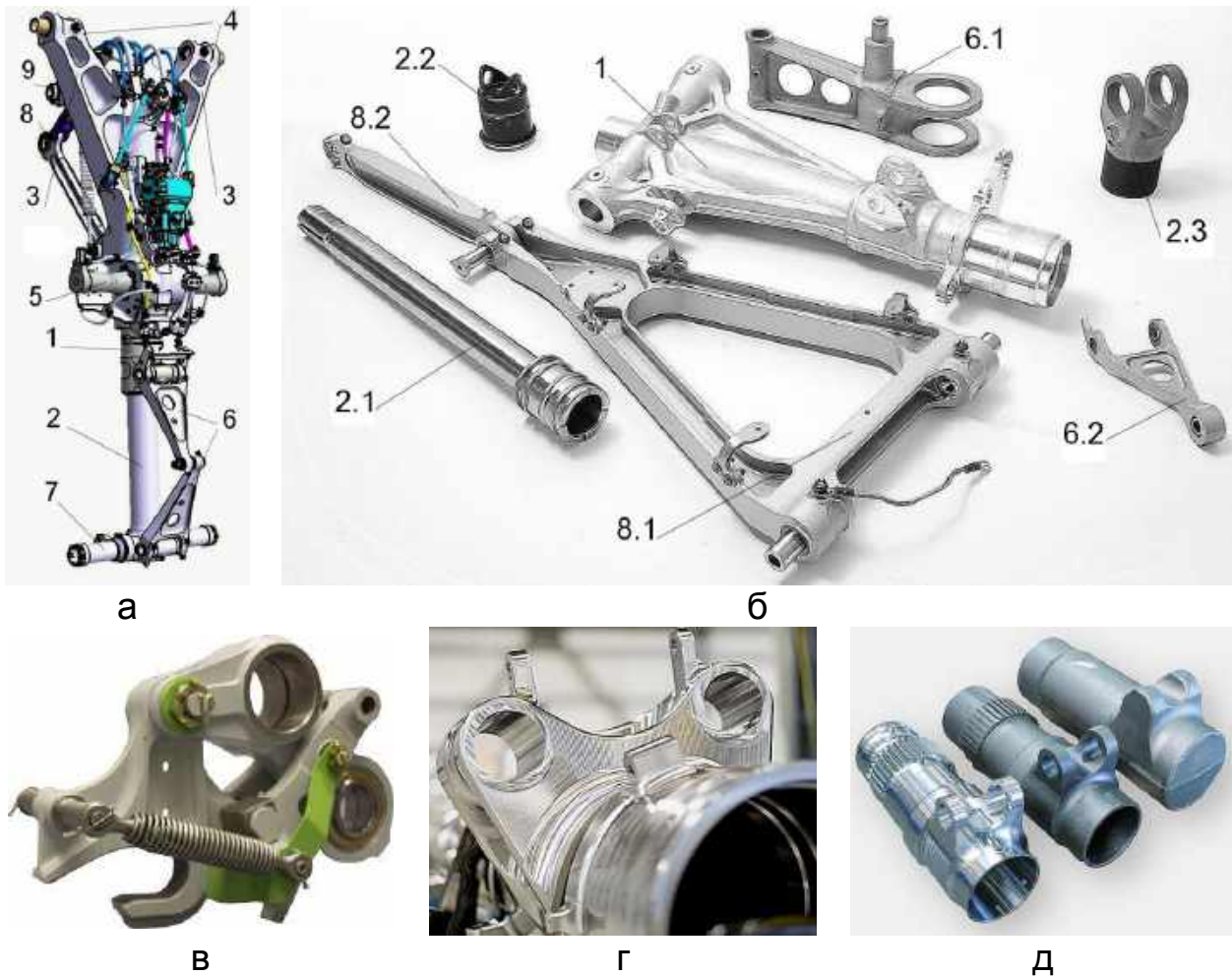


Рис. 9.2. Типові деталі та вузли носового стояка шасі пасажирського літака

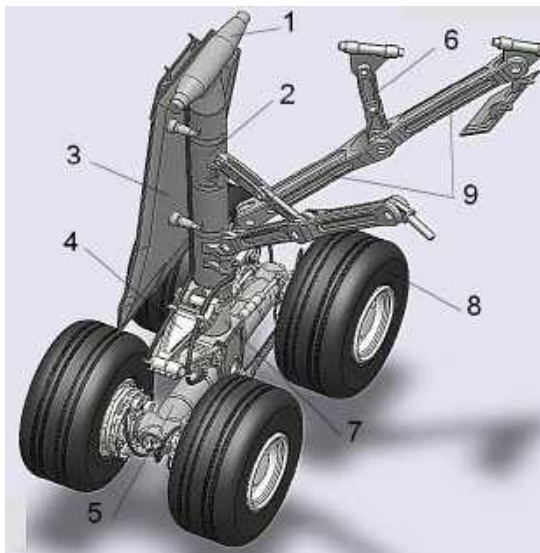
На вушку 9 за допомогою болтів кріпиться гідроциліндр прибирання та випускання переднього стояка шасі (на схемі не показано).

На рис. 9.2, б позначено деталі, які конструктивно входять до корпусу 1 носового стояка – амортизатор 2, шліц-шарнір 6 та двоважільний підкіс 8 (див. рис. 9.2, а). Фіксацію носового стояка шасі будь-якого літака у випущеному та прибраному положеннях забезпечує вузол замка (рис. 9.2, в).

Найскладнішим у виготовленні є корпус стояка шасі, конструкція якого містить високоточну шліфовану циліндричну порожнину різних діаметрів і об'ємну зовнішню поверхню з великою кількістю силових вушок (рис. 9.2, г).

Маршрутна технологія виготовлення деталі рульового механізму переднього стояка шасі (рис. 9.2, д) також є багатоопераційною.

У транспортних літаків великої вантажопідйомності та пасажирських літаків великої пасажиромісткості, особливо літаків-аеробусів, кількість коліс шасі становить кілька десятків, що об'єднуються у візки. Візки головного шасі пасажирського літака бувають одно-, дво- або тривісні. На кожній осі встановлена зазвичай пара коліс. Конструкція візка головного шасі пасажирського літака (рис. 9.3) містить траверсу 1, корпус стояка шасі 2 разом зі стулкою 3, шліц-шарнір 4, візок 5, замок підкосу 6, амортизатор 7, колеса 8, двоважільний підкіс 9.



а



б



в



г

Рис. 9.3. Візок головного шасі пасажирського літака: а – комп'ютерна модель основних конструктивних елементів; б – відпрацювання етапів прибирання та випускання тривісного візка головного шасі пасажирського літака-аеробуса в цеху остаточного складання; в – двовісний візок головного шасі регіонального пасажирського літака; г – складання-монтаж двовісного візка головного шасі пасажирського літака-аеробуса

До конструкційних матеріалів стояків та візків шасі літальних апаратів поряд з високою міцністю ставляться вимоги низької анізотропії властивостей, високого значення опору втоми при низькій швидкості поширення тріщин, а також високого опору корозійному розтріскуванню.

9.2. Технологічні особливості оброблення титанових заготовок шасі

Деталі шасі виготовляють методом гарячого штампування із високоміцної низьколегованої сталі за американським стандартом 4340M (30XГСН2А), останніми роками – з титанового сплаву за американським стандартом Ti-10V-2Fe-3Al (BT-22). Одним із небагатьох виробників великогабаритних титанових заготовок для деталей шасі є японська металургійна компанія Japan Aeroforge, до складу технологічного обладнання якої входить найбільший у світі гідравлічний прес зусиллям 80 тисяч тонн.

На рис. 9.4 показано загальний вигляд штампованих титанових заготовок для деталей шасі, найбільша з яких для стояка шасі аеробуса має довжину 3,3 метра та масу 5400 кг (див. рис. 9.4, а).



Рис. 9.4. Штамповані титанові заготовки деталей шасі: а – носового стояка аеробуса; б – стояка головного шасі регіонального пасажирського літака; в – носового стояка винищувача; г – рами візка регіонального пасажирського літака; д – штока та маточини носового стояка літака-винищувача

Зварювання титанових фермових конструкцій шасі – особливо відповідальна технологія, яку доручають підготовленим зварникам, що мають необхідний практичний досвід і навички зварювання в шлюзових камерах, які заповнені інертним газом (рис. 9.5).

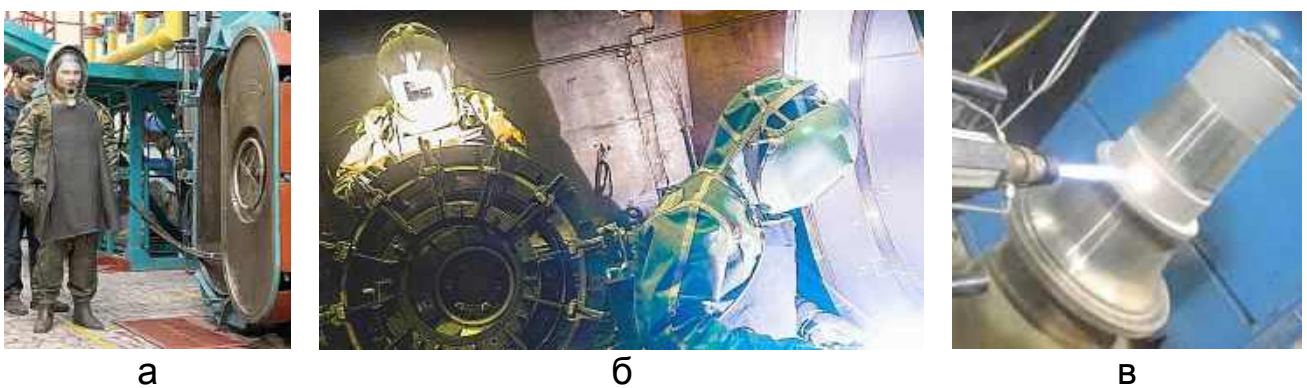


Рис. 9.5. Аргоно-дугове зварювання титанових конструкцій у шлюзовій камері: а – зварник у скафандрі; б – загальний вигляд робочих місць зварників у шлюзовій камері; в – процес приварювання маточини до стояка шасі літака

На рис. 9.6 схематично показано типову технологічну послідовність п'ятикоординатної механічної обробки зовнішніх поверхонь стояка головного шасі пасажирського регіонального літака.

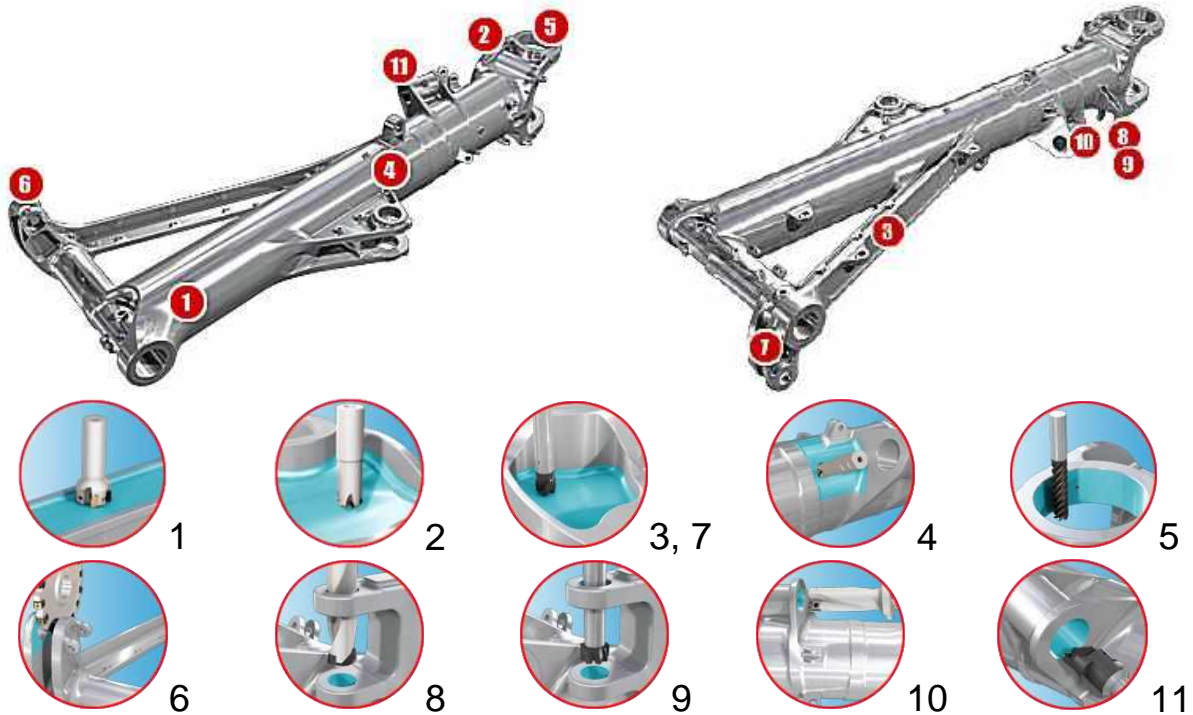


Рис. 9.6. Схема послідовності оброблення поверхонь заготовки стояка шасі:
 1 – контурне фрезерування корпусу, 2 – карманів, 3, 7 – колодязів, 4 – галтелей;
 5 – чорнове спіральне фрезерування отворів; 6 – дискове фрезерування пазів;
 8 – свердління, 9 – зенкерування, 10, 11 – розточування отворів

Приклади п'ятикоординатного оброблення зовнішніх поверхонь корпусів стояка головного шасі двох пасажирських літаків показано на рис. 9.7.

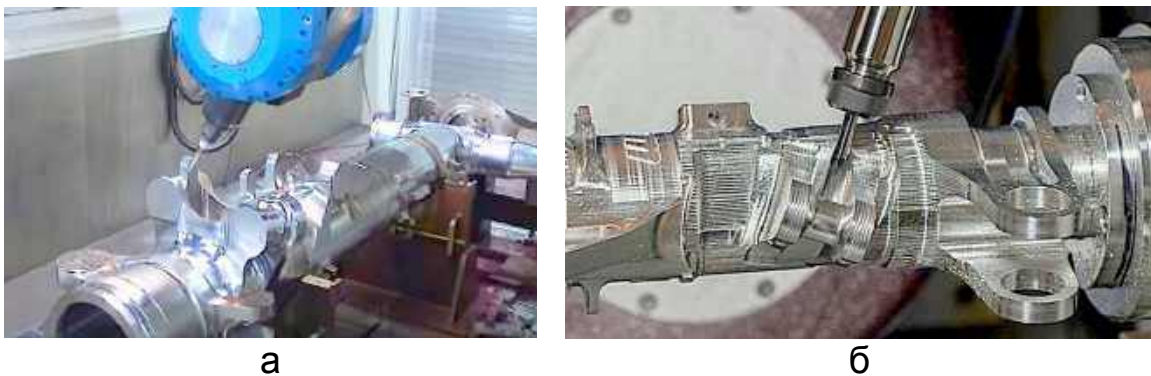


Рис. 9.7. Оброблення зовнішніх поверхонь корпусу стояка головного шасі регіонального (а) та адміністративного (б) пасажирських літаків

Для оброблення заготовок із титанових сплавів зазвичай застосовують інструмент з твердого сплаву без покриття (мають позначення «grade K» за стандартами ISO 3685 для точіння і ISO 8688 – для фрезерування).

Марку твердого сплаву вибирають за розміром зерна та вмісту сполучного залежно від виду обробки (чорнова, чистова) та методу оброблення (точіння, фрезерування, свердління, зенкерування, розгортання).

Тонке зерно твердого сплаву з розмірами 0,8...1,5 мкм із вмістом сполучного для кобальту 3...6 % (марки K01-K20) зазвичай вибирають для напівчистої або чистої обробки.

Ультратонке зерно твердого сплаву з розмірами менше 0,7 мкм із вмістом сполучного для кобальту 10 % (марки К30-К40) рекомендується для чорнової обробки з ударами.

Тверді сплави з покриттями (PVDTiAlN, CVD-TiCN/Al₂O₃/TiN) використовуються в широких межах типорозмірів інструменту для чорнової та чистової обробки заготовок із титанових сплавів.

Висока хімічна активність усіх титанових сплавів при підвищених температурах, низька теплопровідність і здатність створювати стружку, яка не навивається, ускладнює їх оброблення. Фрезерування титанових сплавів додатково ускладнено фактором удару зуба інструменту при вході в заготовку і зміною товщини зрізу залежно від кута повороту фрези. Швидкості різання, що застосовують під час оброблення титанових сплавів, залежно від їхньої границі міцності в 1,5...4 рази нижче швидкостей різання, що застосовують під час оброблення деталей зі сталі 45. Під час оброблення по кірці швидкості різання знижуються відповідно вдвічі. Швидкість різання при фрезеруванні титанових сплавів має становити не більше 60 м/хв, подача на один зуб – 0,05...0,15 мм/зуб.

Через особливі термічні властивості титанових сплавів їх механічна обробка у більшості випадків здійснюється із застосуванням мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) – сульфофрезолу, графітованої оливи.

На рис. 9.8 показано приклади оброблення титанового корпусу стояка головного шасі в реальних виробничих умовах із застосуванням МОР.



а



б



в

Рис. 9.8. Приклади фрезерування (а, в) та розгортання отворів (б) корпусу стояка головного шасі регіонального пасажирського літака із застосуванням МОР

Для свердління звичайних (неглибоких) отворів у титанових заготовках шасі слід використовувати твердосплавні свердла з робочою довжи-

ною, яка дорівнює двом – п'яти діаметрам отвору. Швидкість різання твердосплавними свердлами має становити 30...50 м/хв, подача для свердел діаметром до 20 мм – від 0,04 до 0,1 мм/об.

Для оброблення точних отворів у титанових заготовках шасі застосовують розгортки із різальними поверхнями з твердого сплаву. Швидкість різання становить 10...15 м/хв, подача – 0,1...0,2 мм/об. Під час розгортання застосовують *технологічний критерій* спрацювання – таку величину спрацювання, коли розвертка не забезпечує потрібний квалітет точності й необхідну шорсткість поверхневого шару. Допустимий знос по задній грані забірної частини розгортки становить від 0,3 до 0,8 мм.

Середній період стійкості розверток, який відповідає технологічному спрацюванню, лежить у межах 20 – 90 хвилин, 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 зенкерують.

Провідними світовими виробниками інструменту для механічної обробки заготовок стояків шасі із високоміцних конструкційних сталей та титанових сплавів є компанії SGS Tool (США), Hanita (Ізраїль), Mitsubishi Carbide (Японія), SECO (Італія), Hertel та Sandvik Coromant (Німеччина).

Провідними світовими виробниками верстатного обладнання для п'ятикоординатної фрезерно-токарно-свердлильної обробки деталей шасі із високоміцних конструкційних сталей та титанових сплавів є компанії MAG Cincinnati (США) та WFL Millturn Technologies (Австрія).

Для створення технологічних баз на заготовках шасі літака, які найчастіше мають протяжні та об'ємні поверхні, необхідні такі підготовчі операції:

- фрезерно-центрувальна (торцеві площини та центрувальні отвори);
- токарна (зовнішні циліндричні проточки та торцевий напрямний отвір для ежекторного свердла);
- спеціальна свердлильна (глибокий осьовий технологічний отвір, коли діаметр отвору перевищує його глибину більш ніж у п'ять разів).

Виконання перших двох підготовчих операцій механічної обробки заготовок шасі зазвичай не спричиняє принципових технологічних труднощів.

Отримання глибокого осьового технологічного отвору у титановій заготовці корпусу стояка шасі для подальшого розточування та шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь потребує спеціального свердлильного обладнання і оснащення.

9.3. Свердління глибоких отворів у заготовках деталей шасі

Глибокі отвори діаметром $D = 8...30$ мм у титанових заготовках стояка шасі зазвичай виконують однорізцевими рушничними свердлами за технологією Gundrilling – подача MOP через отвір та видалення стружки через фасонну виїмку у трубчастому корпусі свердла.

Рушничне свердло (рис. 9.9, а) складається з робочої частини 2 і трубчастого корпусу – стебла 7. Щоб створити сприятливі умови різання, однокромковий різець 5 зміщують на $0,2D$ від осі свердла. Рушничне свердло має внутрішній канал круглого або серпоподібного поперечного перерізу для підведення МОР під тиском від 1 до 2 МПа. МОР разом зі стружкою вимивається по зовнішній прямій канавці рушничного свердла.

Високопродуктивною альтернативою рушничному свердлінню для глибоких отворів діаметром від 50 до 400 мм є ежекторне свердління з використанням внутрішнього та зовнішнього потоків МОР. Світовим технологічним досягненням є ежекторне свердління осевого отвору глибиною три метри та діаметром 280 мм у титановій заготовці корпусу стояка головного шасі літака-аеробуса Airbus A-380.

Система для глибокого ежекторного свердління (рис. 9.9, б) складається з наконечника 2 та двох коаксіальних труб 3 і 4. Наконечник із чотиризахідною різцю накручують на зовнішню трубу. Наконечник має різці 5 з механічним кріпленням багатограних різальних пластин (БРП) із твердого сплаву, які розміщені у шаховому порядку, тому стружка зрізається у вигляді окремих стрічок, дробиться стружколампними уступами й легко видаляється.

Циліндричні поверхні твердосплавних напрямних пластин 6 утримують свердло від відхилення відносно осі. Для забезпечення контакту напрямних пластин у заготовці 1 необхідно попередньо виконати отвір відповідного діаметра на глибину, що забезпечить контакт поверхонь напрямних пластин із поверхнею отвору, або використати напрямну втулку.

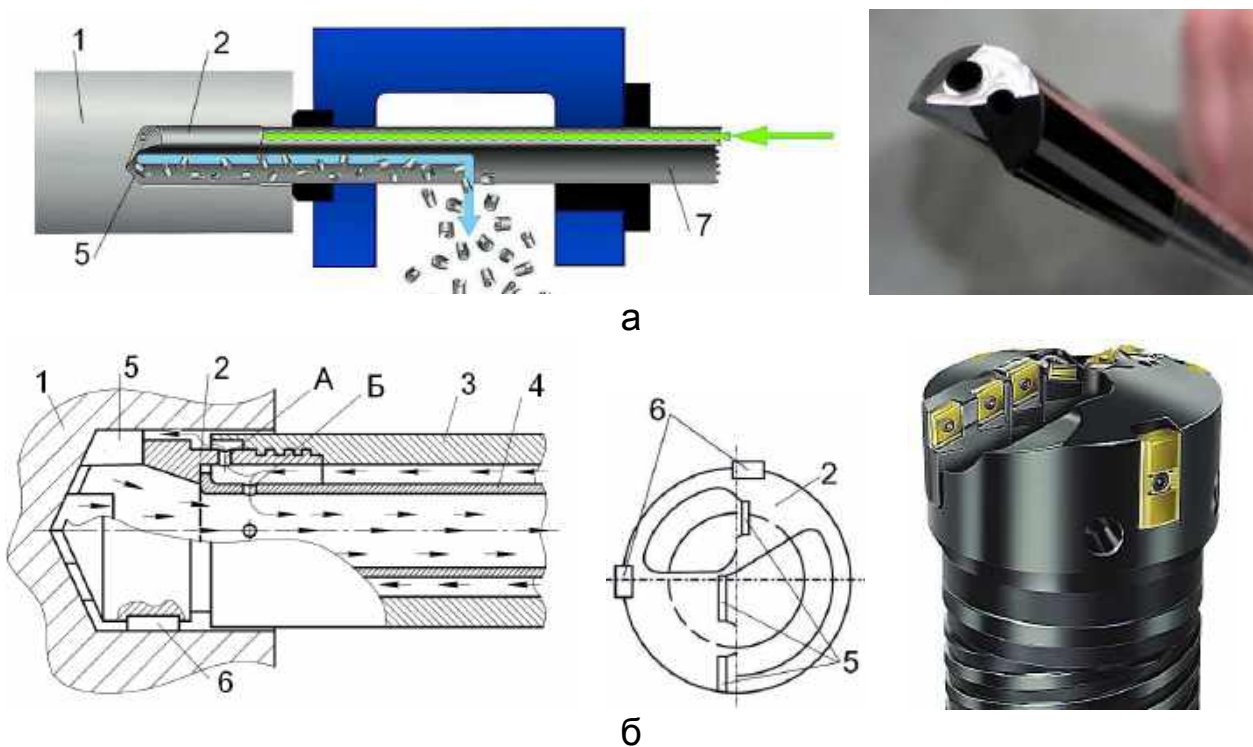


Рис. 9.9. Схеми гарматного (а) і ежекторного (б) свердління глибоких отворів:

1 – заготовка; 2 – наконечник; 3 – труба зовнішня; 4 – труба внутрішня;

5 – різець; 6 – пластина напрямна; 7 – стебло

МОР під тиском від 2 до 3 МПа подається між внутрішньою 4 та зовнішньою 3 трубами ежекторного свердла та випускається через перехідник, установлений на передній частині шпинделя спеціального верстата для глибокого свердління отворів.

Особливістю таких свердел є ефект ежекції (підсмоктування) МОР завдяки розділенню прямого потоку МОР на два: основна частина МОР прямує через отвір А до зони різання для охолодження і вимивання стружки, а близько 30 % МОР через отвори Б попадає назад у внутрішній канал труби 4, створюючи ежекторний ефект, завдяки цьому МОР і стружка висмоктуються із зони різання.

Ежекторні свердла забезпечують оброблення глибоких отворів 9 – 11-го квалітетів точности с параметром шорсткості $R_a = 1,25...0,63$ мкм на швидкостях різання 25...200 м/хв та подачах 0,15...0,7 мм/об при частоті обертання свердла від 30 до 240 1/хв.

Світовим лідером виробництва верстатів для виготовлення глибоких отворів ежекторними та рушничними свердлами є компанія UNISIG (США).

Блоково-модульний принцип компоновання дає змогу змінювати довжину станини верстатів, розміри планшайб, кількість люнетів для закріплення заготовки та секцій трубчастого свердла (рис. 9.10).

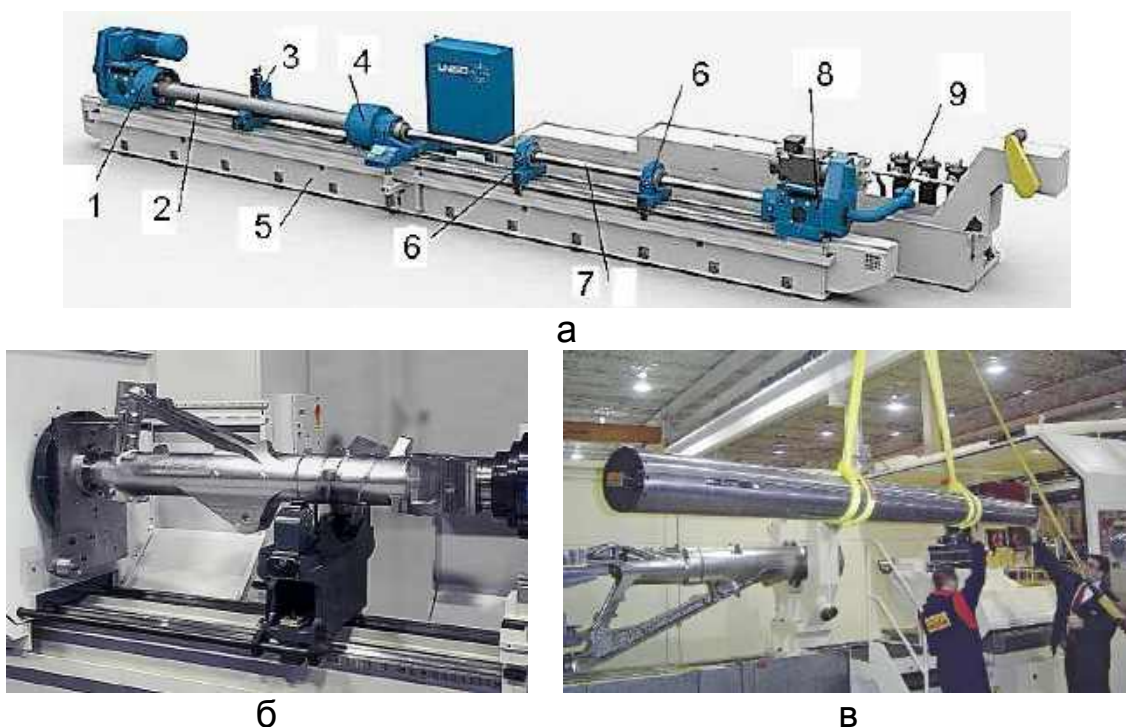
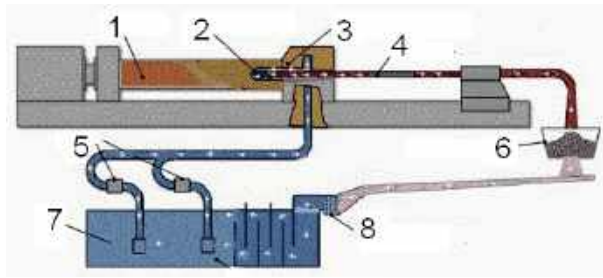


Рис. 9.10. Компоновальна схема верстата (а) та етапи встановлення стояка шасі (б) та ежекторного свердла (в) для глибокого свердління: 1 – планшайба; 2 – заготовка; 3 – люнет заготовки; 4 – муфта гідравлічна; 5 – станина; 6 – люнет свердла; 7 – труба свердла; 8 – шпиндель; 9 – гідростанція МОР

Три функції МОР – зменшення тертя між дотичними елементами, охолодження різальних кромek ежекторного свердла та вимивання стружки потребують наявності у конструкції верстата насосної станції (рис. 9.11).



а



б



в

Рис. 9.11. Схема насосної станції МОР (а) та приклади ежекторного (б) та рушничного (в) свердління отворів у титановому корпусі стояка шасі: 1 – заготовка; 2 – наконечник свердла; 3 – муфта гідравлічна; 4 – труба свердла; 5 – насос; 6 – резервуар для стружки; 7 – бак; 8 – фільтр

Продуктивність і тиск автономної або вбудованої насосної станції верстатів для виготовлення глибоких отворів ежекторними та рушничними свердлами підбирають, ґрунтуючись на витрачанні приблизно 800 л/хв МОР і величину тиску для подачі МОР від 2 до 3 МПа.

9.4. Багатоверстатна обробка заготовок шасі літака

Прикладом послідовної контурної та позиційної обробки титанових заготовок шасі на універсальних та спеціальних станках з ЧПК є технологія виготовлення рами візка шасі пасажирського літака Boeing-787, загальний вигляд заготовки для якої показано раніше (див. рис. 9.4, г).

Заготовка рами візка шасі після двох підготовчих операцій – токарної та спеціальної свердлильної має технологічні бази у вигляді циліндричних проточок (рис. 9.12, а) та глибокого осьового технологічного отвору.

Базують заготовку на циліндричні проточки у ложементі спеціального верстатного пристрою, закріплюють заготовку за допомогою двох за- тискачів у відповідних технологічних проточках (рис. 9.12, б).



а



б

Рис. 9.12. Підготовчі операції оброблення заготовки рами візка шасі пасажирського літака

Площини на бобишках заготовки рами візка шасі обробляють кінцевими фрезами на п'ятикоординатному верстаті з ЧПК.

На наступному етапі для одночасної групової чистової обробки зовнішніх поверхонь трьох заготовок рам візка шасі застосовують спеціальний фрезерний верстат з ЧПК компанії DROOP & REIN (Німеччина) з одним рухомим порталом. На рухомому порталі верстата змонтовано три вертикальні супорти з силовими електричними шпинделями, кожен з яких несе фрезерну головку. Одночасно виконується чотирикоординатна контурна обробка зовнішніх поверхонь відразу трьох титанових заготовок рами візка шасі (рис. 9.13, в). Для підвищення продуктивності на стіл верстата виставляють одразу шість заготовок (рис. 9.13, а, б). Кожну заготовку базують та закріплюють у накладних на стіл верстата блоках із планшайби та чотирикулачкового патрона (рис. 9.13, г).



а



б



в



г

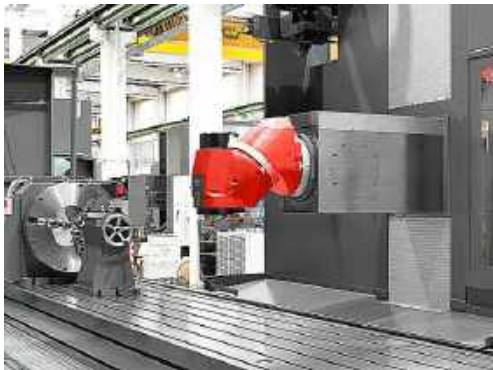
Рис. 9.13. Групова фрезерна обробка рам візка шасі пасажирського літака

Усі накладні блоки планшайб мають електричний привід з ЧПК для дискретного повороту заготовки навколо горизонтальної осі. Чорнові отвори у кожній заготовці обробляють методом спірального фрезерування.

Оброблення заготовок корпусу носового стояка або головного шасі

літаків при невеликих обсягах виробничих партій доцільно виконувати на універсальних п'ятикоординатних фрезерних верстатах з ЧПК при відповідному об'ємі робочого простору (рис. 9.14, а).

Універсальні блоки планшайби з ЧПК та трикулачковим патроном встановлюють на стіл фрезерного верстата та з їх допомогою забезпечують дискретний поворот заготовки стояка шасі. Поєднання повороту заготовки та п'ятикоординатного переміщення фрези забезпечують повну контурну (об'ємне фрезерування) та позиційну (чорнове спіральне фрезерування отворів) обробку заготовки стояка шасі (рис. 9.14, б).



а



б

Рис. 9.14. П'ятикоординатна одномісна фрезерна обробка заготовки стояка шасі

Для чистової обробки отвори зенкерують (рис. 9.15) та розточують на координатно-розточувальному верстаті з ЧПК.



Рис. 9.15. Етап зенкерування отворів рами візка шасі пасажирського літака

За аналогічною маршрутною технологією виготовляють амортизаційні стояки шасі. Амортизаційний стояк шасі являє собою трубу з об'ємним вушком, в якому знаходяться стикувальні отвори (рис. 9.16, а).

Підготовчими операціями для отримання технологічних баз оброблення вушка є токарна та свердлильна. Для виконання глибокого свердління заготовку амортизаційного стояка шасі закріплюють на планшайбі з чотирикулачковим патроном та у роликовому люнеті (див. рис. 9.10, б) спеціального верстата для виготовлення глибоких отворів.

Для одночасної групової чистової обробки зовнішніх поверхонь чотирьох заготовок амортизаційних стояків шасі застосовують спеціальний фрезерний верстат з ЧПК компанії MAG Cincinnati (США) моделі U4-1500 з

одним рухомим порталом. На рухомому порталі цього верстата змонтовано чотири вертикальні супорти з силовими електричними шпинделями для закріплення кінцевих фрез та іншого лезового інструменту.

Одночасно виконується чотирикоординатна обробка поверхонь відразу чотирьох вушок амортизаційних стояків шасі (рис. 9.16, в). Для підвищення продуктивності на стіл верстата виставляють одразу 12 заготовок (див. рис. 9.16, в). Заготовку стояка шасі базують у ложементях та регульованих опорах спеціального верстатного пристрою (рис. 9.16, б).



а



б



в

Рис. 9.16. Групова фрезерна обробка амортизаційних стояків шасі літака

Закріплюють заготовку за допомогою стрічкових затискачів труби амортизаційного стояка шасі літака (див. рис. 9.16, б).

Подальші етапи оброблення корпусних заготовок стояків шасі – свердління (рис. 9.17, а) та розточування отворів у вушках виконують на координатно-розточувальних верстатах з ЧПК.

Після геометричного контролю діаметра (рис. 9.17, б) та глибини (рис. 9.17, в) розточених отворів в них запресовують сталеві (рис. 9.17, г) або бронзово-берилієві втулки. Це конструкторське рішення пояснюється високим коефіцієнтом тертя титанових сплавів та забезпеченням ремонтної технологічності шляхом заміни зношених втулок. Усі співвісні отвори у втулках розточують при наскрізному проході борштанги з розточувальною головкою (рис. 9.17, д). Для підведення мастила у запресованих втулках передбачено отвори (див. рис. 9.17, г) та кільцеві проточки (див. рис. 9.17, д).



а



б



в



г



д

Рис. 9.17. Свердління та розточування отворів у вушках та запресованих втулках стояків шасі пасажирського літака

Для стояків шасі невеликих розмірів чистову обробку отворів у запресованих втулках зазвичай виконують за допомогою комплексу з зенкера та двох розгорток ручними пневматичними машинами (рис. 9.18).



а



б



в

Рис. 9.18. Приклади чистової обробки отворів стояків шасі ручними пневматичними машинами: а, б – розгортання; в – зенкерування

На рис. 9.19 показано стояк головного шасі пасажирського регіонального літака із запресованими втулками у вушках.



Рис. 9.19. Стояк головного шасі пасажирського регіонального літака

Технологічну послідовність оброблення поверхонь заготовки такого стояка шасі розглянуто вище (див. рис. 9.6).

На рис. 9.20 показано технологічну послідовність оброблення поверхонь однією з двох деталей шліц-шарніра стояка шасі пасажирського літака.



Рис. 9.20. Схема послідовності оброблення (а) та загальний вигляд деталей шліц-шарніра (б) стояка шасі: 1 – контурне фрезерування галтелі, 2, 3 – площин; 4 – свердління отворів; 5 – фрезерування площин; 6 – розточування отворів

Застосовувані універсальні та спеціальні верстати з ЧПК полегшують виконання складних операцій виготовлення деталей шасі, зменшують витрати часу на міжопераційні дії (переналагодження верстата, зміна інстру-

менту) і кількість спеціальних верстатних пристроїв.

Для підвищення несучої здатності та зменшення шорсткості зовнішніх циліндричних поверхонь деталей шасі після фрезерування застосовують поверхневе пластичне деформування за допомогою роликів обкочувачів, для отворів – за допомогою роликів розкочувачів.

9.5. Шліфування заготовок деталей шасі літака

Місця високоточного взаємного сполучення деталей шасі – внутрішня порожнина корпусу стояка, амортизатор і маточина (див. рис. 9.2, б) потребують для чистової обробки застосування внутрішнього та зовнішнього шліфування, яке забезпечує економічну точність за 5 – 6-м квалітетами і шорсткість $R_a = 0,2 \dots 1,2$ мкм. Перед шліфуванням на зовнішні та внутрішні поверхні титанових деталей шасі, що сполучаються, наносять газотермічним методом HVOF (англ. High velocity oxygen fuel) зносостійке антифрикційне хромове покриття.

Провідні світові компанії-виробники абразивного інструменту – Rappold Winterthurt (Австрія), Krebs&Riedel (Німеччина), Carborundum (США) забезпечують залежно від призначення різні за зернистістю й твердістю характеристики шліфувального інструменту.

Найкращі результати дають абразивні хімічно інертні до титану матеріали, зокрема карбід кремнію і окис алюмінію. Шліфування титанових сплавів здійснюється абразивними кругами зернистістю 25 – 16, твердістю SM1 – SM2. Головний рух під час шліфування – обертання шліфувального круга для титанових сплавів з коловою швидкістю $v_k = 20 \dots 25$ м/с.

Італійська компанія AZ Grinding Machines для чистової обробки титанових деталей шасі випускає спеціальні шліфувальні верстати:

- серії GSB для зовнішнього та внутрішнього круглого шліфування з патронним закріпленням та обертанням заготовки шасі;
- серії LBC для зовнішнього та внутрішнього планетарного шліфування із закріпленням заготовки на поворотному столі.

Під час шліфування існує три види подач:

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} і задають величиною переміщення за один хід круга (мм/хід) або подвійний хід стола (мм/подв. хід). Для процесу круглого шліфування за відсутності поздовжньої подачі цю подачу задають на один оберт деталі (мм/об).

Внутрішнє кругле патронне шліфування застосовують для оброблення невеликих заготовок, а внутрішнє кругле планетарне – для оброблення важких і громіздких заготовок стояків шасі літаків.

Зазвичай діаметр круга у разі внутрішнього шліфування становить 0,7...0,9 від діаметра отвору заготовки. У разі попереднього шліфування глибина різання становить 0,005...0,02 мм, у разі чистового – 0,002...0,01 мм.

Поздовжнє (або багатогодове) зовнішнє кругле шліфування заготовок стояків шасі виконують плоским кругом (рис. 9.21). Поперечна подача S_{nn} на глибину різання t здійснюється шліфувальним кругом у кінці поздовжнього ходу в напрямі, перпендикулярному до осі заготовки шасі.

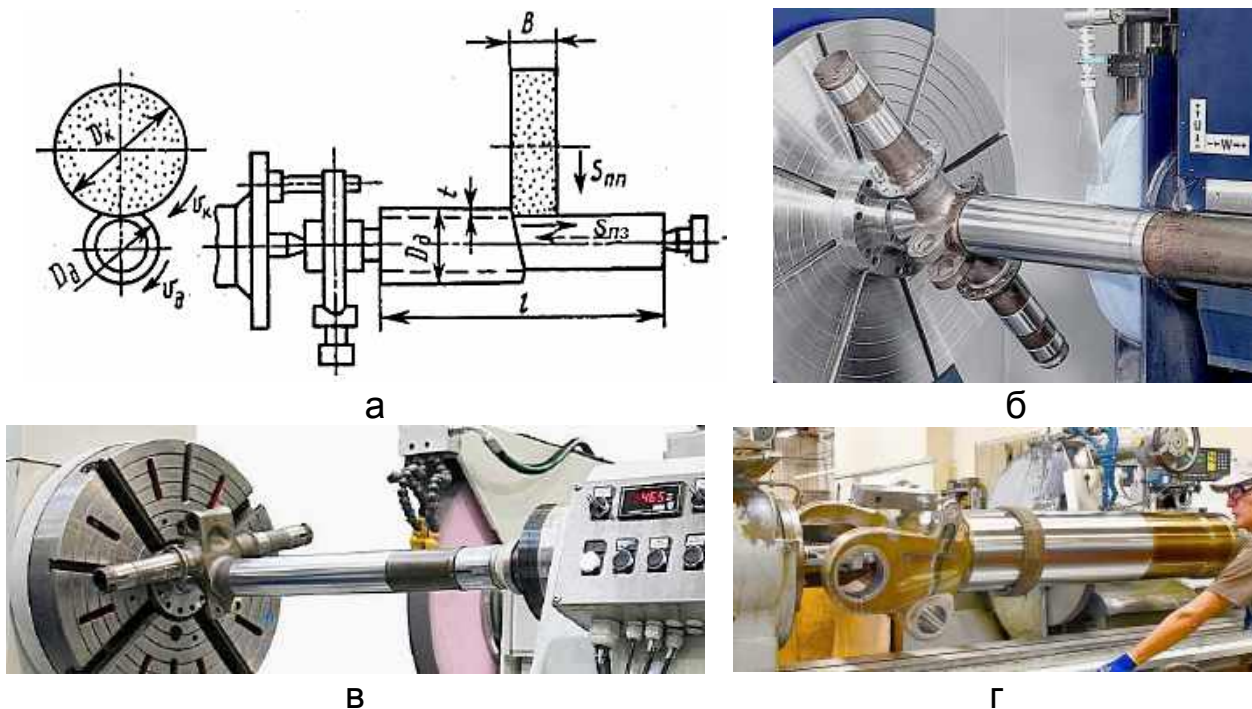


Рис. 9.21. Схема (а) та приклади зовнішнього круглого шліфування амортизаційних стояків носового шасі винищувача (б, в) та головного шасі пасажирського літака (г)

Внутрішнє кругле шліфування заготовок стояків шасі має два різновиди – патронне (рис. 9.22, а) та планетарне (рис. 9.22, б).

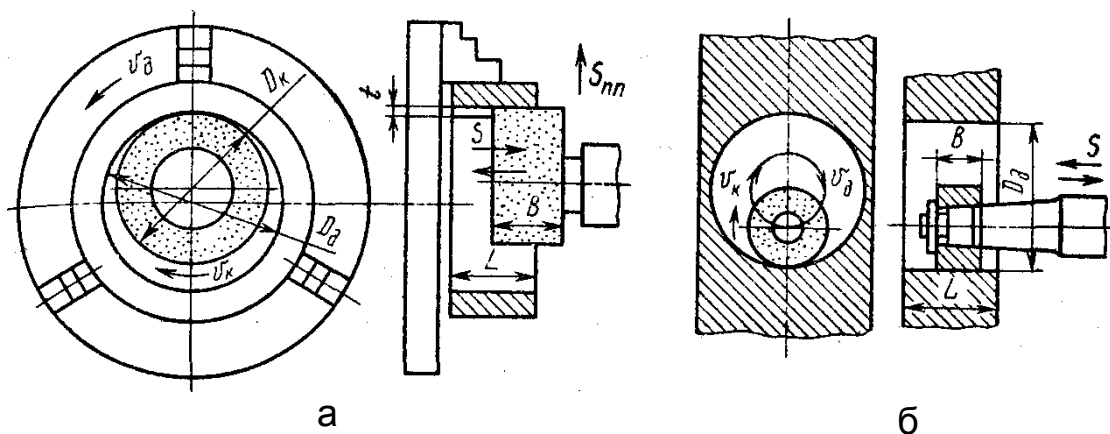


Рис. 9.22. Схеми патронного (а) та планетарного (б) внутрішнього круглого шліфування

На рис. 9.23 показано приклади патронного внутрішнього круглого шліфування головного (а) та амортизаційного (б) стояків шасі літака.



Рис. 9.23. Приклади патронного внутрішнього круглого шліфування головного (а) та амортизаційного (б) стояків шасі пасажирського літака

У тих випадках, коли заготовці шасі неможливо або технічно надто складно надавати обертового руху, застосовують внутрішнє кругле шліфування заготовок стояків шасі за планетарною схемою (рис. 9.24, а).

За планетарною схемою також шліфують зовнішні циліндричні поверхні на маточині стояків шасі (рис. 9.24, б) для встановлення коліс.

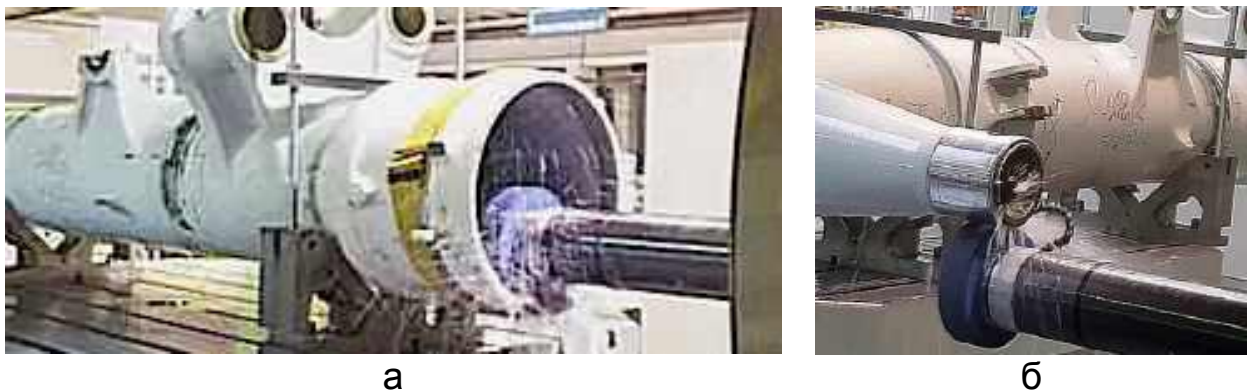


Рис. 9.24. Приклади внутрішнього (а) та зовнішнього (б) шліфування стояка головного шасі пасажирського літака за планетарною схемою

Розглянуті вище маршрутна та операційна технології виготовлення корпусу та деталей стояка шасі літака є прикладом диференціації технологічних операцій виготовлення комплектів шасі літальних апаратів при середньосерійному типі виробництва.

Для оброблення однієї і тієї ж деталі можуть бути застосовані різні варіанти технологічного процесу, рівноцінні з точки зору технологічних вимог до виробу, але мають значні коливання за економічними показниками.

При використанні *принципу диференціації* за технологічним процесом передбачається оброблення однієї деталі з послідовним виконанням всіх переходів, які можуть бути здійснені на певному верстаті.

При використанні *принципу концентрації* за технологічним процесом передбачається заміна операцій, які виконувались раніше на окремих верстатах, на технологічні переходи для багатоопераційного верстата.

Під багатоопераційним верстатом з ЧПК розуміють свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з інструментальним магазином і пристроями для автоматичної заміни інструментів, який дає змогу здійснювати комплексне позиційне й контурне оброблення заготовок.

9.6. Одноверстатна багатоопераційна обробка заготовок шасі

Світовим лідером виробництва багатоопераційних верстатів із ЧПК є австрійська компанія WFL Millturn. Нині компанія пропонує 20 моделей фрезерно-токарно-свердлильно-розточувальних верстатів із довжиною оброблення від двох до 12 метрів та діаметром обточування від 520 до 2000 мм. Наприклад, розміри робочого простору верстата WFL Millturn моделі M65 (діаметр 1200 мм та довжина 4000 мм) забезпечують оброблення всієї номенклатури корпусів стояків шасі сучасних літаків та вертольотів.

Відповідно до рекомендацій міжнародного стандарту ISO для усіх видів верстатів з ЧПК застосовують єдину систему позначень координат лінійних та кутових переміщень виконавчих механізмів:

- усі прямолінійні переміщення інструменту розглядають у тривимірній декартовій системі координат X, Y, Z . Обертання навколо осей позначають літерами A, B, C (A – обертання навколо осі X , B – навколо осі Y , C – навколо осі Z);

- переміщення заготовки позначають цими ж літерами зі штрихом – X', Y', Z' і A', B', C'

- крім переміщення по основних осях X, Y, Z можливими є переміщення по паралельних, або вторинних, осях U, V, W і третинних осях P, Q, R ;

- розташування осі Z збігається з віссю обертання інструменту.

Типове компонування для всіх моделей багатоопераційних верстатів компанії WFL Millturn має такі стандартні позначення лінійних та кутових переміщень виконавчих механізмів:

- поперечний X , вертикальний Y та поздовжній Z рухи інструментальної головки;

- обертальний рух B інструментальної головки;

- прямий і реверсний обертальний рух, поворот на заданий кут C шпинделя пінолі задньої бабки;

- поздовжній рух R пінолі задньої бабки,

- поперечний U і поздовжній W рухи супорта із двома револьверними інструментальними головками;

- прямий і реверсний обертальний рух, поворот на заданий кут C' шпинделя передньої бабки із закріпленою заготовкою.

Вісь C' повороту заготовки має частоту обертання від 12 до 1200 1/хв з величиною дискретного повороту заготовки на кут $0,15^\circ$.

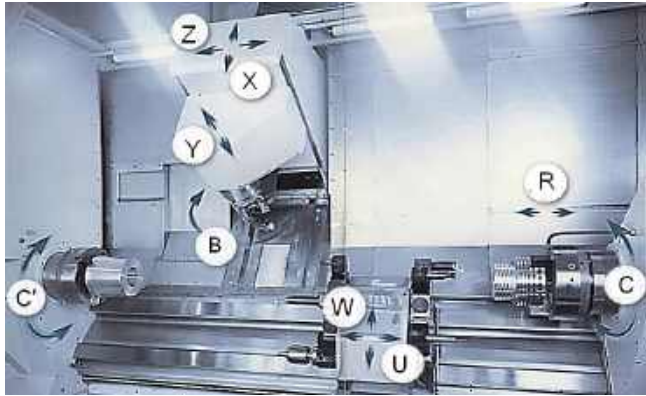
На рис. 9.25 показано деякі технологічні можливості багатоопераційних верстатів з ЧПК компанії WFL Millturn при комплексній контурній та позиційній обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь корпусів головного та носового стояків шасі сучасних пасажирських літаків.



а



б



в



г



д



е



ж



и

Рис. 9.25. Технологічні можливості багатоопераційних верстатів WFL Millturn: а – оброблення стояка головного шасі на верстаті моделі М65; б – токарна обробка амортизаційного стояка носового шасі; в – позначення переміщень виконавчих механізмів багатоопераційних верстатів WFL Millturn; г – фрезерна обробка вушка амортизаційного стояка; д – спіральне фрезерування рами візка головного шасі; е – зубонарізання для рульового механізму носового стояка; ж – приклад закріплення стояка носового шасі на планшайбі та пінолі задньої бабки верстата; и – приклад закріплення стояка носового шасі на планшайбі та люнеті верстата

Чотири дискові та один ланцюговий інструментальні магазини загальною кількістю до 120 інструментів у поєднанні з восьмикоординатним переміщенням виконавчих механізмів та дискретним поворотом заготовки багатоопераційних верстатів із ЧПК компанії WFL Millturn забезпечують комплексну контурну та позиційну обробку зовнішніх і внутрішніх поверхонь корпусів стояків шасі.

Один із чотирьох дискових інструментальних магазинів усіх багатоопераційних верстатів WFL Millturn укомплектовано ежекторними свердлами та розточувальними штангами (рис. 9.26, а). Автооператор відповідно до заданого кадру керувальної програми переміщує та фіксує необхідний інструмент у шпинделі інструментальної головки верстата (рис. 9.26, б).

Для чистової та зміцнювальної обробки отворів у ланцюговому магазині верстата WFL Millturn можуть бути встановлені протяжки відповідного діаметра та довжини (рис. 9.26, в).

Перед виготовленням глибоких отворів заготовку стояка головного шасі або амортизаційного стояка літака закріплюють на планшайбі та люнеті (рис. 9.26, г) багатоопераційного верстата WFL Millturn.

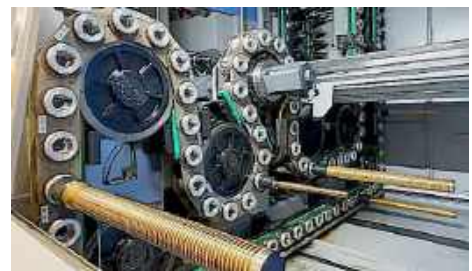
До комплексу інструментів для оброблення глибоких отворів у стояках головного шасі або амортизаційних стояках на верстатах WFL Millturn входить вимірювальна головка англійської компанії Renishaw (рис. 9.26, д).



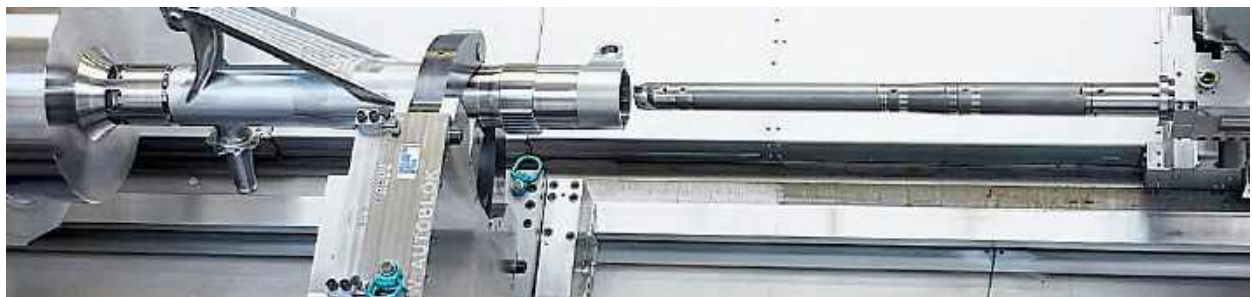
а



б



в



г



д

Рис. 9.26. Оброблення глибоких отворів на багатоопераційних верстатах WFL Millturn

Для виключення вібрацій та вигину ежекторних свердел та розточувальних штанг діаметром до 220 і довжиною оброблення до 2000 мм передбачено окрему напрямну планку з люнетами. Жорсткість вимірювального наконечника (див. рис. 9.26, д) забезпечує трубчастий армований стрижень із високоміцного вуглепластику.

Силовий електричний шпиндель інструментальної головки усіх багатоопераційних верстатів WFL Millturn має частоту обертання до 10000 1/хв, може повертатися навколо осі *B* на кут $\pm 120^\circ$ з кроком 2° для фрезерної та свердлильно-розточувальної обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовки шасі під нахилом.

Для операцій зовнішнього круглого шліфування та планетарного зовнішнього обточування заготовок стояків шасі в дисковий інструментальний магазин (рис. 9.27, а) верстата WFL Millturn встановлюють шліфувальну (рис. 9.27, б) та розточувальні (рис. 9.27, в) насадки. Необхідну насадку автооператор встановлює та приєднує до електричного шпинделя інструментальної головки верстата. Розточувальна насадка має плансупорт для зміни радіуса обертання різця по вторинній програмованій осі *U*.

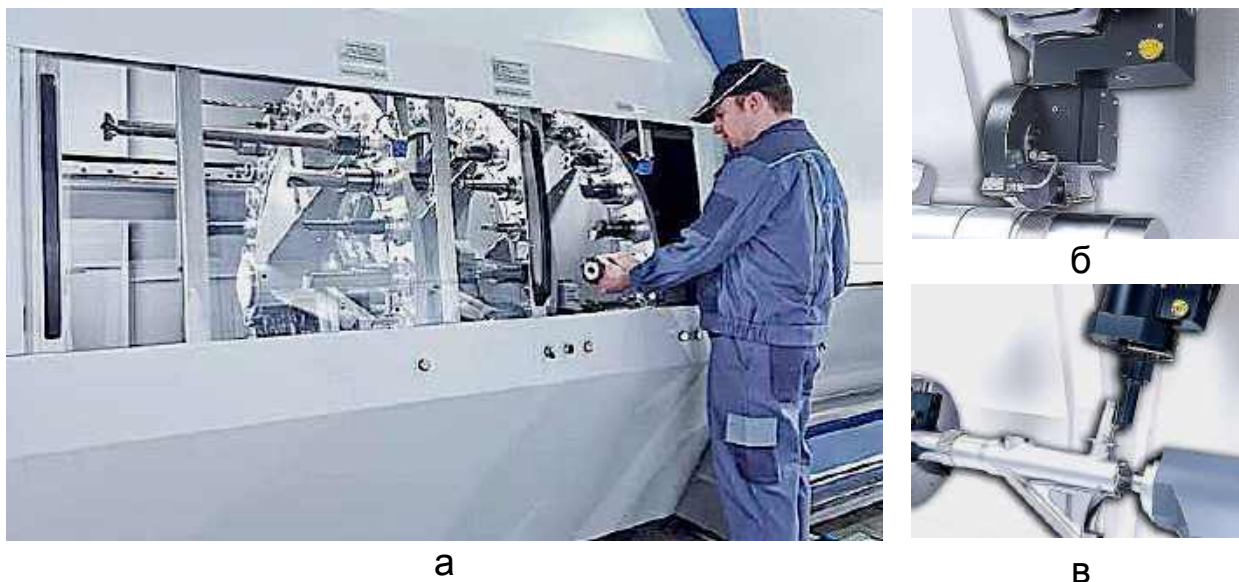


Рис. 9.27. Загальний вигляд трьох дискових інструментальних магазинів (а), шліфувальної (б) та розточувальної (в) насадок верстатів WFL Millturn

Програмне забезпечення моделі Sinumerik 840C забезпечує тривимірне моделювання всіх технологічних можливостей багатоопераційних верстатів WFL Millturn, має запатентований модуль CrashGuard запобігання зіткненням виконавчих механізмів верстата у режимі реального часу.

Один багатоопераційний верстат з ЧПК WFL Millturn замінює від десяти до 15 універсальних або спеціальних верстатів з ЧПК без застосування спеціальних верстатних пристроїв або УСП.

Єдиними спеціальними верстатними пристроями для багатоопераційних верстатів WFL Millturn є оснащення для базування та закріплення на планшайбі заготовок корпусу головного стояка (рис. 9.28, а) або амортизаційного стояка (рис. 9.28, б) шасі літака.



Рис. 9.28. Спеціальне технологічне оснащення для базування та закріплення стояків шасі літака на планшайбі багатоопераційних верстатів WFL Millturn

Дуже дорогі багатоопераційні верстати WFL Millturn мають річний робочий фонд близько 5500 годин. Половина часу третьої зміни призначена для технічного обслуговування верстатів.

9.7. Контроль виготовлення деталей шасі літака

Виготовлення деталей шасі літака відбувається в кілька етапів, на кожному з яких можливе утворення дефектів, характерних для певної технологічної операції. Проведення контролю якості є необхідним на всіх етапах виготовлення деталей шасі для своєчасного усунення виявлених дефектів або виключення подальшого застосування дефектного матеріалу в технологічному ланцюгу.

У комплексі дій, спрямованих на забезпечення надійності і довговічності аерокосмічної техніки, дефектоскопія має вирішальне значення, оскільки найменша помилка у визначенні характеру дефекту або його пропуск можуть призвести до серйозних наслідків.

Особливе місце у літакобудуванні займають методи неруйнівного контролю (НК), які дають змогу проводити перевірки як під час виробництва нових літаків, так і під час технічного обслуговування старих.

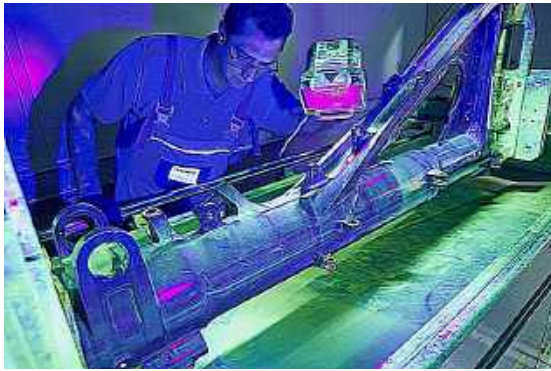
Засоби НК призначено для виявлення дефектів типу несцільності матеріалу, контролю геометричних параметрів виробів, оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалу виробів авіаційної техніки.

Капілярні методи НК дають змогу виявляти мікротріщини, волосовини в деталях шасі літака. При контролі цими методами на очищену поверхню деталі наносять проникну рідину – пенетрант, яка заповнює порожнини поверхневих дефектів.

Пенетрант є розчином на основі гасу, в який додається барвник темно-червоного кольору або люмінофор.

При люмінесцентному капілярному методі НК зовнішню поверхню стояка шасі освітлюють спеціальним ультрафіолетовим ліхтарем, індикаторний рисунок, що зберігся в порожнинах дефектів, починає світитися, що указує оператору на дефекти (рис. 9.29, а).

Забарвлений індикаторний рисунок на внутрішній циліндричній поверхні стояка шасі контролюють за допомогою оптико-електронного приладу дистанційного візуального огляду – бороскопа (рис. 9.29, б).



а



б

Рис. 9.29. Контроль зовнішніх (а) та внутрішніх (б) поверхонь корпусу стояка шасі пасажирського літака капілярним методом НК

При огляді знаходять люмінесцентний або забарвлений індикаторний рисунок, звертаючи увагу на основні ознаки:

- тріщини будь-якого походження, волосовини, непровари виявляються у вигляді чітких забарвлених ліній різної конфігурації;
- міжкристалітна корозія ділянок поверхні крупнозернистих сплавів виявляється у вигляді групи окремих коротких ліній або сітки;
- міжкристалітна корозія ділянок поверхні дрібнозернистих сплавів виявляється у вигляді плям, розмитих смуг;
- пори, виразкова корозія, викришування матеріалу, ерозійні пошкодження поверхні виявляються окремими точками, зірочками.

Науково-технічні та прикладні досягнення у галузі автоматизації високоточних координатних вимірів забезпечили можливість установаження в інструментальній магазин сучасних верстатів із ЧПК вимірювальних головок виробництва англійської компанії Renishaw (рис. 9.30, а).

Спеціальне програмне забезпечення для верстатів з ЧПК англійської компанії Delcam Power INSPECT містить модуль під назвою OMV (від англ. On Machine Verification – перевірка або контроль на верстаті).

Після оброблення корпус стояка шасі залишається на верстаті, його технологічні бази зберігають свою сталість. Похибки оброблення, знайдені в результаті обмірювання будь-яких елементів корпусу стояка шасі, можуть бути доопрацьовані.

Відповідно до «золотого» правила одного із творців промислової метрології Г. Берндта (США) похибка вимірювання будь-якого засобу геометричного контролю має становити не більше $1/5 - 1/10$ від величини допуску на розмір деталі, що контролюється. Тому, наприклад, для операційного технічного контролю (рис. 9.30, б) розмірів отворів у корпусах стояків шасі застосовують електронні вимірювальні інструменти (нутроміри, штангенциркулі) з точністю показань 0,001 або 0,002 мм виробництва всесвітньо відомої японської компанії Mitutoyo.

Упровадження інтегрованих комп'ютерних систем дає змогу значно скоротити час від початку проєктування до серійного виробництва такого складного агрегату сучасних літальних апаратів як шасі.

Система мультимедійної анімації VR/VS може наочно продемонструвати кінематику прибирання-випускання стояків і ступок шасі. Комп'ютерна інтегрована система Siemens NX забезпечує конструювання, виконання розрахунків міцності деталей і вузлів шасі.

Електронна модель (рис. 9.30, в) описує форму, розміри та взаємне розташування геометричних елементів шасі літака, забезпечує формування необхідної конструкторської та технологічної документації.



Рис. 9.30. Контроль геометричних параметрів корпусу стояка шасі літака

Для остаточного контролю геометричних параметрів деталей шасі застосовують контрольно-вимірювальні машини (КВМ). Таке високоточне

метрологічне обладнання з ЧПК дає змогу здійснювати комплексний контроль не тільки виконавчих розмірів, а й форми та просторового розташування геометричних елементів деталей шасі (рис. 9.30, г, ж). Вимірювальні головки КВМ оснащено наборами вимірювальних наконечників, що забезпечують можливість контролю діаметрів, співвісності, міжосьових відстаней отворів у деталях шасі (рис. 9.30, д). За допомогою спеціального програмного забезпечення Power INSPECT оператор КВМ порівнює результати вимірювання з електронною моделлю шасі літака (рис. 9.30, е).

Розробником спеціального програмного забезпечення для комп'ютерних систем контролю є компанія світового рівня Delcam (Англія).

Під час проведення остаточного технічного контролю для огляду внутрішніх порожнин у корпусі стояків шасі, які недоступні для прямого спостереження, застосовують волоконно-оптичні ендоскопи (рис. 9.31, а).

При візуальному технічному контролі стояків шасі застосовують монокулярну (рис. 9.31, б) або біноклярну (рис. 9.31, в) лупу із чотирикратним збільшенням та переносну лампу, яка оснащена джерелом поляризованого світла для зменшення блиску контрольованої металевої поверхні.

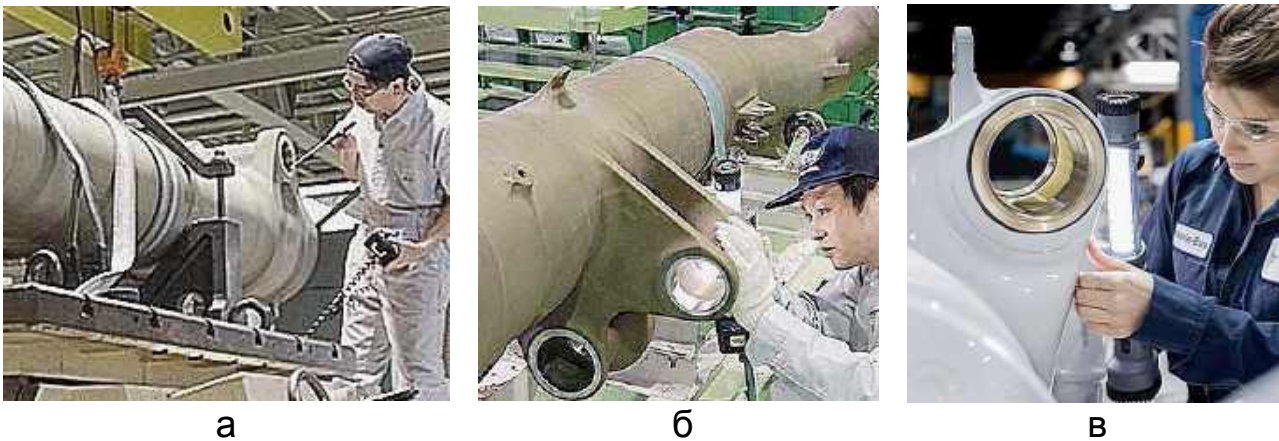


Рис. 9.31. Приклади візуально-оптичних методів контролю корпусів стояків шасі

При високій точності взаємного просторового розташування осей і для виключення заклинювання пар «вал – отвір» в отвори рухомих елементів стояків та стулок шасі запресовують сферичні підшипники ковзання.

9.8. Технологія монтажу сферичних підшипників ковзання

Сферичні підшипники ковзання призначено для передачі навантажень у рухомих з'єднаннях деталей та вузлів літальних апаратів, коли важко забезпечити їх взаємну точну співвісність.

Сферичні підшипники ковзання (рис. 9.32, а) складаються із зовнішнього та внутрішнього сталевих кілець, працюють при взаємному переміщенні одного кільця відносно іншого, зазвичай у коливальному режимі з невеликим кутом перекосу. На рис. 9.32, в показано приклад розташування сферичного підшипника ковзання у вушку стояка головного шасі пасажирського літака.

Шарнірні головки (рис. 9.32, б) конструктивно являють собою наконеч-

чники із зовнішньою або внутрішньою різью. Шарнірні головки зі сферичними підшипниками ковзання застосовують для з'єднання тяг механічної системи керування польотом літака або вертольота (рис. 9.32, г).

Гідроциліндри прибирання та випускання шасі літака мають вушко із запресованим сферичним підшипником і регульовану по довжині шарнірну головку (рис. 9.32, д). Приклад синхронізації рухів основних і допоміжних ступок на окремих етапах випускання носового стояка шасі пасажирського літака за допомогою тяг та шарнірних головок показано на рис. 9.32, е.



Рис. 9.32. Приклади розташування сферичних підшипників ковзання та шарнірних головок у механічній системі керування літальним апаратом, стояках і тягах ступок шасі пасажирського літака

Зовнішнє та внутрішнє кільця сферичних підшипників ковзання виготовляють із високовуглецевої хромистої сталі марки AISI 52100 (ШХ-15), що потребує повторного змащування при технічному обслуговуванні шасі.

Відповідно до європейського стандарту DIN 3405 наконечники та вушка стояків шасі оснащено мастильними ніпелями (див. рис. 9.32, б, в).

Подача мастила до поверхонь ковзання в кільцях відбувається через мастильні канавки і отвори. Для протидії витоків мастила і проникнення пилу сферичні підшипники ковзання мають ущільнення.

Настановними поверхнями сферичних підшипників ковзання є отвір у внутрішньому кільці і поверхня зовнішнього кільця підшипника. Пресову посадку підшипників у деталі виконують за системою «Вал», а основним валом у цих посадках є зовнішня поверхня зовнішнього кільця сферичного підшипника.

Сферичні підшипники ковзання, як і всі інші підшипники, мають стандартні типорозміри та повну взаємозамінність, їх виготовляють на спеціальних машинобудівних заводах.

Провідними світовими виробниками сферичних підшипників ковзання та шарнірних головок для рухомих високонавантажених вузлів у виробі сучасної авіаційної та ракетно-космічної техніки є компанії SKF (Швеція) та Hirschmann (Німеччина).

Для виробів загального машинобудування залежно від типорозміру підшипника можуть використовуватися механічні, нагрівальні або ж гідравлічні способи монтажу та демонтажу.

Для визначення найкращого способу монтажу необхідно враховувати неприпустимість зайвого натягу запресованого зовнішнього кільця та регламентовану величину крутного моменту підшипника, стаціонарність або мобільність монтажного оснащення, виключення пошкодження деталі літака під час демонтажу підшипника.

Для великогабаритних, високонавантажених і дорогих титанових деталей сучасних авіаційних шасі найбільш повно цим вимогам відповідає конструкція спеціальних сферичних підшипників ковзання з конічним V-подібним пазом на зовнішньому кільці.

Запресовування та випресовування сферичних підшипників ковзання з конічним V-подібним пазом на зовнішньому кільці виконують відповідно до вимог галузевого стандарту SAE-AS7949.

Запресовування сферичних підшипників з конічним V-подібним пазом на зовнішньому кільці виконують у два етапи за допомогою компактного механічного пристрою англійської компанії UNASIS та двох гайкових ключів з тарованим зусиллям затягування. Інструмент, який використовується, дає змогу поступово переміщувати підшипник у правильне положення.

Для підготовки пристрою робочий надіває на шліфований штир 5 з шестигранною головкою і різьбу шайбу 6, фасонну оправку 7 і підшипник 1 (рис. 9.33, а). Далі штир переміщують через попередньо виготовлений отвір з фасками деталі 2, на штир надівають фасонну опору 3 і накручують гайку 4.

На першому етапі запресування (див. рис. 9.33, а) один торець зовнішнього кільця підшипника 1 упирається у площину фасонної опори 3, другий торець зовнішнього кільця центрується по кільцевій конічній протоці на оправці 7. Робочий лівою рукою за допомогою гайкового ключа

утримує штир 5 від провороту, правою рукою за допомогою другого гайкового ключа затягує гайку 4.

На другому етапі запресування підшипника (рис. 9.33, б) робочий відкручує гайку 4, перевертає фасонну опору 3 і затягуванням гайки 4 забезпечує плавне переміщення підшипника в межах товщини деталі 2.

Для випресовування підшипника робочий вставляє в уніфікований пристрій фасонну опору 3 з циліндричною порожниною (рис. 9.33, в). Затягування гайки 4 спричиняє осьове переміщення оправки 7 і виштовхування запресованого підшипника 1 всередину фасонної опори 3, яка торцем упирається в площину деталі 2.

На рис. 9.33, г показано загальний вигляд уніфікованого пристрою з фасонною опорою для випресовування сферичних підшипників ковзання.

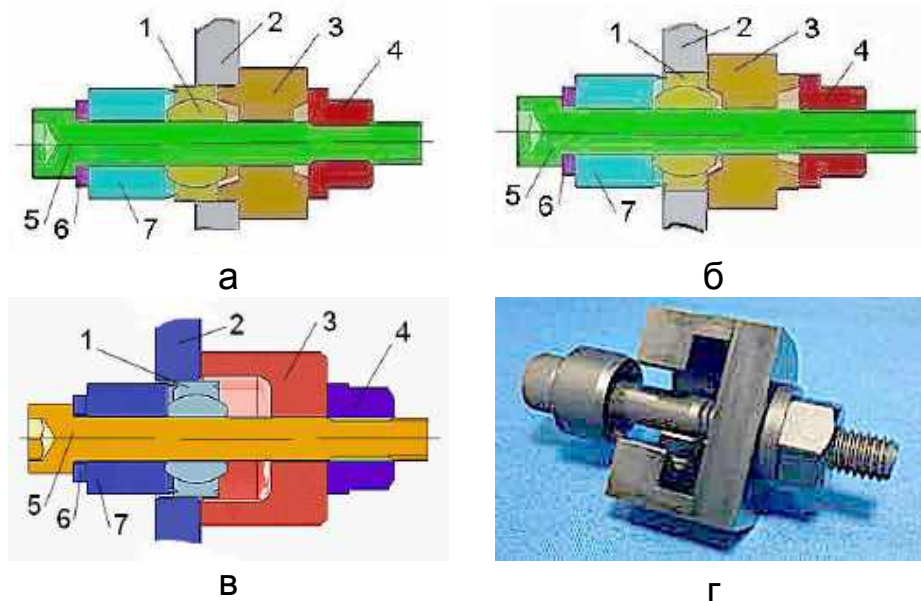


Рис. 9.33. Запресовування та випресовування сферичних підшипників ковзання з конічним V-подібним пазом: 1 – підшипник; 2 – деталь; 3 – опора фасонна; 4 – гайка; 5 – штир; 6 – шайба; 7 – оправка

Галузевий стандарт SAE-AS7949 передбачає відповідно до умов експлуатації підшипників методику та параметри післямонтажного контролю, насамперед на відхилення розташування зовнішнього кільця та допустимого зусилля його осьового зміщення, величини крутильного моменту при повороті внутрішнього кільця підшипника.

Відхилення від допуску торцевого биття на можливий перекид циліндричної поверхні зовнішнього кільця сферичного підшипника ковзання після запресування контролюють обертанням Г-подібної втулки з індикатором годинникового типу (рис. 9.34, а) навколо осі отвору в деталі.

Випробування на навантаження призначено для застосування певної осьової сили до підшипника та вимірювання лінійного зміщення запресованого зовнішнього кільця відносно деталі.

Портативний пристрій, схему якого показано на рис. 9.34, б, реєструє зусилля навантаження на підшипник у деталі 1 від закручування гайковим

ключем гайки 5. Зусилля навантаження вимірюється за допомогою каліброваного тензодатчика 2. Клиновий механізм всередині корпусу 3 передає величину зміщення зовнішнього кільця відносно деталі 1 на індикатор годинникового типу 4.

На рис. 9.34, в показано загальний вигляд більш простого за конструкцією пристрою з розташуванням штока індикатора годинникового типу паралельно до осі базового отвору в деталі.

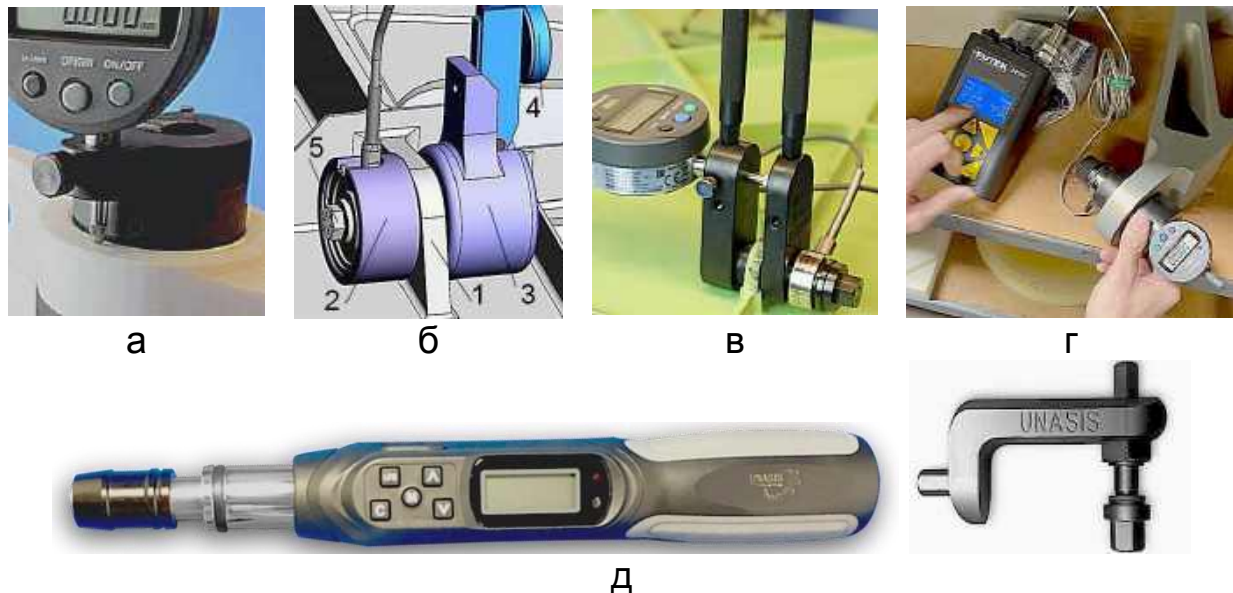


Рис. 9.34. Контроль монтажу авіаційних сферичних підшипників ковзання з конічним V-подібним пазом: 1 – деталь; 2 – датчик тензометричний; 3 – корпус; 4 – індикатор годинникового типу; 5 – гайка

Для об'єктивності контролю робочий виводить на екран електронного блока (рис. 9.34, г) довідкові дані про параметри навантаження конкретного типорозміру підшипників та порівнює їх із показаннями тензометричного датчика, корпус якого з'єднаний із блоком електричним шнуром.

У разі відповідності певної осьової сили на підшипник та лінійне зміщення запресованого зовнішнього кільця вимогам стандарту робочий встановлює портативний пристрій (див. рис. 9.34, б, в, г) на другий бік деталі та повторює вимірювання.

Електронний динамометричний ключ (рис. 9.34, д) дає змогу вимірювати осьовий та кутовий крутні моменти в широкому діапазоні типорозмірів підшипників завдяки заміні цангових вставок з внутрішньою конічною різьбою.

Для виключення можливого зміщення запресованих сферичних підшипників ковзання під дією осьового навантаження зовнішні кільця додатково кернують (рис. 9.35, а) або розчekanюють (рис. 9.35, б).

Ремонтний демонтаж підшипника у цих випадках призводить до пошкодження циліндричної поверхні отвору та потребує ретельного слюсарного доопрацювання.

Монтаж і багаторазовий демонтаж сферичних підшипників ковзання на деталях і вузлах титанового шасі літака без пошкодження циліндричної

поверхні отворів забезпечує метод роликового розкочування конічного V-подібного паза на зовнішньому кільці підшипників ковзання (рис. 9.35, в).

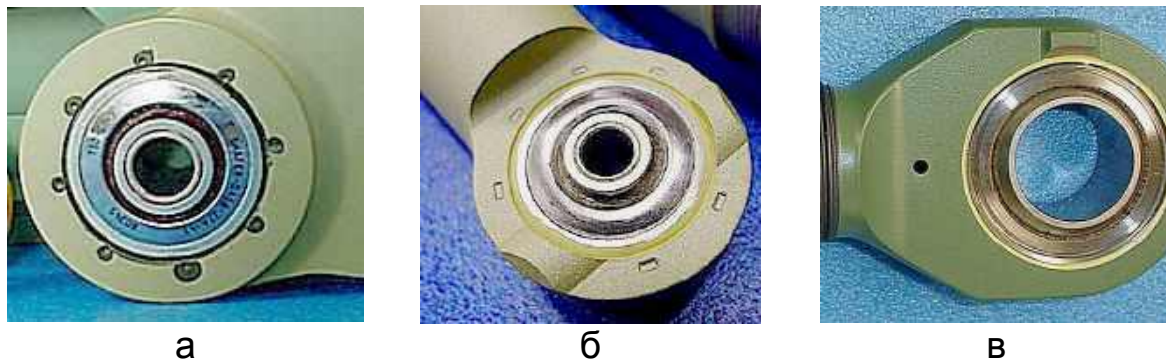


Рис. 9.35. Зовнішній вигляд деталі літака із запресованим сферичним підшипником ковзання після кернування (а), розчеканювання (б) та роликового розкочування (в) зовнішнього кільця

Схему поступової пластичної деформації V-подібного паза на зовнішньому кільці сферичного підшипника ковзання показано на рис. 9.36, а.

Відбортова кромка V-подібного паза на зовнішньому кільці підшипника 8, який попередньо був запресований у деталь 9, деформується і прилягає до фаски деталі 9 під дією ротаційного розкочування від обертання трьох роликів 1 при повороті сепаратора 2. Для всіх п'яти стандартних типорозмірів авіаційних сферичних підшипників ковзання V-подібний паз на зовнішньому кільці має кут 60° , глибина паза найбільших підшипників становить 1,4 мм, радіус заокруглення на дні паза – 0,38 мм.

На рис. 9.36, б показано схему ручного пристрою для розкочування авіаційних сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом на зовнішньому кільці. Для підготовки пристрою робочий надіває корпус 4 і сепаратор 2 на шліфований штир 3 з шестигранною головкою і різьбою. Штир 3 переміщують через отвір внутрішнього кільця запресованого підшипника, потім на штир 3 надівають опору 5, державку 6 і накручують гайку 7.

Робочий лівою рукою за допомогою гайкового ключа утримує штир 3 від провороту, правою рукою за допомогою другого гайкового ключа закручує гайку 7 до моменту торкання роликами 1 конічного V-подібного паза на зовнішньому кільці запресованого підшипника.

Ротаційне роликове розкочування кромки V-подібного паза на зовнішньому кільці підшипника робочий виконує за шість технологічних переходів, у кожному з яких повертає гайку 7 (див. рис. 9.36, б) за допомогою гайкового ключа на кут приблизно 30° , а корпус 4 з сепаратором 2 та роликами 1 лівою рукою – на три повні оберти.

На рис. 9.36, в показано загальний вигляд пристрою для роликового розкочування сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом на зовнішньому кільці англійської компанії UNASIS. Уніфікована компактна конструкція пристрою (рис. 9.36, г) забезпечує вимоги галузевого стандарту SAE-AS7949 щодо монтажу всіх п'яти типорозмірів сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом на зовнішньому кільці.

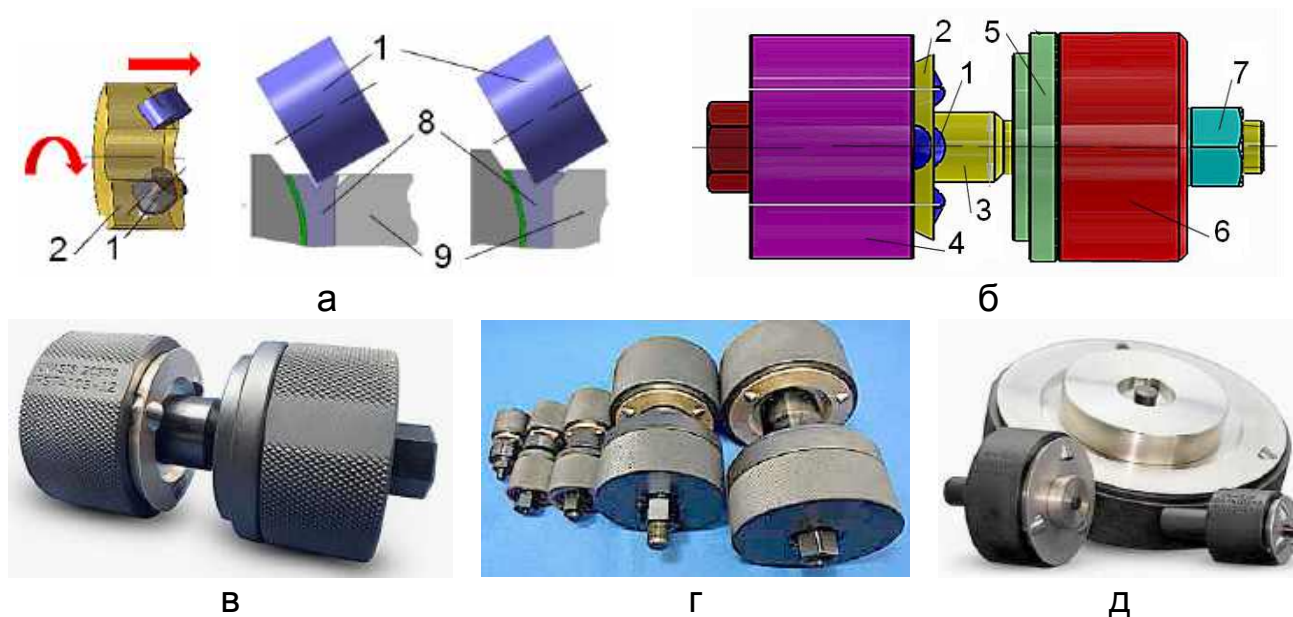


Рис. 9.36. Роликове розкочування авіаційних сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом на зовнішньому кільці: 1 – ролик; 2 – сепаратор; 3 – штир; 4 – корпус; 5 – опора; 6 – державка; 7 – гайка; 8 – підшипник; 9 – деталь

Роликове розкочування сферичних підшипників з V-подібним пазом для вузлів літака з вільним підходом до зони монтажу виконують на стаціонарних свердлильних верстатах головками з циліндричними хвостовиками (рис. 9.36, д), конструкція та типорозмір яких уніфікована з ручними механічними пристроями (див. рис. 9.36, г).

На рис. 9.37 показано приклади виконання операції роликового розкочування зовнішнього кільця сферичних підшипників з V-подібним пазом для вузлів літака на стаціонарному устаткуванні з вільним підходом до зони монтажу та в обмежених виробничих умовах.



Рис. 9.37. Роликове розкочування сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом на стаціонарному устаткуванні (а) та в обмежених виробничих умовах (б)

Сітчасте рифлення на корпусі та державці пристрою у поєднанні з невеликим зусиллям їх обертання дають змогу безпосередньо процес роликового розкочування паза виконувати руками в рукавичках без спеціального інструменту (див. рис. 9.37, б).

Візуально-оптичний контроль на наявність розривів розкатоної кром-

ки V-подібного паза та повноту її прилягання до поверхні фаски в отворі деталі виконують лупою з чотирикратним збільшенням.

Високонавантажені підшипники ковзання силових деталей шасі мають ресурс, обмежений кількістю посадок та умовами експлуатації літального апарата, та підлягають обов'язковій заміні на спеціалізованому ремонтному заводі або за місцем експлуатації.

Для виключення механічного пошкодження поверхні отвору та фаски в деталі 3 літального апарата перед проведенням операції випресовування сферичних підшипників 1 з V-подібним пазом відбортовану кромку зовнішнього кільця 2 надрізають (рис. 9.38, а).

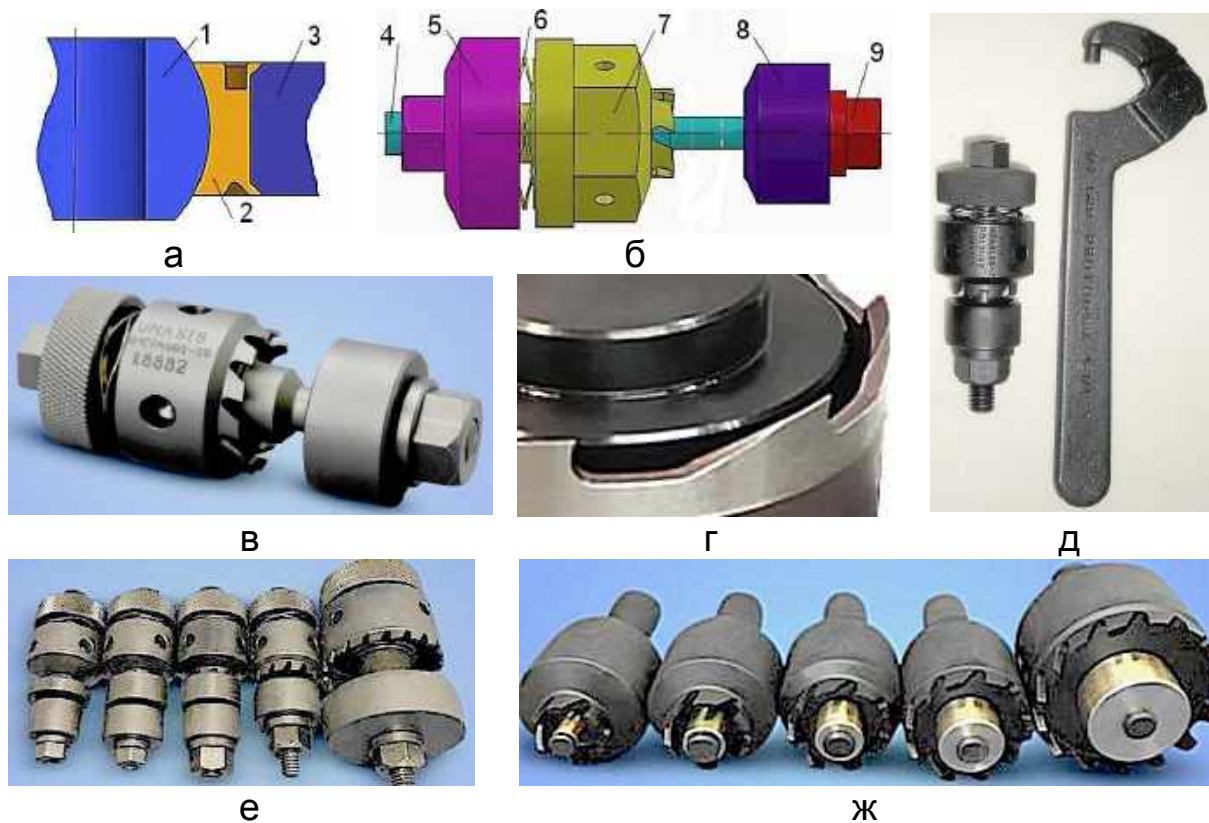


Рис. 9.38. Надрізання зовнішнього кільця підшипників ковзання з V-подібним пазом: 1 – кільце внутрішнє; 2 – кільце зовнішнє; 3 – деталь; 4 – штир; 5 – корпус; 6 – пружина тарілчаста; 7 – державка; 8 – опора; 9 – гайка

При використанні ручного механічного пристрою (рис. 9.38, б) робочий попередньо надіває корпус 5, тарілчасту пружину 6 та державку 7 з трубчастим корончастим свердлом на шліфований штир 4 з шестигранною головкою і різью. Штир 4 переміщують через отвір внутрішнього кільця 1 запресованого підшипника, потім на штир 4 надівають опору 8 і накручують гайку 9.

Робочий лівою рукою за допомогою гайкового ключа утримує штир 4 від провороту, правою рукою за допомогою другого гайкового ключа закручує гайку 9 до моменту торкання кромки різальних зубів трубчастого свердла до відбортованої кромки на зовнішньому кільці запресованого підшипника.

Далі при тарованому закручуванні гайки 9 стискається тарілчаста

пружина 6 і забезпечується постійний пружний контакт різальних зубів трубчастого свердла з відбортунням на зовнішньому кільці 2 запресованого підшипника.

На рис. 9.38, в показано загальний вигляд ручного механічного пристрою для надрізання зовнішнього кільця сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом англійської компанії UNASIS.

Робочий обертає державку 7 спеціальним накидним гайковим ключем (рис. 9.38, д), повне прорізання відбортеної кромки на зовнішньому кільці запресованого підшипника відбувається приблизно за десять обертів. Спеціальна форма зубів (рис. 9.38, г) корончастого свердла забезпечує повне прорізання та відрив відбортеної кромки без механічного пошкодження поверхні отвору та фаски в деталі.

Уніфікована конструкція пристрою (рис. 9.38, е) забезпечує вимоги галузевого стандарту SAE-AS7949 щодо надрізання зовнішнього кільця всіх п'яти типорозмірів сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом.

Надрізання зовнішнього кільця авіаційних сферичних підшипників ковзання з V-подібним пазом на простих деталях типу тяг або підкосів виконують на стаціонарних свердлильних верстатах головками з циліндричними хвостовиками (рис. 9.38, ж), конструкція та типорозмір яких уніфіковані з ручними механічними пристроями (див. рис. 9.38, е). Подальші операції з випресовування сферичних підшипників ковзання виконують за допомогою уніфікованого пристрою з фасонною опорою (див. рис. 9.33, в, г).

Слід зазначити високі досягнення англійської компанії UNASIS, яка спеціалізується на проєктуванні, виробництві та обслуговуванні інструментів разом із комплектами та спеціальними засобами для встановлення, демонтажу та тестування авіаційних підшипників на основі потреб і вимог розробників сучасної авіаційної техніки.

Як висновок слід зазначити, що проблеми виробництва та ремонту шасі включають високі початкові інвестиційні витрати, суворі нормативні вимоги, складність проєктування та виробництва, а також потребу в постійному технічному обслуговуванні та перевірці шасі для забезпечення безпеки та надійності циклу «зліт-посадка».

Світовий повітряний флот наразі нараховує близько 28 тисяч цивільних літаків. Технічне обслуговування шасі становить близько 20 % від загальних витрат на технічне обслуговування літаків, оскільки воно безпосередньо впливає на безпеку, надійність і продуктивність, де навіть незначні дефекти або поломки можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Ресурс шасі сучасного пасажирського літака становить близько 60 тисяч циклів «зліт-посадка», для військових літаків ресурс шасі не перевищує 10 тисяч циклів. Проміжок між плановими ремонтами становить близько 20 тисяч циклів, шини замінюють через кожні 200 циклів.

Шасі сучасних літальних апаратів спроектовано як безпечну довговічну конструкцію, а для прогнозування терміну служби використовують методи аналізу втоми від впливу динамічних навантажень.

Контрольні запитання

1. Які вимоги ставлять до конструкційних матеріалів стояків і візків шасі літальних апаратів?
2. Проаналізуйте технологічні особливості оброблення титанових заготовок шасі
3. Які підготовчі операції є необхідними для створення технологічних баз на заготовках шасі літака?
4. За якою технологією виконують виготовлення глибоких отворів у титанових заготовках стояка шасі?
5. Чим відрізняються технології гарматного і ежекторного свердління глибоких отворів у титанових заготовках стояка шасі?
6. Назвіть характеристики абразивних матеріалів для шліфування титанових сплавів.
7. Які є різновиди внутрішнього круглого шліфування заготовок стояків шасі літака?
8. Назвіть особливості використання принципів диференціації та концентрації технологічного процесу оброблення однієї і тієї ж деталі.
9. Як позначають координати лінійних та кутових переміщень виконавчих механізмів верстатів з ЧПК?
10. Для чого призначений пенетрант у капілярних методах неруйнівного контролю деталей шасі літака?
11. Яким співвідношенням пов'язані похибка вимірювання будь-якого засобу геометричного контролю та величина допуску на розмір деталі, що контролюється?
12. Назвіть призначення бороскопів та волоконно-оптичних ендоскопів при контролі деталей шасі літака.
13. Для чого призначено сферичні підшипники ковзання та шарнірні головки зі сферичними підшипниками ковзання?
14. Назвіть переваги застосування спеціальних сферичних підшипників ковзання з конічним V-подібним пазом на зовнішньому кільці.
15. Як виконують запресовування та випресовування сферичних підшипників ковзання з конічним V-подібним пазом?
16. За скільки технологічних переходів виконують роликоне розкочування кромки V-подібного паза на зовнішньому кільці підшипника?
17. Для чого надрізають відбортовану кромку зовнішнього кільця сферичних підшипників з V-подібним пазом?

10. ОСНОВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБЛЕННЯ З ВИДАЛЕННЯМ ЗАЙВОГО МАТЕРІАЛУ

У зв'язку з необхідністю зменшення трудомісткості оброблення значної актуальності набувають такі напрями підвищення ефективності процесів оброблення з видаленням зайвого матеріалу:

– інтенсифікація існуючих процесів оброблення різанням переважно завдяки використанню нових марок інструментальних матеріалів, удосконаленню конструкцій різального інструменту, оптимізації 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.

10.1. 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.

Для їх оброблення спочатку використовували швидкорізальні сталі марок Р18, Р9, Р12, Р6М3, що відрізнялися від інструментальних матеріалів, які застосовувалися раніше, значно більшим вмістом легуючих елементів (ванадію, молібдену, хрому, вольфраму). Ці швидкорізальні сталі зберігають свої властивості за умов підвищення температури в зоні оброблення до 600 °С, що дало змогу збільшити швидкість різання в два-три 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 чорного 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 показники під час оброблення жароміцних і титанових сплавів.

Швидкорізальні сталі, 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 виготов-

лення 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:

– *вольфрамо-кобальтові* (ВК) однокарбідні, які складаються із зерен карбідів вольфраму, зв'язаних кобальтом. Цифри вказують на вміст кобальту у відсотках, а решта – карбіди вольфраму. Марка ВК8 ефективна для чорного оброблення високоміцних матеріалів, тверді сплави дрібнозернистої структури марок ВК6М і ВК10М й особливодрібнозернистої структури марок ВК60М і ВК80М – для напівчистового й чистового оброблення;

– *вольфрамо-титано-кобальтові* (ТК) двокарбідні, що складаються з карбідів вольфраму і карбідів титану, зв'язаних кобальтом. Цифра після літери Т вказує на вміст карбідів титану у відсотках, після літери К – чистого кобальту, решта – карбіди вольфраму. Сплав марки Т5К10 застосовують для чорного, марки Т15К6 – для чистового оброблення деталей із теплостійких і нержавіючих сталей;

– *вольфрамо-титано-тантало-кобальтові* (ТТК) трикарбідні. Цифра після літер ТТ – сумарний вміст карбідів титану та танталу, після літери К – кобальту, решта – карбіди вольфраму. Сплав марки ТТ10К8 застосовують замість сплаву ВК8 для оброблення сталевих заготовок.

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 окису 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 термічно оброблених сталей. Кріплять їх до корпусу фрези або державки різця механічним шляхом, напаюванням або приклеюванням. Незважаючи на низьку вартість, високу твердість та теплостійкість, пластини з мінералокераміки крихкі, що сутте-

во обмежує їх застосування.

Отримання великих полікристалічних сполук на основі нітриду бору, які практично не поступаються алмазу за твердістю, відкрило широкі можливості для оснащення різальних інструментів *синтетичними надтвердими матеріалами* (СНМ).

У промисловості широко упроваджують різці з пластинами з надтвердих синтетичних матеріалів на базі полікристалічного кубічного нітриду бору: ельбору-Р і гексаніту-Р, які призначені для виготовлення лезового інструменту.

Ельбор-Р призначено для тонкої і чистової обробки без ударних навантажень заготовок з загартованих сталей твердістю до HRC 67. Стійкість таких різців у 5 – 15 разів вища ніж твердосплавних.

Гексаніт-Р призначено для чистової і напівчистової обробки з невеликими ударними навантаженнями сталей твердістю до HRC 60.

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 оброблення 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.

У міжнародній практиці застосовують умовні скорочені позначення інструментальних матеріалів, які дають змогу точніше визначити область їх призначення.

Позначення металокерамічних твердих сплавів:

- HW – тверді сплави без покриття, найбільшу відносну частку яких складає карбід вольфраму;
- HT – безвольфрамові тверді сплави (кермети), які утворені на основі карбіду або нітриду титану, карбідонітриду титану або їх композиції;
- HC – тверді сплави з покриттям.

Позначення мінералокерамічних твердих сплавів:

- SA – оксидна кераміка, яка складається в основному з оксиду алюмінію;
- SM – змішана кераміка на основі оксиду алюмінію та карбідів вольфраму, молібдену та інших компонентів;
- CN – нітридна кераміка.

Позначення надтвердих матеріалів:

- DP – полікристалічний синтетичний алмаз;
- BN – кубічний нітрид бору.

10.1.1. Удосконалення конструкції інструментів

Значно інтенсифікувати процеси розмірного оброблення можна зміненням конструкції різальних інструментів, у першу чергу інструментів з механічним кріпленням багатограних різальних пластин (БРП) із твердого сплаву, мінералокераміки й полікристалічних СНМ.

Асортимент пластин дає змогу, наприклад, укомплектувати набір спеціалізованих токарних різців із БРП для оброблення широкої номенклатури деталей на токарних верстатах з ЧПК (рис. 10.1).

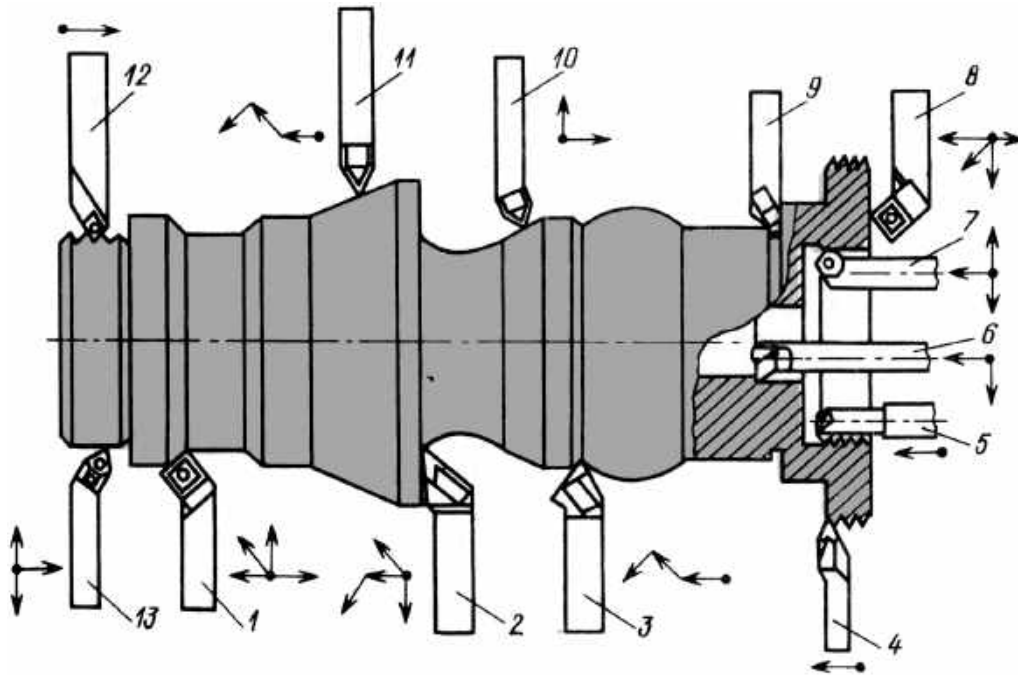


Рис. 10.1. Схема оброблення основних типових поверхонь токарними різцями з БРП

До комплекту інструментів для токарних верстатів з ЧПК зазвичай входять такі різці (див. рис. 10.1):

– 1 – прохідні відігнуті праві з $\varphi = 45^\circ$ для патронного оброблення деталей на зразок фланців: зовнішнього обточування, проточування торців, знімання фасок;

– 2 – контурні з $\varphi = 93...95^\circ$, які дають змогу обточувати деталі по циліндру й зворотному конусу з кутом до 30° , обробляти радіусні, торцеві поверхні та галтелі;

– 3 – контурні з $\varphi = 63^\circ$ для оброблення напівсферичних поверхонь і конусів з кутом до 60° ;

– 4 – нарізні з ромбічними пластинами, які дають змогу нарізувати різь із кроком 2...6 мм (кут профілю забезпечується формою пластини);

– 5 – нарізні для нарізування внутрішньої різі, що дають змогу 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 змогу 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 кутових канавок);

– 10 – прохідні з БРП тригранної форми і $\varphi = 93^\circ$, які дають змогу 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 $\varphi = 92...95^\circ$ для проточування ступінчастих поверхонь, фасок, торців рухом від зовнішнього діаметра до центра деталі.

Основні переваги використання різальних 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 кромок;

– можливість більш економного використання твердих сплавів та інших інструментальних матеріалів.

Державки токарних різців виготовляють різних розмірів: повнорозмірні, укорочені й різці-вставки. Різці-вставки дають змогу створювати різні типи одно- і багаторізцевих інструментів.

Інструменти встановлюють у паз інструментальної головки (різцевого блока) або різцетримача й задають точність обробки. Серед інструментів із БРП група токарних різців є найбільш використовуваною. Приклад позначень розточувальних різців згідно з рекомендаціями ISO (ISO – International Standard Organisation) наведено на рис. 10.2, а, загальний вигляд розточувального різця з БРП – на рис. 10.2, б. Інші типи токарних різців з механічним кріпленням БРП (рис. 10.2, в) кодують відповідно до цієї схеми.

ISO передбачає розподіл оброблюваних матеріалів на три групи: Р – позначена синім кольором, М – жовтим, К – червоним. Група Р містить сталі й сталеве литво, при обробленні яких утворюється зливна стружка. Група М містить важкооброблювані жароміцні та нержавіючі сталі, титанові сплави, при обробленні котрих утворюється стружка надлому і зливна. До групи К входять чавуни, кольорові метали та сплави, матеріали з високою твердістю, при обробленні яких утворюється стружка надлому та елементна. За умовами оброблення кожна група поділяють на підгрупи від 01 до 50, починаючи від чистової обробки до обробки у важких умовах з ударами.

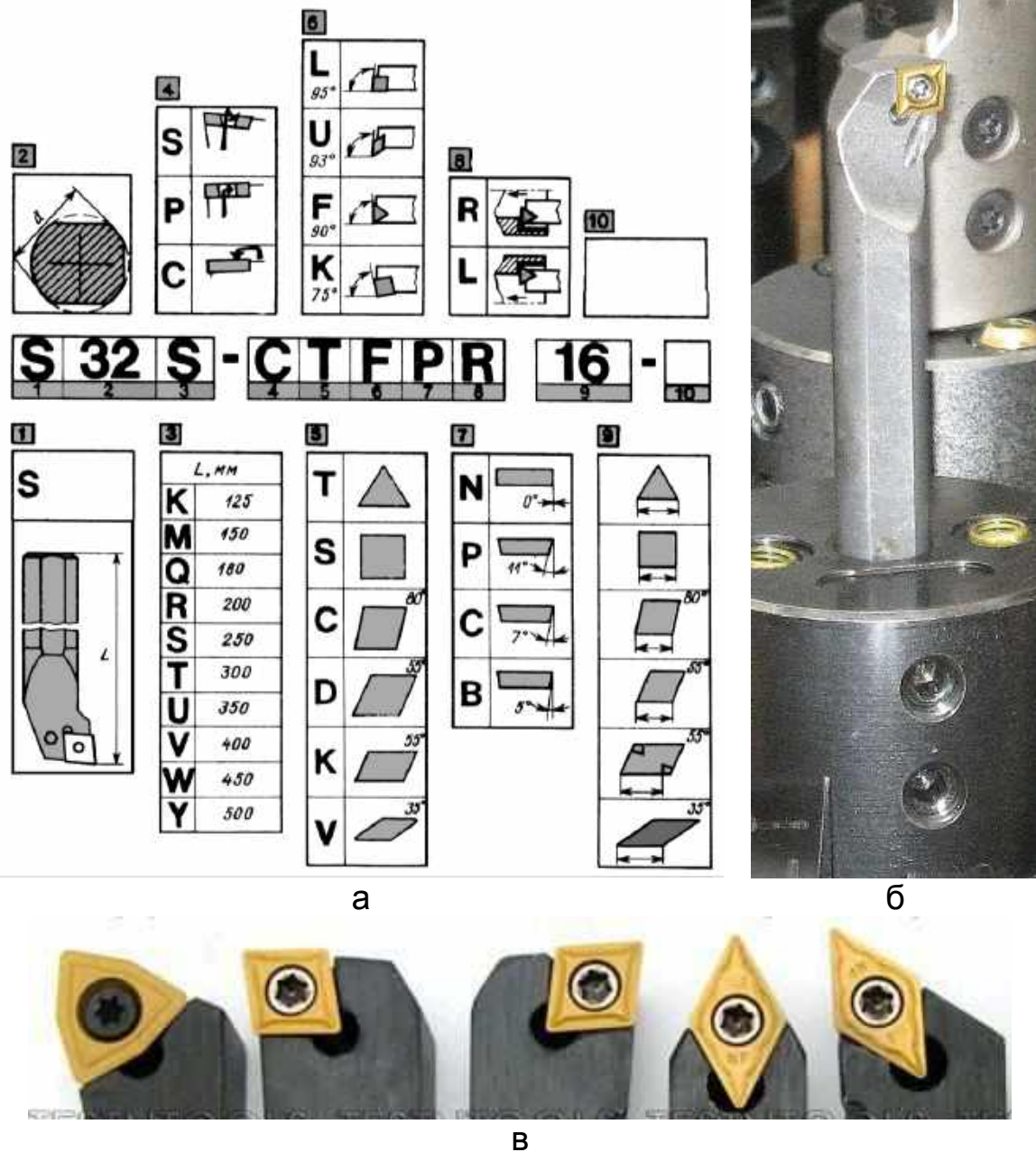


Рис. 10.2. Схема призначення позначень (а) і загальний вигляд розточувального різця (б) і токарних різців (в) з механічним кріпленням БРП

Схема побудови позначень розточувальних різців (див. рис. 10.2, а) 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.

10.1.2. Методи підвищення стійкості інструментів

Спрацьовування 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 сходять, з передніми й задніми поверхнями інструменту.

Мастилоохолодні технологічні середовища (МОТС) забезпечують найбільш сприятливі умови перебігу процесу механічного оброблення різанням (максимальна стійкість інструменту, оптимальна температура заготовки та 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).

Зносостійкі покриття з хімічно інертних та тугоплавких сполук карбиду титану TiC, нітриду титану TiN, оксиду алюмінію Al₂O₃. Стійкість твердосплавного інструменту підвищується до шести разів, якщо нанести на його поверхню зносостійкий шар завтовшки 5...15 мкм з нітриду титану TiN і карбідів титану TiC. Зносостійкість інструменту зі швидкорізальної сталі з покриттям з нітриду титану підвищується в 2 – 5 разів.

Найбільш поширеними є два методи нанесення зносостійких покриттів на різальний інструмент:

1. Метод хімічного осадження CVD (CVD – Chemical Vapor Deposition) – процес, який використовується для отримання твердих покриттів товщиною до 20 мкм шляхом хімічного осадження при високих температурах 800...1000 °С. Метод CVD широко використовується для нанесення покриттів на тверді сплави, зокрема на твердосплавні БРП.

2. Метод фізичного осадження PVD (PVD – Physical Vapor Deposition) – процес вакуумного напилення покриттів, при якому зносостійка плівка товщиною 2...6 мкм наноситься на інструмент шляхом прямої конденсації матеріалу, що наноситься. Метод PVD реалізується за більш низьких температур, не більше 500 °С, що дає змогу наносити покриття на інструмент зі швидкорізальних сталей. За допомогою методу PVD можна нанести зносостійке покриття на гостру крайку інструменту, що не приводить до її пригуплення. Таким чином, цей метод успішно застосовується на дрібнозернистих інструментальних матеріалах та кінцевих фрезах малого діаметра.

На рис. 10.3 наведено приклади деяких різальних інструментів зі зносостійким покриттям. Перші одношарові покриття з нітриду титану товщиною 4...7 мкм, що наносяться на токарні БРП, сприяли підвищенню продуктивності на 50 % завдяки збільшенню швидкостей різання з 100...120 до 150...200 м/хв.

Подальшого підвищення стійкості інструменту було досягнуто розділенням товщини покриття на окремі шари.

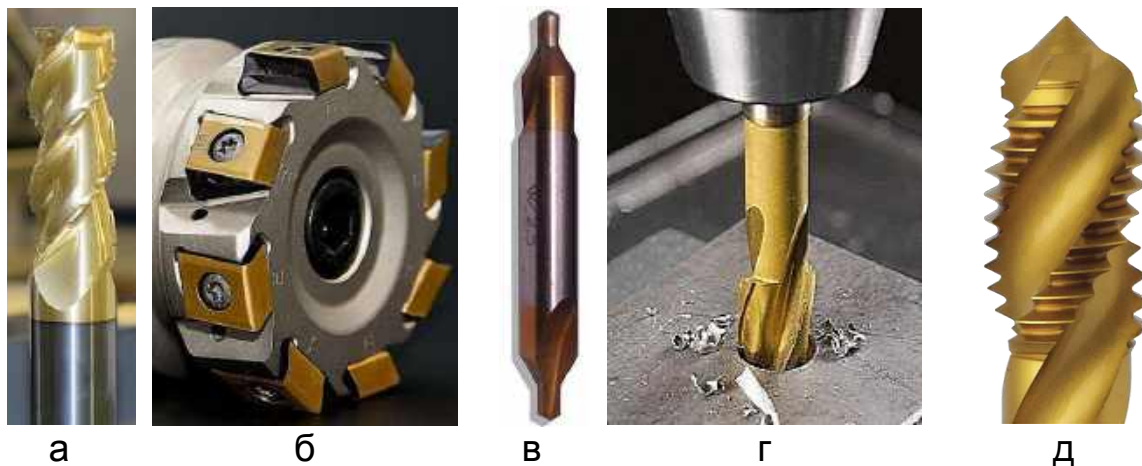


Рис. 10.3. Приклади інструментів зі зносостійкими покриттями: а – кінцева фреза; б – торцева фреза з БРП; в – центрувальне свердло; г – свердло; д – мітчик

Кожний шар виконує певну функцію щодо різних видів спрацювання, міцності зчеплення й термічного розширення.

Фірма «Сандвік» (Німеччина), наприклад, рекомендує таке тришарове покриття з товщиною кожного з шарів 1...3 мкм:

- внутрішній шар із карбіду титану TiC забезпечує високу зносостійкість і хорошу адгезію покриття з твердим сплавом;
- проміжний шар з оксиду алюмінію Al_2O_3 надає необхідної стійкості до теплового впливу;
- зовнішній шар із нітриду титану TiN 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 зміненню 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

$$M_2 = M_1 \exp[-\alpha_T (T_2 - T_1)], \quad (10.1)$$

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, поки 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 забезпечує змінення фізико-механічних властивостей матеріалу зрізаного шару. Попереднє пластичне деформування оброблюваної поверхні з зусиллям P виконує накатний ролик (рис. 10.4, а), розташований перед різцем. Ролик і токарний різець переміщуються вздовж осі заготовки з постійною поздовжньою подачею. Різец, 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.

Проникнення в тіло заготовки клиновидного ролика (рис. 10.4, б) дає змогу створити у поверхневому шарі матеріалу сітку мікротріщин, що значною мірою підвищує оброблюваність і стійкість твердосплавного інструменту.

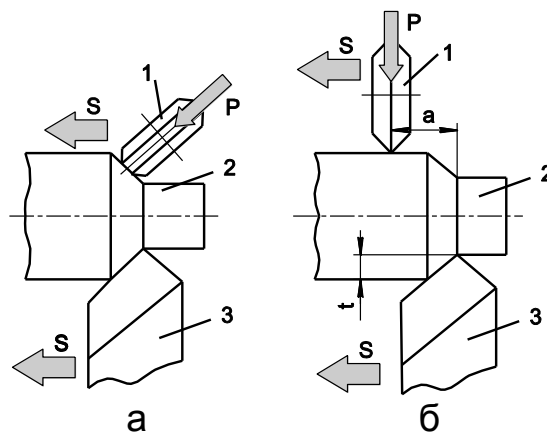


Рис. 10.4. Схеми процесу різання з попереднім пластичним деформуванням:

1 – ролик накатний; 2 – заготовка; 3 – токарний різець

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.

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 внаслідок 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.

10.2. Комп'ютерні інтегровані технології виробництва

Ключовим моментом сучасного етапу виробництва є перехід від дискретного до електронного опису виробу (ЕОВ).

Під геометричною моделлю поверхні розуміють сукупність матема-

тичного опису поверхні та повного набору координат і геометричних характеристик елементів, що однозначно визначають належність певної поверхні точок простору.

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 керування 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, введення 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, оброблення канавок і галтелей, розточування, нарізування різі різцем і виконання циклів з оброблення отворів. Для кожного технологічного переходу є можливість керування такими параметрами, як глибина різання, напрями й кути робочих і допоміжних переміщень, форма й геометрія заготовки, кількість і крок робочих і допоміжних ходів. Усі 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 та інші види оброблення отворів;

– чорнове, напівчистове або чистове оброблення робочими ходами вздовж заданого напрямку (крок між ходами може бути постійним або його обчислюють за критерієм якості оброблення – висотою гребінців);

– багатокоординатне об'ємне оброблення із застосуванням спеціальних програмних засобів для керування кутом між вектором інструменту й нормаллю до оброблюваної поверхні з урахуванням траєкторії переміщення інструменту.

10.2.1. Етапи створення КП оброблення

КП оброблення як сукупність команд мовою програмування, з точки зору технолога, є описом операційного ТП мовою пристрою верстата із ЧПК. Зовнішньою початковою інформацією для підсистеми ЧПК є геометрична модель деталі, що обробляється, каркасного (рис. 10.5, а) або твердотільного (рис. 10.5, б) зображення.

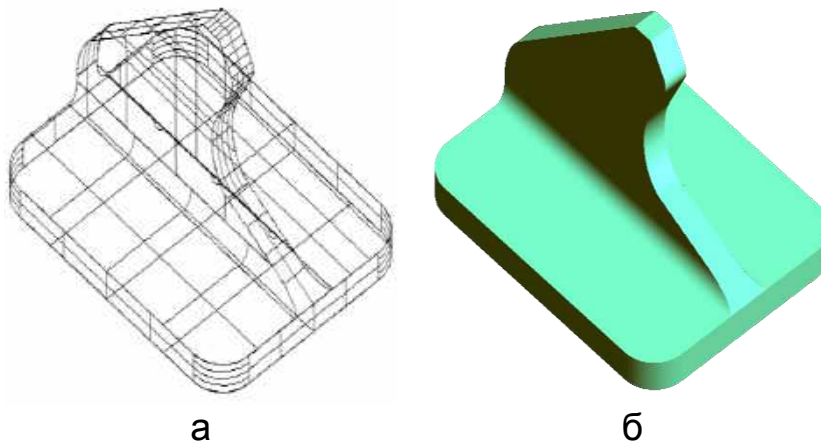


Рис. 10.5. Комп'ютерна геометрична модель деталі:
а – каркасна; б – твердотільна

Твердотільне моделювання є найдосконалішим методом створення копії реального об'єкта. Одна з переваг твердотільних об'єктів полягає в можливості обчислення маси, центру ваги, площі поверхні.

Методи твердотільного моделювання, основані на булевих операціях, особливо зручні при обчисленні поверхневих і вагових характеристик тіл, розрахунку напружень, імітації операцій механічної обробки. В останньому випадку операції різання металу можуть бути легко описані за допомогою булевої різниці.

Формування власне КП здійснюється у два етапи (рис. 10.6). На першому етапі оброблення початкової інформації реалізується процесором.

Процесор – програма первинного перероблення інформації, яка формує дані щодо оброблення незалежно від типу верстата.

Процесор виконує такий комплекс завдань із розрахунку траєкторії руху інструмента:

- 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.

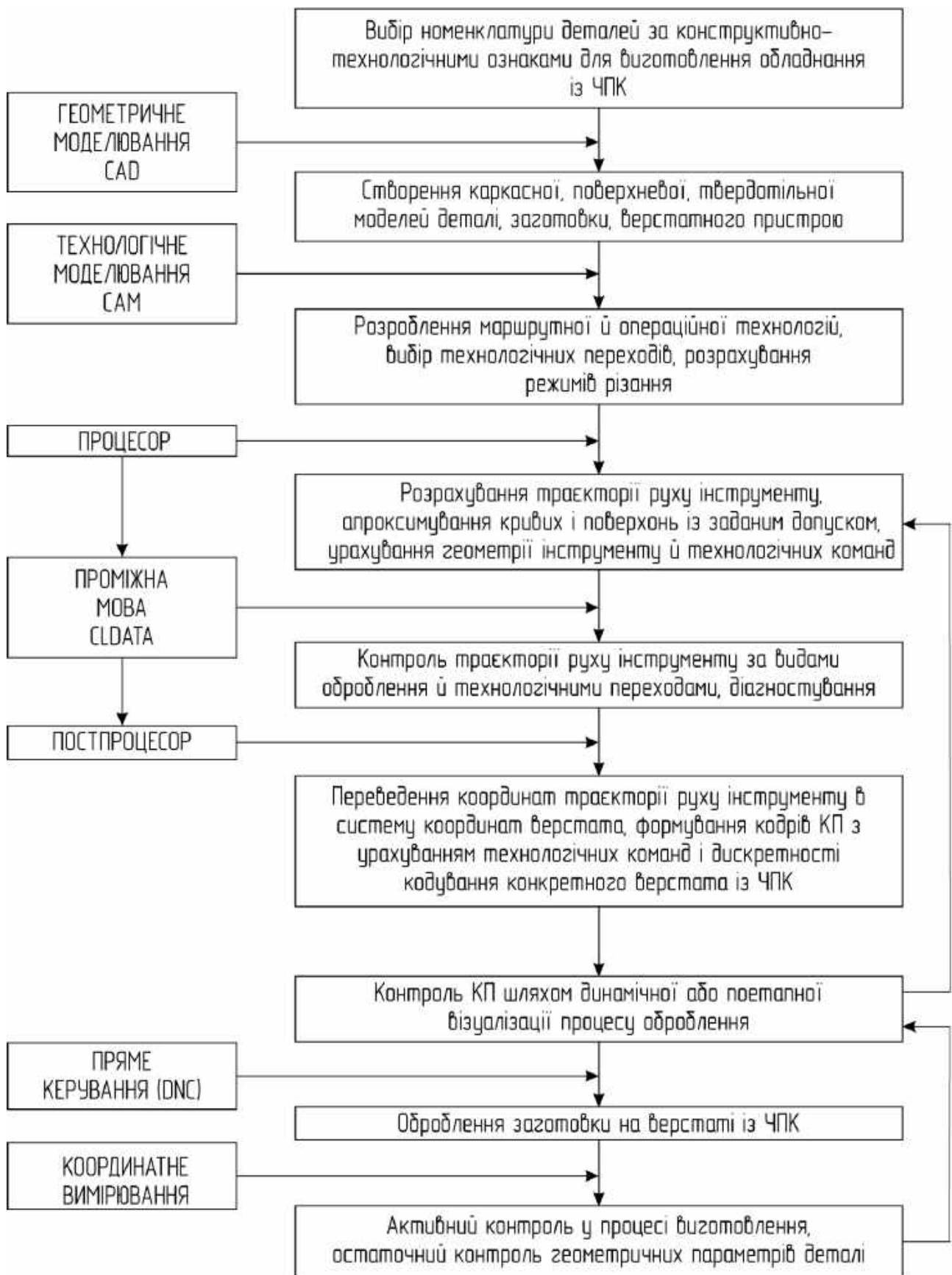


Рис. 10.6. Етапи створення КП оброблення на базі комп'ютерних інтегрованих систем

Результатом роботи процесора є повністю розрахована траєкторія руху інструменту (рис. 10.7).

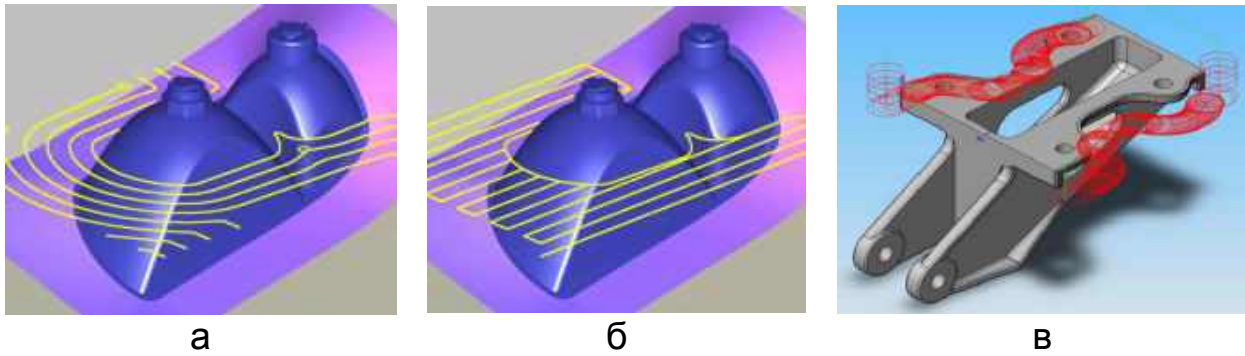


Рис. 10.7. Вибір типу та контроль траєкторії руху інструменту на етапі процесування:
а – «спіраль»; б – «зигзаг»; в – чистове фрезерування

На другому етапі формування КП перероблення інформації реалізується постпроцесором, який орієнтований на відміну від процесора на конкретну модель технологічного устаткування із ЧПК.

Постпроцесор – це узгоджувальна програма, яка 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 із ЧПК;
- кодування значень подач і частоти обертання шпинделя;
- формування команд заміни інструменту, а також коригування його довжини й радіуса, вмикання та вимикання подачі MOP;
- виконання низки сервісних функцій (підрахування обсягу КП, часу оброблення деталі на верстаті та ін.).

Формуючи команди на переміщення, постпроцесор ураховує вид інтерполяції (лінійна, колова), спосіб задавання переміщення (в абсолютній системі, у приростах).

Найважливіша функція постпроцесора – урахування обмежень технологічного устаткування із ЧПК: межі переміщення виконавчих органів й змінення швидкостей подачі й частоти обертання шпинделя, максимально допустимі 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 за однією координатою одночасно, що є недопустимим для більшості верстатів. У такій

ситуації постпроцесор може організувати покоординатний рух у задану точку, зберігаючи незмінним значення прискореної подачі.

Розширення можливостей технологічного устаткування із 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).

10.2.2. Візуалізація послідовності процесу оброблення

Візуалізація послідовності процесу оброблення дає змогу виявити помилки, які можуть виникнути, зокрема, з вини постпроцесора. Контроль КП здійснюється візуально на екрані комп'ютера шляхом динамічної або поетапної візуалізації послідовності процесу оброблення (рис. 10.8).



Рис. 10.8. Поетапна візуалізація процесу фрезерування

Програма візуалізації процесу оброблення дає змогу:

- контролювати КП безперервно або по окремих кадрах з відображенням у разі потреби траєкторії руху 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.

10.3. Метод високошвидкісного фрезерування

Метод високошвидкісного фрезерування HSM (HSM – High Speed Milling) забезпечує такі принципові зміни порівняно із звичайним фрезеруванням:

- збільшення швидкості руху подачі фрези до 20 м/хв (максимальна швидкість для звичайного фрезерування – 0,5 м/хв);
- збільшення питомого об'єму стружки до $100 \text{ см}^3/(\text{хв} \cdot \text{кВт})$ (максимальний об'єм для звичайного фрезерування – $40 \text{ см}^3/(\text{хв} \cdot \text{кВт})$);
- збільшення частоти обертання шпиндельних вузлів до 30000 1/хв (максимальна частота обертання в серійному фрезерному устаткуванні на сьогодні не перевищує 5000 1/хв);
- скорочення основного часу фрезерування у три – п'ять разів.

Основний принцип фрезерування методом HSM: малий переріз стружки, що знімається з високою швидкістю різання, висока частота обертання шпинделя і висока хвилинна подача (рис. 10.9, а). На рис. 10.9, б показано схему контакту фрези із заготовкою при високошвидкісному фрезеруванні, на рис. 10.9, в – при звичайному фрезеруванні.



Рис. 10.9. Принцип фрезерування методом HSM та схеми контакту фрези із заготовкою: 1 – ширина фрезерування; 2 – глибина фрезерування; 3 – припуск; 4 – зона нагрівання фрези

Особливо ефективним є метод HSM для оброблення тонкостінних ребер і стінок завдяки зменшенню сил різання у три-чотири рази і практично повній відсутності нагрівання заготовки в процесі різання.

Для високошвидкісного фрезерування методом HSM застосовують трохоїдальну схему з повторюваних кругових рухів інструменту в поєднанні з лінійним рухом при постійній хвилинній подачі (рис. 10.10).

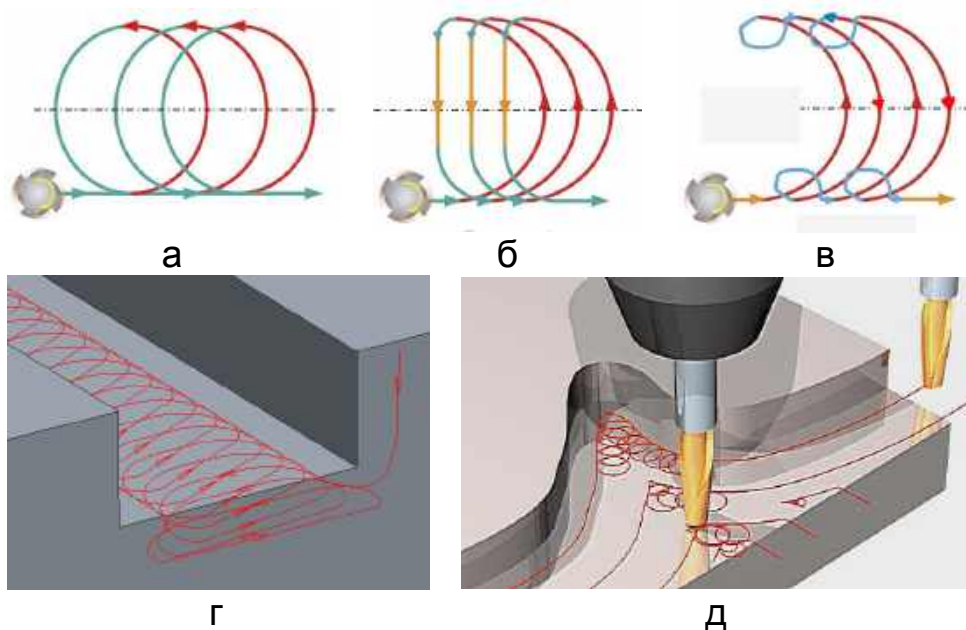


Рис. 10.10. Схеми трохоїдального фрезерування методом HSM: а – звичайна; б – укорочена; в – спеціальна; г – прямолінійного паза; д – криволінійного уступу

Заготовку розбивають на певні зони, в яких застосовують найбільш оптимальні траєкторії руху фрези (рис. 10.11).

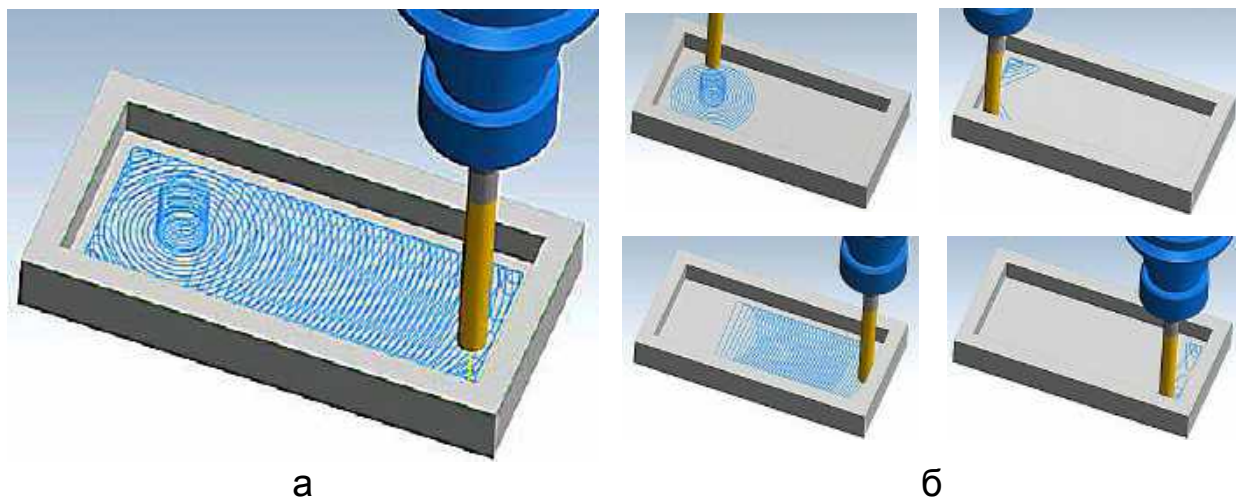


Рис. 10.11. Моделювання фрезерування методом HSM:
а – сума траєкторій; б – траєкторії окремих зон оброблення

На рис. 10.12, а показано приклад традиційної траєкторії для фрезерної обробки, побудованої еквідистантним зміщенням вихідного контуру.

Для фрезерної обробки методом HSM ефективною є згладжена траєкторія руху фрези (рис. 10.12, б).

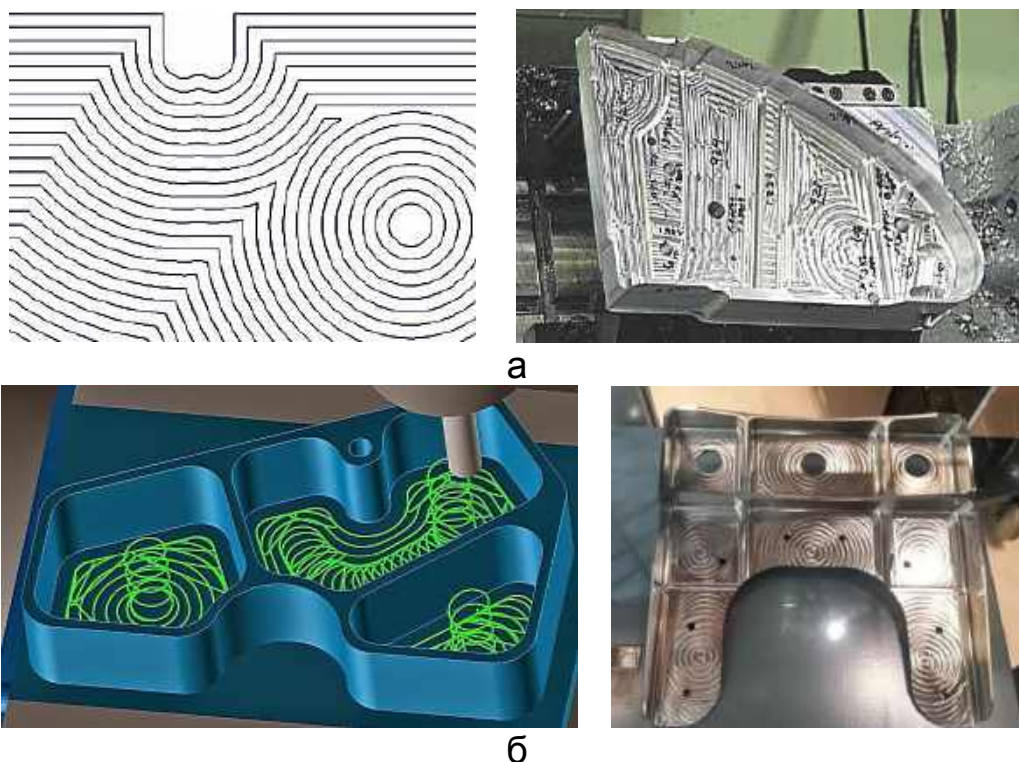


Рис. 10.12. Приклади траєкторій для фрезерної обробки:
а – традиційна; б – згладжена для HSM

Рекомендований діаметр кінцевої фрези становить 50...70 % від заданої ширини щілини, глибина різку має дорівнювати 10...35 % від діаметра фрези, крок траєкторії – 2...10 % від діаметра фрези.

Перехід інструменту на наступний рівень оброблення здійснюється шляхом спірального, а не вертикального врзання. Інструмент піднімають над дном або відсувають його від стінки в оброблених зонах.

Розроблення верстатного устаткування з ЧПК для процесів високошвидкісного фрезерування методом HSM 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 багатошаровим покриттям. Інструмент, який використовується для високошвидкісної обробки з частотою обертання понад 8000 1/хв, повинний мати підвищену точність за радіальним биттям, малий дисбаланс і конструкцію, що гарантує безпеку експлуатації на високих частотах обертання. Зазвичай необхідним є динамічне балансування такого інструменту.

2. Виготовлення шпindelних вузлів верстатного устаткування з частотою обертання 10000...60000 1/хв при потужності до 100 кВт.

3. Створення засобів активного автоматичного контролю геометричних параметрів заготовки й стану різального інструменту під час оброблення. За умов контролю деталей поза верстатом констатується лише результат оброблення й виключається активний вплив етапу контролю на забезпечення необхідної точності оброблення.

4. Висока швидкість розлітання відламків різального інструменту у випадку його поломки й великий об'єм стружки потребують спеціальних рішень щодо компонування для забезпечення вимог техніки безпеки в зоні оброблення і дистанційного контролю 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 фрезерування 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).

Для оброблення деталей складної форми, штампів, прес-форм застосовують програмне забезпечення Power MILL фірми Delcam (Англія) зі спеціальним модулем FeatureCAM для HSM, який реалізує особливості побудови траєкторії руху фрези:

- автоматичний вибір спіральної або еквідистантної траєкторії фрези в окремих зонах чистової та чорнової обробок;
- автоматичне згладжування траєкторії при фрезеруванні кутів;
- виключення робочих ходів повним діаметром фрези та автоматичний перехід на трохохідальну траєкторію в цих місцях;

- широке використання петель і різних криволінійних траєкторій для зменшення інерційних сил при фрезеруванні.

Система Power MILL має широкий набір траєкторій для високошвидкісного чорнового та чистового фрезерування площин (рис. 10.13, а), трикоординатної (рис. 10.13, б) та п'ятикоординатної обробки складних поверхонь (рис. 10.13, в).

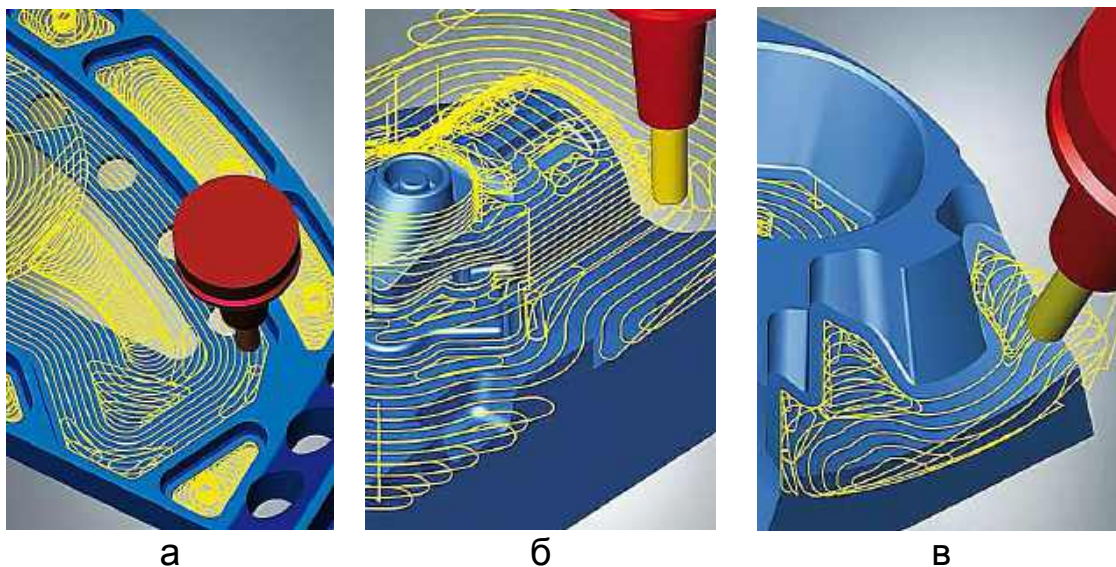


Рис. 10.13. Приклади моделювання траєкторій для фрезерування методом HSM

Після створення траєкторій оброблення їх можна перевірити за допомогою вбудованого модуля симуляції (див. рис. 10.13), а потім на етапі постпроцесування отримати КП для конкретного верстата з ЧПК.

10.4. Особливості сучасних верстатів для оброблення панелей

Світовими лідерами у виробництві спеціалізованих фрезерних верстатів із рухомими порталами для оброблення довгомірних панелей виробів авіаційної техніки є верстатобудівні фірми FOREST-LINE (Франція), Fooke та Zimmerman (Німеччина), MAG (США).

Нижче розглянуто приклади реалізації основних стратегічних рішень щодо збільшення розмірів робочого простору цих верстатів, частоти обертання шпинделя, компонування, кількості координат робочих переміщень різального інструменту.

Фірмою «FOREST-LINE» (Франція) створено верстат з ЧПК моделі H1.1600UTGV для високошвидкісного оброблення монолітних панелей з алюмінієвих сплавів із габаритними розмірами 4000×1600×400 мм.

Верстат є рухомим порталом, що переміщується по напрямних вертикальної станини, на вакуумному столі якої закріплюють оброблювану заготовку (рис. 10.14). 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 встановлено на активних магнітних підшипниках.

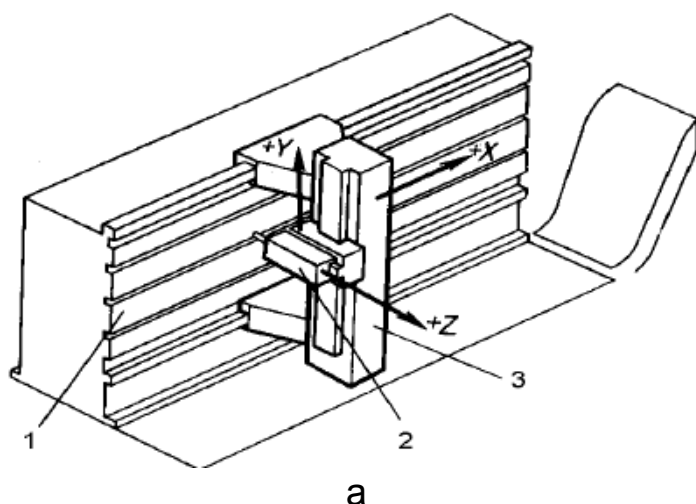


Рис. 10.14. Компонування верстата моделі H1.1600UTGV

Шпиндель має два напрями обертання, частота обертання регулюється від 3000 до 30000 1/хв електронним перетворювачем частот при постійному крутному моменті. На верстаті передбачено автоматичну заміну інструменту в шпинделі на інструмент з нерухомого магазину, що містить 12 інструментів, шляхом допоміжних переміщень фрезерної головки.

Приводи подач оснащено високомомментними 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.

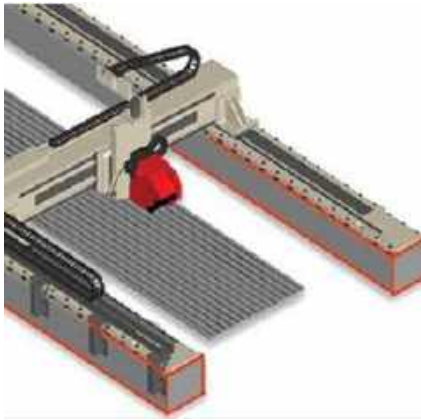
Верстат обладнано пристроєм ЧПК з одночасним керуванням переміщень за трьома координатними осями, що забезпечує швидкість руху подачі робочих ходів до 20 м/хв у площині $X Y$ і до 10 м/хв у площинах $X Z$ і $Y Z$. Швидкість руху подачі допоміжного ходу – до 30 м/хв.

Використання електродвигунів з прямолінійним магнітним полем дозволяє відмовитися від багатьох механічних елементів, таких як редуктори, опори, кулькові ходові гвинти або системи зубчастих рейок, і підвищити тим самим жорсткість, надійність і точність верстатів.

Спеціалізований порталний верстат з рухомих порталом моделі MAG HYPERMACH фірми MAG широко застосовують на більшості провідних літакобудівних заводів для фрезерування та оброблення отворів у панелях з алюмінієвих сплавів та композиційних матеріалів (рис. 10.15).

Високодинамічні електродвигуни з прямолінійним магнітним полем стоять на всіх трьох напрямних верстата. Лінійні напрямні та електродвигуни силового приводу надійно захищені гофрованими чохлами від попадання стружки. Модульний принцип конструкції верстата дає змогу варіювати розміри робочого простору в широкому діапазоні значень: X – від 2000 до 40000 мм; Y – від 800 до 3500 мм; Z – від 400 до 1200 мм.

Швидкість подачі інструменту за всіма лінійними координатами регулюється безступінчасто в діапазоні від 5 до 65000 мм/хв.



а



б

Рис. 10.15. Верстат моделі MAG HYPERMACH з рухливим порталом:
а – компонування верстата; б – оброблення монолітної панелі з плити

Похибка позиціонування інструменту по всіх осях не перевищує значення $\pm 0,015$ мм, що в кілька разів нижче, ніж у разі застосування в силовому приводі верстата шестеренно-рейкової або кульково-гвинтової передачі.

Портальний фрезерний верстат моделі Macbormill HSM фірми MAG призначено для оброблення довгомірних крилових панелей літаків. Для підвищення продуктивності оброблення монолітних панелей компонування такого верстата може бути як двошпindelним (рис. 10.16, а), так і дво-портальним (рис. 10.16, б).



а



б

Рис. 10.16. Варіанти компонування верстата моделі Macbormill HSM Aero

У портальному фрезерному верстаті моделі 1100LINEAR фірми Zimmermann також використали силовий привід на основі електродвигунів з прямолінійним магнітним полем. Верстат призначено для високошвидкісного оброблення довгомірних деталей зі складними аеродинамічними поверхнями типу панелей, лонжеронів, що виготовляються з алюмінієвих сплавів (рис. 10.17, а). На верстаті можна фрезерувати площини, пази, уступи, криволінійні контури, а також виконувати свердління, зенкерування, розгортання, розточування отворів, нарізування різі.

Відмінною особливістю верстата є застосування двовісної поворотної головки з електрошпинделем (рис. 10.17, б), що дає змогу обробляти одночасно за п'ятьма координатами.



а



б

Рис. 10.17. Компонування верстата моделі 1100LINEAR (а) та приклад п'ятикоординатного оброблення монолітної панелі з плити (б)

Верстат оснащено системою контролю геометричних параметрів деталі та зношування інструменту фірми Renishaw (Німеччина), магазином інструменту на 12 позицій, вакуумним столом. Шпиндель має два напрями обертання, частота обертання регулюється від 3000 до 30000 1/хв. Спеціальна система сервоприводу враховує вимоги до динаміки такого типу верстатів та реалізує прискорення до 10 м/с².

10.4.1. Спеціальні фрези для високошвидкісного оброблення

При високошвидкісному обробленні (ВШО) заготовок із алюмінієвих сплавів найчастіше використовують спеціально створені фрези з механічним кріпленням БРП з твердого сплаву (рис. 10.18, а). Фрези виготовляють за класом дисбалансу G 2,5 або G 6,3. Такі фрези (часто звані «кукурудзяними») дають змогу значно підвищити продуктивність фрезерних операцій.



а



б

Рис. 10.18. Збірні кінцеві фрези з механічним кріпленням БРП

При налипанні стружки на різальну поверхню фрези, обумовленому особливими властивостями алюмінієвих сплавів, під час різання можливе виникнення закритичного дисбалансу різального інструменту. Особливо небезпечним є пакетування стружки при обробленні глибоких карманів у монолітних панелях сучасних літаків.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є зниження коефіцієнта тертя поверхонь робочої частини різального інструменту. Нові можливості в галузі оброблення авіаційних матеріалів обертним різальним інструментом відкривають останні досягнення науки і практики в галузі плазмового нанесення зносостійких плівок методом нанотехнологій. Нове надтверде покриття кінцевих фрез твердістю 100 GPa значно підвищує надійність при ВШО алюмінієвих деталей (рис. 10.18, б).

Крім твердості, близької до твердості природного алмазу, це покриття завдяки низькому коефіцієнту тертя унеможливорює налипання стружки на робочу частину фрези та пакетування стружки, що гарантує високу надійність процесу ВШО.

10.5. Позичіонування панелей під час виготовлення

Монолітні та пресовані панелі незалежно від конфігурації внутрішнього силового набору після формоутворення мають загальні вимоги за точністю. Допуск на відхилення обводу полотна панелей після формоутворення становить від 0,3 до 0,8 мм на 1000 мм довжини.

Компанія MTORRES (Іспанія) є розробником і виробником принципово нової переналагоджуваної технологічної оснастки для механічного оброблення металевих або композитних панелей після формоутворення. Панелі базують та закріплюють на позиціонерах моделі FESTO DNCE із висувними актуаторами штокового типу і сферичними опорами та вакуумними манжетами-присосами (рис. 10.19).



а



б



в



г

Рис. 10.19. Позичіонування панелей на висувних штоках: а – загальний вигляд розташування секцій з позиціонерами на столі портального фрезерного верстата; б, в – при робочому положенні; г – на етапі підготовки базування та закріплення панелі

Функціональним елементом автоматизованого позиціонування за висотою кожного актуатора є комп'ютерна модель об'єкта базування. Оператор верстата із ЧПК за допомогою спеціального пульта дає команду на послідовне висунення конкретних позиціонерів у необхідне за висотою положення. Актуатори мають різне виконання за діаметром та довжиною ходу штока, блочно-секційна конструкція забезпечує широкі технологічні можливості такої переналагоджуваної технологічної оснастки.

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 особливості сучасних верстатів для оброблення панелей.
12. Які технічні й технологічні проблеми виникають під час реалізації процесів високошвидкісного оброблення?
13. Назвіть основні можливості інтегрованих комп'ютерних CAD/CAM-систем.
14. Які функції виконують процесор і постпроцесор під час створення КП оброблення?
15. Що забезпечує позиціонування панелей на висувних штоках під час виготовлення?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

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

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

Богуслаєв, В. О. Основи технології машинобудування : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / В. О. Богуслаєв, В. І. Ципак, В. К. Яценко. – Запоріжжя : Мотор Січ, 2003. – 336 с.

Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування : підручник / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

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

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

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

ДСТУ 2298–93. Верстати металорізальні. Терміни та визначення. – Введ. 01.01.95. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 32 с.

ДСТУ 2391–94. Система технологічної документації. Терміни та визначення. – Введ. 22.10.94. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 47 с.

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

Кривцов, В. С. Інженерні основи функціонування і загальна будова аерокосмічної техніки / В. С. Кривцов, Я. С. Карпов, М. М. Федотов. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2002. – 486 с.

Новіков, Ф. В. Інноваційні рішення та технології металообробного виробництва : монографія / Ф. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх, Д. Ф. Новіков. – Дніпро : ЛІРА, 2023. – 342 с.

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

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

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

Технологія виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску : підручник. Ч. 1 / Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський, І. О. Воронько та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 232 с.

Чумак, М. Г. Матеріали та технологія машинобудування : підручник / М. Г. Чумак. – Київ : Либідь, 2012. – 368 с.

Baker, A. A. Composite Materials for Aircraft Structures / A. A. Baker. – Eurospan, 2004. – 400 p.

Campbell, F. C. Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials / F. C. Campbell. – 1st ed. // Elsevier Ltd., Printed in Great Britain. – 2016. – 600 p.

Davim, J. P. Machining Fundamentals and Recent Advances / J. P. Davim. – London : Springer-Verlag, 2008. – 361 p.

Fundamentals of CNC Machining. Desk Copy. A Practical Guide for Beginners / Autodesk, Inc., printed in USA. – 2014. – 256 p.

Groover, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems / P. Mikell Groover. – 4th ed. // John Wiley & Sons, Inc., printed in USA. – 2010. – 1014 p.

Henriksen, Erik Karl, M.Sc. Jig and Fixture Design Manual / Erik Karl, M.Sc. Henriksen // Industrial Press Inc., New York, N.Y., printed in USA. – 2014. – 312 p.

Hoffman, Edward G. Jig and Fixture Design / Edward G. Hoffman. – 5th ed. // Delmar, Cengage Learning, printed in USA. – 2004. – 369 p.

Joshi, P.H. Jigs and Fixtures Design Manual / P.H. Joshi. – 2nd ed. // McGraw-Hill Companies, Inc., printed in USA. – 2013. – 237 p.

Technology of aircraft production with implementation of composite materials : study book / S. A. Bychkov, O. V. Gaidachuk, V. Ye. Gaidachuk et al. – Kyiv : ISDO, 2005. – 376 p.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. СУЧАСНІ МЕТОДИ КООРДИНАТНИХ ВИМІРЮВАНЬ В АВІА-ТА РАКЕТОБУДУВАННІ	4
1.1. Геометричні параметри деталей.....	4
1.1.1. Відхилення й допуски форми.....	4
1.1.2. Відхилення й допуски розташування поверхонь	5
1.2. Координатне вимірювання заготовок і деталей.....	6
1.2.1. Основні терміни в галузі координатних вимірювань	6
1.2.2. Координатне вимірювання на верстатах із ЧПК.....	7
1.3. Компонування стаціонарних КВМ.....	8
1.3.1. Портальне комплектування КВМ	9
1.3.2. Мостове комплектування КВМ.....	10
1.4. Компонування мобільних КВМ.....	13
1.5. Програмне забезпечення координатних вимірювань	15
1.6. Координатні вимірювання лазерним трекером.....	17
1.6.1. Технічні характеристики лазерних трекерів.....	18
2. ФРЕЗЕРНІ ТА БАГАТООПЕРАЦІЙНІ ВЕРСТАТИ З ЧПК.....	22
2.1. Фрезерні верстати з ЧПК	22
2.1.1. Вертикально-фрезерні верстати з ЧПК.....	24
2.1.2. Портально-фрезерні верстати з ЧПК	25
2.1.3. Розкрійно-фрезерні верстати з ЧПК.....	27
2.1.4. Особливості застосування кінцевих фрез	28
2.2. Трикоординатне об'ємне фрезерування	29
2.3. П'ятикоординатне об'ємне фрезерування	31
2.4. Багатоопераційні верстати з ЧПК.....	33
2.5. Модернізація верстатів і систем ЧПК.....	36
3. КОМПОНУВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК І ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОЇ ЗМІНИ ІНСТРУМЕНТА.....	39
3.1. Компонування багатоопераційних верстатів з ЧПК.....	39
3.2. Пристрої автоматичної зміни інструменту	42
3.2.1. Класифікація пристроїв АЗІ	42
3.3. Компонування пристроїв АЗІ	45
4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИДАЛЕННЯ СТРУЖКИ	50
4.1. Типи стружок при різанні металів	51
4.2. Технологічні методи дроблення стружки	52
5. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОНОЛІТНИХ ПАНЕЛЕЙ З ПЛИТ	55
5.1. Технологічні варіанти виробництва монолітних панелей з плит.....	56
5.2. Переваги та недоліки застосування монолітних панелей з плит.....	58
5.3. Конструктивні особливості монолітних панелей з плит.....	59

5.4. Технологія виготовлення монолітних панелей із плит	62
5.5. Технологічність монолітних панелей з плит	66
6. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРЕСУВАНИХ ПАНЕЛЕЙ	69
6.1. Конструктивні особливості монолітних пресованих панелей.....	69
6.2. Технологічність монолітних пресованих панелей.....	72
6.3. Технологія виготовлення монолітних пресованих панелей	74
6.4. Пристрій корекції шаблеподібності пресованих стрингерів	77
6.5. Вакуумний пристрій для кріплення заготовок панелей	72
7. ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАНЕРА ЛА.....	81
7.1. Виготовлення деталей каркаса ліхтаря кабіни літака	83
7.2. Виготовлення деталей каркаса дверей та люків	86
7.2.1. Вилкові стики каркаса дверей та люків	88
7.3. Виготовлення петльових шомпольних з'єднань стикових вузлів	89
7.4. Оброблення силових шпангоутів фюзеляжу літака.....	91
7.5. Оброблення деталей механізації крила літака.....	94
7.5.1. Оброблення рейок передкрилків та закрилків	95
7.5.2. П'ятикоординатне оброблення деталей каркаса крила	96
8. ОБРОБЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	98
8.1. Класифікація конструкційних пластмас.....	98
8.2. Особливості процесу різання КМ.....	101
8.2.1. Розрізання листових заготовок із КМ	102
8.2.2. Токарне оброблення заготовок із КМ	102
8.3. Оброблення отворів у заготовках із КМ	103
8.3.1. Оброблення отворів в армованих КМ	106
8.3.2. Свердлильні машини з автоматичною подачею	108
8.4. Оброблення виробів із КМ фрезеруванням	109
8.5. Видалення стружки й пилу із зони різання КМ.....	111
9. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШАСІ ЛІТАКА	113
9.1. Конструктивні особливості шасі літаків	114
9.2. Технологічні особливості оброблення титанових заготовок шасі	116
9.3. Свердління глибоких отворів у заготовках деталей шасі.....	120
9.4. Багатоверстатна обробка заготовок шасі літака	123
9.5. Шліфування заготовок деталей шасі літака.....	129
9.6. Одноверстатна багатоопераційна обробка заготовок шасі	132
9.7. Контроль виготовлення деталей шасі літака	136
9.8. Технологія монтажу сферичних підшипників ковзання	139
10. ОСНОВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБЛЕННЯ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ	149
10.1. Удосконалення інструментальних матеріалів.....	149
10.1.1. Удосконалення конструкції інструментів.....	152

10.1.2. Методи підвищення стійкості інструментів	154
10.2. Комп'ютерні інтегровані технології виробництва	157
10.2.1 Етапи створення КП оброблення	159
10.2.2. Візуалізація послідовності процесу оброблення	162
10.3. Метод високошвидкісного фрезерування	162
10.4. Особливості сучасних верстатів для оброблення панелей	166
10.4.1. Спеціальні фрези для високошвидкісного оброблення	169
10.5. Позичування панелей під час виготовлення	170
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	172

Навчальне видання

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

**ТЕХНОЛОГІЯ, УСТАТКУВАННЯ І ОСНАЩЕННЯ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ
АПАРАТІВ З ВИДАЛЕННЯМ ПРИПУСКУ**

Редактор Н. М. Сікульська

Зв. план, 2024

Підписано до видання 27.06.2024

Ум. друк. арк. 9,8. Обл.-вид. арк. 11,06. Електронний ресурс

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

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