

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

В.Г. Данченко, Ю.В. Дяченко, В.В. Воронько

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ
АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

Навчальний посібник для студентів
факультету заочного навчання

Харків "ХАІ" 2005

УДК 629.7: 621.73.01; 621.9.014

Технологія виробництва деталей авіаційно-космічної техніки / В.Г. Данченко, Ю.В. Дяченко, В.В. Воронько. – Навч. посібник для студентів факультету заочного навчання. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2005. – 100 с.

Викладено основні питання виробництва деталей авіаційно-космічної техніки (АКТ) з листових, профільних, трубних і монолітних заготовок. Наведено загальні визначення, описано суть класичних і прогресивних технологічних процесів виготовлення деталей методами металів тиском, які використовуються в заготівельно-штампувальному виробництві. Коротко розглянуто спеціальні способи штампування деталей АКТ, а також їх виготовлення з неметалічних матеріалів.

Проаналізовано технологічні особливості характерних процесів розмірної обробки монолітних заготовок з видаленням припуску – точіння, фрезерування, свердління, електрофізичні методи.

Висвітлено питання базування заготовок, структури спеціальних і універсально-складальних верстатних пристроїв.

Подано рекомендації щодо проектування технологічних процесів обробки різанням, а також вибору верстатного устаткування.

Описано основні напрямки вдосконалювання обробки різанням в авіабудуванні, у тому числі композиційних матеріалів, титанових, жароміцних і високоміцних сплавів.

Для студентів заочної та дистанційної форм навчання всіх спеціальностей, що вивчають технологію виробництва деталей авіаційно-космічної техніки.

Бібліогр.: 64 назви

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. В.Г. Чистяк,
канд. техн. наук С.А. Арасланов

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2005 р.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АКТ – авіційно-космічна техніка
ВП – верстатний пристрій
ВР – вибухові речовини
ЕІ – електрод-інструмент
ЕРО – електроерозійна обробка
ЕХО – електрохімічна обробка
ЕХП – електрохімічна обробка у проточному електроліті
ЕХС – електрохімічна обробка у стаціонарному електроліті
ЄСКК – єдина система класифікацій і кодування
ЗШВ – заготівельно-штампувальне виробництво
ЗШР – заготівельно-штампувальні роботи
ІО – інструментальні отвори
КВМ – коефіцієнт використання матеріалу
ККВМ – контрольна координатно-вимірювальна машина
КЗЛ – копіювальний згинальний-листовий
ЛЗВ – листовий згинальний верстат
МЕП – міжелектродний простір
МОР – мастильно-охолоджувальна рідина
МОТС – мастильно-охолодне технологічне середовище
НПФ – надпластичне формування
СВП – спеціальний верстатний пристрій
ТП – технологічний процес
УЗП – універсально-складальний пристрій
ЧПК – числове програмне керування
ШВК – шаблон внутрішнього контуру
ШГР – шаблон групового розкрою

ВСТУП

Особливості соціального та економічного розвитку України на сучасному етапі істотно впливають на стан і розвиток усіх галузей економіки, зокрема, на таку динамічну і наукоємну галузь, як створення авіаційно-космічної техніки. Ці обставини та жорсткі вимоги до використання ресурсів усіх видів змінюють традиційні принципи та методологічні основи проектування та розробки конкретних технологій виробництва АКТ.

Об'єктами вивчення дисципліни "Технологія виробництва деталей авіаційно-космічної техніки" є:

– технологічні процеси сучасних способів виробництва деталей з листових матеріалів, профілів, труб роздільними та формозмінювальними операціями, а також спеціальні способи формування деталей, напрямки інтенсифікації існуючих технологічних процесів (ТП);

– сучасні методи та засоби технологічного оснащення для виготовлення монолітних деталей авіаційно-космічної техніки розмірною обробкою різанням з видаленням припуску.

Предмет вивчення дисципліни:

– сучасні прогресивні ТП виготовлення деталей з листа, профілів, труб методами обробки металів тиском заготівельно-штампувальних робіт;

– фізичні, механічні та технологічні особливості роздільних і формозмінювальних операцій при виробництві деталей з листових, профільних, трубних заготовок для деталей АКТ;

– сучасні та перспективні технології виготовлення деталей АКТ з монолітних заготовок і напівфабрикатів з видаленням припуску щодо умов цехів механічної обробки авіаційно-космічного виробництва, засоби технологічного оснащення для реалізації розглядуваних технологій.

Мета вивчення матеріалу, що викладається в даному курсі, є:

– надати знання про суть ТП виготовлення деталей з листа, профілів, труб методами обробки металів тиском та навички розрахунку основних енергосилових параметрів цих процесів;

– навчити методам раціонального проектування ТП та штампової оснастки, ознайомити з сучасними прогресивними технологіями заготівельно-штампувальних робіт (ЗШР) при виробництві деталей АКТ і підготувати студентів до подальшого вивчення других розділів дисципліни;

– освоєння основних знань про технологічні особливості типових та перспективних засобів виготовлення широкої номенклатури монолітних деталей АКТ з видаленням припуску;

– навчити засобам та прийомам раціонального проектування технологій та засобів технологічного оснащення;

– надати знання про методiku аналізу вихідних даних і проектування ТП обробки деталей на верстатах із ЧПК.

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ З ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ АКТ

Технологія виробництва АКТ є областю технології машинобудування про суть процесів виробництва та про взаємний зв'язок цих процесів і закономірностей їхнього розвитку. Предметом дисципліни «Технологія виробництва АКТ» є численні та різноманітні процеси виготовлення деталей, складальних, монтажних та випробувальних робіт окремих одиниць та усього виробу АКТ у цілому, а також технологічна підготовка виробництва.

Основні визначення [8; 9; 13; 14; 23; 28; 33; 60]

Виробничий процес – уся сума взаємозалежних трудових процесів, необхідних для одержання готової деталі або виробу АКТ. В технології виробництва деталей основним об'єктом (одиницею) є **деталь**. Під деталлю розуміють первинний елемент АКТ, який являє собою моноліт і далі не може розділятися. Виробничий процес містить два види процесів – технологічні (основні) та допоміжні [23,с.5-7; 60,с.9-13].

Технологічний процес (ТП) – основна складова частина виробничого процесу, в результаті якого матеріал або напівфабрикат змінюють свої форми, розміри або хімічний склад на шляху перетворення в готовий виріб.

Допоміжний процес безпосередньо не містить операції виготовлення виробу, а тільки забезпечує здійснення цих операцій (ремонт устаткування, оснащення, забезпечення енергоносіями та ін.) і переходів.

ТП процеси поділяються на такі елементи: операції, переходи, робочі ходи, прийоми, рухи, установи, позиції [9; 13; 14, 60].

Операція – завершена частина ТП, яка виконується на одному робочому місці. Операція починається з моменту установлення заготовки на верстат, містить усю наступну її обробку і зняття деталі з верстата.

Технологічний перехід – завершена частина операції, пов'язана з незмінністю оброблюваної поверхні, інструменту та режимів різання.

Допоміжний перехід – завершена частина операції, необхідна для виконання переходу без зміни форми, розмірів і шорсткості поверхні (наприклад, установлення заготовки, зміна інструменту та ін.).

Основний хід – завершена частина переходу, що складається з одноразового переміщення інструменту відносно заготовки зі зняттям припуску.

Допоміжний хід – завершена частина переходу, що складається з одноразового переміщення інструменту для підготовки основного ходу.

Установ – частина операції, що виконується при незмінному положенні деталі відносно обробного інструменту, яке забезпечується

затискачем (закріпленням заготовки).

Позиція – частина операції, що виконується при незмінному положенні оброблюваної поверхні відносно обробного інструменту, яке забезпечується спеціальним пристроєм (позиціонером) при одному закріпленні деталі.

Напівфабрикат – предмет праці, що потребує додаткової обробки в умовах споживача.

Заготовка – предмет праці, з якого зміною форми, розмірів, точності, шорсткості або властивостей матеріалу одержують деталь.

Специфічні особливості АКТ як об'єкта виробництва [8; 23; 33; 59; 60]

Виробничий процес створення АКТ відрізняється від процесу в загальному машинобудуванні. Це обумовлено в першу чергу конструктивно-технологічними особливостями авіаційно-космічної техніки і як результат виробу АКТ мають ряд специфічних особливостей [28, с.3; 33, с.11-13; 60, с. 5-8]:

1. Велика номенклатура і багатодетальність АКТ.
2. Велика номенклатура використовуваних матеріалів.
3. Складність просторових форм, великі розміри і висока точність обвідноутворюваних поверхонь деталей; мала жорсткість більшості елементів конструкції.
4. Велика трудомісткість монтажно-складальних, регулювальних і випробувальних робіт.
5. Високі вимоги до експлуатаційної надійності деталей і всього виробу в цілому.

Технологічність конструкцій АКТ [34; 59; 60; 35; 55]

Відповідність сукупності конструктивних характеристик виробу, закладених у його проекті, вимогам виробництва називають *технологічність конструкції* виробу [35, с.17-25; 55, с. 12-22; 60, с. 502-503]. Технологічність конструкції є важливою характеристикою досконалості виробів, тому що вона значною мірою визначає рівень техніко-економічних показників виробництва. Відомі випадки, коли підвищення технологічності конструкції дозволило в кілька разів знизити собівартість виробу. Тому створення високотехнологічних конструкцій являє собою одну з важливих задач, розв'язуваних конструкторами при проектуванні виробів і деталей [34, с. 26-28; 55, с. 51-54].

Основний принцип забезпечення високої технологічності конструкцій полягає в тому, що конструкція розробляється з використанням при її виготовленні процесів обробки і складання, найбільш раціональних при очікуваному масштабі випуску даного виробу.

Технологічність конструкції – умовна характеристика досконалості виробу. Вона набуває визначеності лише стосовно до конкретних умов виробництва. Наприклад, технологічність однієї і тієї ж конструк-

ції звичайно дуже відрізняється у дрібносерійному і великосерійному виробництві. Тому і конструкція, добре пристосована для виготовлення її з застосуванням процесів, характерних для дрібносерійного виробництва, є високотехнологічною лише при дрібносерійному виготовленні. При освоєнні у великосерійному виробництві та ж конструкція може виявитися досить нетехнологічною. Навпаки, конструкція, орієнтована на застосування технологічних процесів великосерійного виробництва, може виявитися технологічною лише при масовому її виготовленні; при виготовленні дрібними серіями вона може виявитися нетехнологічною [60, с. 502].

Загальні технологічні вимоги до конструкцій [28; 34; 55; 60]

Існують найважливіші технологічні вимоги до конструкцій АКТ, виконання яких сприяє забезпеченню технологічності конструкції незалежно від масштабу виробництва [34, с. 28-71; 60, с. 503-504].

Простота форм частин АКТ. У загальному випадку обробка лінійчастих (плоских, циліндричних, конічних) поверхонь простіша, ніж обробка поверхонь подвійної кривизни. Тому бажано максимальне використання в конструкції лінійчастих поверхонь.

Раціональне членування конструкції на елементи. Конструкція має бути розчленована на агрегати, вузли і деталі таким чином, щоб при виготовленні та складанні всіх її елементів можна було широко використовувати наявні засоби механізації технологічних і допоміжних процесів і забезпечити зручність виконання ручних робіт [28, с. 4-5; 55, с. 28-31, 48-51].

Максимальне використання в конструкції легкооброблюваних матеріалів.

Відсутність надмірно високих вимог до точності розмірів, форми, розташування і чистоти обробки поверхонь елементів конструкції.

Можливо більш широке застосування в конструкції нормалізованих і стандартних деталей і вузлів. Звідси – стабільніша якість і нижча собівартість стандартних і нормалізованих вузлів і деталей.

Можливо велика уніфікація елементів конструкцій, що приводить до збільшення повторюваності окремих елементів у конструкції і, отже, до збільшення масштабу виробництва цих елементів при незмінному масштабі випуску складених виробів.

Можливо велика наступність конструкцій, тобто можливо більш широке використання в конструкціях окремих елементів раніше створених, освоєних у серійному виробництві і перевірених в експлуатації виробів.

Існують також і специфічні вимоги одиничного, дрібносерійного і великосерійного виробництва. Для ТП одиничного і дрібносерійного виробництва характерне досить обмежене застосування спеціальних машин, інструментів і пристроїв. Ці спеціальні технологічні засоби за-

стосовуються лише в тих випадках, коли без них не може бути забезпечена висока якість виробів. Тому специфічною вимогою до конструкцій, призначених для одиничного і дрібносерійного випуску, є зручність їхнього виготовлення універсальними технологічними засобами, наприклад, віддавати перевагу деталям, які одержують механічною обробкою з прутка, профілю або труби, а не з точного виливка або штамповки. Особливістю технологічних процесів великосерійного виробництва є високий рівень оснащення їх високопродуктивними спеціальними машинами, інструментами, пристроями, автоматичними пристроями і системами.

Економічна оцінка ефективності виготовлення деталей і виробу [23; 46; 55; 60; 63; 64]

Деталі, а також виріб можна виготовити за декількома варіантами ТП, що розрізняються між собою застосуванням устаткуванням, пристроями й інструментом. Оскільки за цими варіантами задовольняється необхідна вимога забезпечення заданої якості виробу, то технолог може вибрати той або інший варіант обробки та складання, а також застосовуване устаткування і технологічне оснащення. Задачею технолога є вибір такого варіанта процесу, який дозволяв би виготовляти виріб АКТ, мав задовольняти вимоги креслення і технічних умов, але був би найбільш економічним і раціональним у виробництві.

Для оцінки економічної ефективності ТП звичайно використовують такі показники: продуктивність праці, собівартість продукції й ефективність капіталовкладень [60, с. 53; 46, с. 8-13].

Продуктивність праці характеризує витрати живої праці на виготовлення одиниці продукції.

Собівартість продукції відбиває сумарні витрати живої й упередметненої праці і є більш повним показником економічності ТП виготовлення деталей і всього виробу [46, с. 42-62].

Ефективність капіталовкладень характеризує економічну ефективність використання дорогого устаткування або інструменту в умовах обмежених фондів, що виділяють на відновлення і поліпшення виробничої техніки.

Продуктивність праці визначається кількістю споживчої вартості, створеної одним робітником в одиницю часу. Значна роль у підвищенні продуктивності праці належить конструкторові й технологіві. Створення високотехнологічних конструкцій АКТ сприяє підвищенню продуктивності праці за рахунок підвищення споживчої вартості та зниження трудомісткості. Технолог має проектувати такі технологічні процеси, при яких час, затрачуваний на виготовлення виробу, був би мінімальним для даних умов. Структура складових часу, який витрачається на виготовлення АКТ, різноманітна і аналогічна структурі машинобудівної галузі [60, с. 53-56; 67-69]. Відзначимо основні поняття часу.

Технічна норма часу – тривалість часу, необхідного для виконання операції в умовах, передбачених для неї.

Штучно-калькуляційний час визначає тривалість виконання операції з виготовлення однієї деталі з урахуванням витрат підготовчо-заключного часу. Загальний час, який витрачається на виготовлення виробу, складається з окремих складових часу на виконання операцій, що складають технологічний процес. Час на виконання операції з обробки однієї деталі (або складання однієї складальної одиниці) називається штучним.

Основний час – час, що витрачується на безпосередню обробку предмета праці, тобто на зміну його форми, розмірів, фізико-хімічних властивостей тощо за допомогою обладнання.

Допоміжний час – час, витрачуваний на створення умов для виконання основної роботи і повторюваний з кожним предметом праці або через певну їх кількість. У допоміжний час входить час на установлення і зняття деталі, на зміну режиму роботи устаткування, підведення і відведення інструменту, заміну інструменту в процесі виконання операції, на вимір деталі в процесі її обробки, виконуваний виробничим робітником. Основний і допоміжний час складає разом оперативний час.

Час обслуговування робочого місця – час, витрачуваний на догляд робочого місця протягом усієї зміни. У штучний час входить його частка, що витрачається на одиницю продукції. Час обслуговування робочого місця розділяється на час організаційного і технічного обслуговування.

Час перерв на відпочинок і особисті потреби. У штучний час включається частка цього часу, що приходить на одиницю продукції.

Підготовчо-заключний час, затрачуваний робітником на підготовчі дії перед початком обробки, а також на завершальні дії після обробки партії деталей. Сюди входить час на ознайомлення робітника з кресленням і ТП, одержання інструктажу від майстра, документації, інструменту, пристроїв і заготовок, на установлення і настроювання інструменту і пристроїв, якщо вони виконуються самим робітником, настроювання устаткування на задані режими, а також зняття інструменту і пристроїв і здачу роботи контролерові.

Час на партію виробів і штучно-калькуляційний час. Час для виконання однієї операції при виготовленні партії виробів складається зі штучного часу виробів, що входять у партію, і підготовчо-заключного часу.

Собівартість продукції являє собою спільні витрати живої й упредметненої праці. Як відомо, собівартість являє собою грошовий вираз витрат підприємства на виробництво одиниці продукції. До неї входять матеріальні витрати виробництва, зарплата виробничих робітників і накладні витрати.

Технологічна собівартість – частина собівартості, яка містить

витрати, що можуть істотно змінюватися зі зміною ТП [47, с. 469-473; 60, с. 61-65; 46, с. 47-62]. Технологічна собівартість містить складові частини, які розглянемо нижче.

Витрати на експлуатацію устаткування складаються з витрат на ремонт і модернізацію, а також витрат на енергію.

Витрати на амортизацію устаткування виникають унаслідок фізичного та морального його спрацювання в процесі роботи. Економічне відшкодування на спрацювання устаткування відбувається шляхом поступового перенесення його вартості на кожну одиницю виробленої продукції і називається *амортизацією* устаткування.

Витрати на пристрій залежать від їх типу. Витрати на універсальний пристрій містять ціну купованого пристрою (або собівартість пристроїв власного виробництва) і витрати на ремонт. Ці витрати рівномірно розподіляються на весь період перебування пристрою в експлуатації. Частка їх, що приходить на кожну виготовлену з їхньою допомогою заготовку, залежить від часу, протягом якого пристрій використовується для виготовлення даної деталі.

Витрати на різальний інструмент містять витрати на виготовлення або придбання інструменту, а також на його заточення. Для абразивного інструменту витрати на переточування враховувати не потрібно, тому що час виправлення шліфувального круга враховано у формулі штучного часу.

Основним шляхом зниження собівартості продукції є підвищення продуктивності праці. Зі зростанням продуктивності праці знижуються витрати на зарплату. Крім того, якщо підвищення продуктивності праці досягнуто на базі використання існуючого устаткування й оснащення, зменшуються всі складові технологічної собівартості (крім витрат на матеріали та інструмент) за рахунок зниження часу обробки. Відзначимо технологічні поняття у сфері зниження собівартості [60, с. 56-60].

Зниження витрат на заготовки. Витрати на заготовки складають найбільш значну частину собівартості продукції, що досягає в ряді випадків від 25 до 70% вартості готового виробу. Основним засобом зниження витрат на заготовки є зниження маси заготовок, тобто максимальне наближення їхньої маси до маси готових деталей. Маса заготовок знижується застосуванням для їхнього виготовлення таких прогресивних процесів, як пресування, холодне висадження, гаряче штампування і спеціальні види лиття. Для листових деталей застосовують економний розподіл матеріалу.

Зниження витрат на енергію. Витрати на енергію знижують, зменшуючи її витрати на одиницю продукції і знижуючи вартість одиниці енергії.

Зниження витрат на амортизацію устаткування. Ускладнення сучасного устаткування, пов'язане з підвищенням продуктивності, підвищує його вартість. При правильному використанні устаткування це зростання перекривається зниженням собівартості від підвищення

продуктивності праці.

Зниження витрат на пристрої. Значну частку в собівартості продукції складають витрати на пристрої. Істотного зниження витрат на них і прискорення їхнього виготовлення досягають шляхом їх складання зі стандартних високоточних та зносостійких елементів комплекту УЗП, а також введенням у конструкцію пристрою універсальних елементів.

Зниження витрат на інструмент. При виборі універсального інструменту не можна орієнтуватися тільки на мінімальні витрати на інструмент, оскільки застосування більш дешевого, але малостійкого інструменту подовжує час обробки і збільшує інші складові технологічної собівартості. Звичайно для обробки вибирають такий інструмент, що цілком завантажує верстат щодо потужності. Витрати на різальний інструмент містять витрати на виготовлення або придбання інструменту, а також на його заточення.

Розглянуті економічні показники ТП (продуктивність праці, собівартість продукції й ефективність капіталовкладень) не є єдиними критеріями вибору того або іншого процесу. В окремих випадках головну роль можуть відігравати й інші критерії. Тому при підготовці виробництва АКТ виконують порівняльний аналіз декількох варіантів ТП виготовлення за економічними показниками з використанням також інших критеріїв.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАГОТІВЕЛЬНО-ШТАМПУВАЛЬНИХ РОБІТ У ВИРОБНИЦТВІ ДЕТАЛЕЙ АКТ [8; 23; 34, 47; 49; 60]

1.1. Загальна характеристика та особливості заготівельно-штампувальних робіт [8, с. 56; 49, с. 49; 60, с. 7]

Заготівельно-штампувальні роботи (ЗШР) займають одне з ведучих місць у загальному виробничому процесі виготовлення деталей АКТ. До цих робіт відносяться такі види обробки матеріалів тиском, що застосовують для виготовлення заготовок і деталей з листа, профілів і труб. Задані форми і розміри деталей одержують шляхом формозмінування заготовки внаслідок її холодного пластичного деформування. Метод виготовлення заготовок і деталей холодним штампуванням є найбільш прогресивним унаслідок високої продуктивності праці, раціонального використання вихідного матеріалу, досить високої точності відтворення необхідних розмірів і форми деталей, можливості механізації й автоматизації ТП. Порівняно з іншими технологічними операціями холодним штампуванням можна виготовляти деталі більш міцні, які мають невелику вагу.

У заготівельно-штампувальних цехах виготовляють деталі внутрішнього каркаса і зовнішні обшивки різних агрегатів АКТ [49, с. 49-51].

Загальна класифікація деталей за конструктивно-технологічними ознаками містить основні, найбільш поширені типи представників в конструкції АКТ.

До першого класу відносяться деталі типу обшивок, які мають великі розміри та ускладнену кривизну поверхні. Поверхня обшивок має бути високої якості, тому що контактує з середовищем і значно впливає на аеродинамічні показники. Великі габаритні розміри цих деталей потребують особливого обладнання, яке є великогабаритним і дорогим. Невелика кількість обшивок у складі АКТ до 1% робить їх виготовлення занадто дорогим процесом.

До другого класу відноситься велика кількість деталей, які складають деталі каркаса з листових матеріалів. Їх загальною характеристикою є наявність стінки, бортів і різних елементів, що підвищують жорсткість і сприяють зменшенню маси. Це нервюри, діафрагми, різні окантовки, шпангоути, що складають 40% від загальної кількості деталей.

До третього класу можна віднести деталі з пресованих профілів – стрингери, шпангоути, полки, стінки, косинки, пояси, дрібні з'єднувальні деталі, обсяг яких може досягати 50%.

Деталі з трубних заготовок відносяться до четвертого класу і їхній обсяг складає 5...7%. До цих деталей ставлять підвищені вимоги щодо надійності, ресурсу й інших параметрів.

П'ятий клас складають деталі, що застосовуються в устаткуванні – це різні корпуси, кришки й інші кількістю до 5%. Самий невеликий клас деталей (до 1%) приходить на елементи в інтер'єрі АКТ.

Трудомісткість ЗШР складає 10...15% від загальної трудомісткості виготовлення усього виробу АКТ [8, с. 6; 23, с. 7]. Деталі АКТ, які виготовляються в заготівельно-штампувальних цехах, складають 70...75% від загальної їх кількості. Масштаби ЗШР можна оцінити кількістю технологічного оснащення і трудомісткістю її виготовлення. Більш 60% усієї номенклатури технологічного оснащення звичайно складає заготівельно-штампувальне оснащення, кількість якого складає десятки тисяч штампів, шаблонів, пуансонів, матриць, формблоків та іншого оснащення.

Найскладніші конструкції сучасних АКТ висувають високі вимоги до виготовлення деталей у заготівельно-штампувальному виробництві (ЗШВ), наприклад, забезпечення можливості холодного пластичного деформування листових і профільних заготовок великих розмірів і складної форми при високих вимогах до точності і взаємозамінності; одержання деталей з високоміцних алюмінієвих сплавів, сплавів титану і спеціальних сталей з високими механічними властивостями і жароміцністю.

Неухильне удосконалювання характеристик АКТ потребує застосування нових матеріалів і розробки принципово нових процесів формоутворення деталей. Це ставить високі вимоги до якості деталей і обумовлює такі особливості їхнього виготовлення в заготівельно-

штампувальному виробництві:

- забезпечення взаємозамінності деталей, які виготовляються з листа і не мають достатньої жорсткості, що досягається спеціальними способами (плазово-шаблонним, еталонно-шаблонним та іншими, а не системою допусків і посадок, як у загальному машинобудуванні);

- застосування спрощених способів штампування в дрібносерійному виробництві: штампування еластичними середовищами; штампування на листоштампувальних молотах; штампування в умовах надпластичності; обтягання; гнуття з розтягом; штампування з використанням енергії вибуху та інші;

- застосування спеціальних способів штампування для високоміцних алюмінієвих, титанових, магнієвих і жароміцних сплавів;

- використання спеціальних способів виготовлення й обробки деталей з композиційних матеріалів, що мають задані властивості.

1.2. Основні технологічні операції [8, с. 8-9; 14; 23; 29, с. 7-10; 47, с. 6-8; 60]

Технологічні операції ЗШР можна згрупувати в дві основні групи: **роздільні та формозмінювальні**. До цих операцій також відносять операції механічної обробки фрезерування та свердління.

У групу роздільних операцій входять операції, суть яких є руйнування матеріалу і відділення однієї частини заготовки від іншої.

До **роздільних** операцій відносяться: вирубка деталей, пробивання отворів, обрізка, відрізка, надрізання заготовок. За допомогою роздільних операцій виготовляються усі вихідні заготовки для подальших операцій і готові плоскі деталі з листового матеріалу, а також прямолінійні заготовки з профілів і труб. Необхідно особливо відзначити, що виготовлення усіх деталей з листів, профілів і труб у початковій стадії починається з роздільних операцій.

Формозмінювальні операції передбачають формоутворення вихідної заготовки, наприклад перетворення плоскої заготовки у деталь просторової форми. При цьому зовнішні сили, що прикладаються до заготовки, спричиняють у металі напруги. Вони можуть перевищувати границі текучості, але не досягати напружень, які можуть зруйнувати цілісність матеріалу. Форма готової деталі зберігається після зняття зовнішніх сил унаслідок виникнення в заготовці пластичних деформацій. Формозмінювальні операції більш різноманітні, ніж роздільні, і до них відносяться: гнуття, витяжка, обтягання, обтиск, роздача, відбортовка, формування, підсікання, малковка, правка та інші. Ці операції дозволяють виготовляти просторові деталі. За допомогою роздільних і формозмінювальних операцій, застосовуваних послідовно або по черзі, можна виготовляти деталі найрізноманітніших форм і розмірів.

1.3. Застосовувані матеріали [2; 3; 4; 8, с. 36-47; 23, с. 79-82; 28, с. 26-46; 34, с. 84-116; 49, с. 11-22; 59, с. 18-22; 60, с. 151-160]

Матеріали, які застосовуються для деталей АКТ, розподіляють на метали та неметали. З точки зору застосовуваних матеріалів АКТ принципово відрізняється від інших машин. До матеріалів, з яких виготовляється АКТ, ставлять дуже високі вимоги щодо статичної міцності, корозійної стійкості, жароміцності, віброміцності, а також вимоги технологічного характеру - хороше деформування, зварюваність, оброблюваність різанням та ін. Вибір матеріалу значною мірою залежить також від його питомої міцності – відношення границі міцності до питомої ваги. Тому у виробництві АКТ застосовуються легкі і відносно міцні метали і сплави: сплави алюмінію, магнію, титану, а також спеціальні хромонікелеві сталі і сплави на основі нікелю. На заводи авіаційно-космічної галузі у ЗШВ поставляються напівфабрикати у вигляді, листів, профілів і труб [23, с. 80; 60, с. 153; 28, с. 26-46]. Листи виготовляються на металургійних заводах гарячою (товсті листи) і холодною (тонкі листи) прокаткою, профілі - пресуванням, труби – пресуванням і волочінням. Розміри листового, профільного і трубного напівфабрикату відповідають стандартам: товщина листа до 15 мм, ширина до 2000 мм і довжина 6000 мм і більше. Переріз профілів і труб стандартизовано, є також велика номенклатура спеціальних перерізів. При виробництві деталей АКТ широко застосовуваними є такі марки матеріалів [2, с. 36-43; 60, с. 151-160; 28, с. 26-46]:

алюмінієві сплави:

– дюралюмінієвий сплав Д16 - основою є алюміній, легований міддю (4%) і магнієм (1,5%), границя міцності 280...350 МПа;

– високоміцний сплав В95 – легований міддю (1,7%), цинком (6%) і магнієм (2,3%), границя міцності 400...450 МПа;

– сплав АМг6 – легований магнієм (6%), границя міцності 300...350 МПа, добре зварюється;

– сплав АМц – відноситься до алюмінієвомарганцевих сплавів (Mn 1,5%), границя міцності 100...150 МПа, високопластичний матеріал з хорошою корозійною стійкістю;

– сплав АК4-1 – складний за складом матеріал, легований міддю, магнієм, нікелем, залізом, титаном, границя міцності 400 МПа;

титанові сплави – використовують для виготовлення деталей, працюючих при високих температурах і в агресивних середовищах. Особливістю цих сплавів є те, що при високій міцності (800...1700 МПа) і невеликій щільності вони мають хорошу корозійну стійкість і підвищену жароміцність. До найбільш поширених марок титанових сплавів відносяться ВТ4, ОТ4, ВТ5, ВТ14, ВТ20, ВТ22;

магнієві сплави – застосовуються для елементів, які мають малу навантаженість у конструкціях АКТ. Ці сплави одержали широке застосування через свою високу питому міцність. Найбільш поширені марки МА1, МА8, леговані марганцем (2%) і церієм (0,25%). При нагрі-

ванні до 240...270 градусів сплави набувають хороших пластичних властивостей. Це дозволяє виготовляти з них складні деталі глибокою витяжкою, гнуттям та іншими формозмінювальними операціями;

сталі – поліпшена 30ХГСА, нержавіючі та хромонікелеві сплави Х18Н9Т, Х15Н9Ю, 06Х15Н6МВФБ;

жаростійкі сталі – використовують в АКТ як конструкційний матеріал для деталей, працюючих при температурі понад 500 градусів. У цій групі сталей широко застосовуються хромонікелеві сталі типу ЭИ654, СН, ВНС, які мають високу границю міцності (понад 600 МПа). Сталі добре зварюються і задовільно штампуються, однак незадовільно обробляються різанням;

тугоплавкі метали та сплави – на основі ніобію, молібдену, танталу;

металокераміка – у виробництві деталей АКТ деякі заготовки та деталі виготовляють з порошків різних металів і спеціальних керамічних матеріалів методами порошкової металургії. Для виготовлення металокерамічних виробів використовують порошки заліза, міді, олова, алюмінію, титану, нікелю, хрому, карбідів, нітридів та ін. Різноманітними способами металокераміки можна виготовляти матеріали із властивостями, які неможливо одержати звичайними металургійними способами;

полімерні матеріали – знаходять широке використання в АКТ, основними є пластмаси, волокна, каучуки та лакофарбові покриття. З них перше місце за масштабами застосування займають пластичні маси [28, с. 36-45] та їх типові представники:

- поліетилені – ПЕВТ-17703-010, ПЕНТ-20908-040 та інші;
- полівінілхлориди (ПХВ) – В-60М, В-80М;
- полістироли, фторопласти, поліаміди – ПА-610;
- поліформальдегіди – ПФ-Л-1; ПФ-Л-2;
- фенопласти – Е9-342-73 та натуральний каучук НК, СКД, СКН;

керамічні деталі – набувають особливого значення зі зростанням швидкості польоту АКТ і підвищенням високих температур. Перспективними є такі керамічні матеріали, як чисті оксиди та безкисневі сполуки металів - карбіди, бориди, нітриди. Найбільшого використання набули оксиди Al_2O_3 ; BeO , ZnO_2 , TiO_2 , які можуть працювати в окислювальному середовищі в інтервалі температур 1700...2600°C.

1.4. Технологічне устаткування та автоматизація ЗШР [8; 23; 45; 47; 56; 61]

Технологічне устаткування заготівельно-штампувальних цехів можна розділити на три основні групи: 1) механічні преси; 2) гідравлічні преси; 3) спеціалізоване устаткування. Механічні та гідравлічні преси підрозділяються також на універсальні і спеціалізовані.

У механічних пресах використовується кривошипно-шатунний механізм для перетворення обертального руху робочого вала в зво-

ротно-поступальний рух повзуна, на якому закріплюється інструмент для виконання різних операцій або кріпляться інструментальні штампи [8, с. 9-17; 45, с. 26-32; 61]. Обертальний рух робочого вала забезпечується електродвигуном за допомогою різних механічних передач. Штампи, які встановлюють на преси, а також робочий інструмент складаються з двох частин: верхньої і нижньої. Нижня частина закріплюється на столі преса і нерухома, а верхня — на повзуні, що виконує зворотно-поступальне переміщення з верхнього положення в нижнє та назад. При переміщенні повзуна униз виконується робочий хід, обидві частини штампа змикаються і здійснюються різні операції штампування: різання, гнуття, витяжки й інші. При підйомі повзуна в крайнє верхнє положення та його зупинці відштамповану деталь видаляють і встановлюють нову заготовку. На всіх механічних пресах, незалежно від конструкції робочих валів (кривошипних, ексцентрикових), здійснюється однакова кінематика і принцип перетворення обертального руху робочого вала в зворотно-поступальне переміщення повзуна. На багатьох пресах має бути маховик, енергія якого при обертанні накопичується і далі перетворюється для додаткового зусилля в процесі здійснення операцій. Механічні преси випускаються в різноманітних конструктивних виконаннях з номінальними зусиллями від 30 до 40000 кН і більше [45; 61].

Гідравлічні преси, в яких виконавчим органом є повзун, приводяться в рух тиском робочої рідини, що надходить у головний робочий циліндр преса та інші агрегати обладнання. Гідравлічні преси порівняно з механічними мають такі переваги [8, с. 17]:

- 1) незалежність зусилля, що розвивається пресом, від положення повзуна на всій довжині його ходу;
- 2) можливість одержати постійну швидкість повзуна і можливість регулювати її в широкому діапазоні;
- 3) плавність ходу повзуна, що дозволяє забезпечити статичний характер навантаження заготовки в процесі її деформування.

Конструктивно гідравлічний прес містить станину, що має форму скоби або рами, на якій встановлено головний робочий циліндр, допоміжні пристрої та системи забезпечення роботи. Технологічне зусилля, необхідне для процесу деформування заготовки, утворюється за допомогою гідравлічної рідини, яка тиснить на поверхню поршня головного робочого циліндра. Агрегат, що забезпечує необхідний тиск гідравлічної рідини в головному робочому циліндрі і в усій гідравлічній системі, називається насосною станцією. У головному робочому циліндрі переміщується плунжер під впливом тиску гідравлічної рідини, що надходить по трубопроводах через систему керування від насосної станції. Нижній кінець плунжера з'єднаний із траверсою, яка переміщується зверху вниз по напрямних колонах. На верхній траверсі розташовують одну половину штампа, а на нижній – іншу, яка може бути рухомим елементом або нерухожим столом. При ході верхньої траверси вниз заготовка деформується між двома частинами штампа. Після

закінчення процесу деформування траверса з плунжером повертається у верхнє положення за допомогою циліндрів або самим головним робочим циліндром подвійної дії. Повний робочий цикл роботи гідравлічного преса складається з холостого, робочого і зворотного ходів траверси. Холостим ходом є хід плунжера з крайнього верхнього положення вниз до зіткнення з заготовкою, робочим ходом – деформування заготовки й одержання готової деталі. Повернення плунжера у вихідне верхнє положення є зворотним ходом.

Спеціалізоване устаткування призначено для виконання близьких за своїм характером операцій або для виготовлення визначених груп складних деталей АКТ з листових, профільних і трубних заготовок (різні обшивки, шпангоути, нервюри, деталі з пресованих профілів) [8; 23; 30; 45; 56; 57; 60]. Так, для виготовлення деталей типу обшивок існують різні валкові верстати КГЛ, ГЛС [8, с. 118-121]. Обтягування обшивок подвійної кривизни здійснюється на пресах ОП, РО, ПКД [8, с. 160-170; 47, с. 265-267]. Гнуття-прокатка профілів виконується на роликкових верстатах ПГ [8, с. 127-131], а гнуття з розтягненням – на верстатах ПГР. Для виготовлення деталей методами штампування гумою використовують спеціальні гідравлічні преси ПШВР, П-307 [23, с. 246-247; 47, с. 254-263]. Виготовлення складних і великих за розмірами деталей АКТ з важкодеформівних матеріалів потребує великих енерговитрат. Для таких деталей застосовуються спеціалізовані установки для штампування вибухом [8, с. 265-291; 23, с. 216-227]. Крім того, при виготовленні деталей АКТ застосовується різне спеціальне довідне та допоміжне устаткування [7, с. 7; 23, с. 254-270].

Автоматизація ЗШР. Механізація й автоматизація різко підвищують продуктивність праці і знижують собівартість виробу, а також сприяють підвищенню культурно-технічного рівня виробництва. Автоматизація технологічних процесів сприяє одержанню стабільно високої якості виробів [8, с. 317-322; 60, с. 100-103].

Механізація – заміна ручної праці працею, здійснюваною за допомогою машин. У механізованому технологічному процесі необхідні дії з обробки заготовок або зі складання деталей виконуються машиною, безпосередньо керованою робітником. *Автоматизація* – заміна дій робітника з керування механізованим процесом діями спеціальних пристроїв. В автоматизованому процесі обробка або складання виконуються машиною самостійно. Автоматизація може бути частковою, коли автоматизовано окремі операції виробничого процесу, і комплексною, коли автоматизовано весь комплекс операцій.

Виробництво АКТ має ряд специфічних особливостей, що ускладнюють автоматизацію технологічних процесів. Великі габарити, складність конфігурації ряду деталей, що входять у конструкцію АКТ, а також високі вимоги щодо їх точності викликають необхідність використання дорогого устаткування з відносно складними системами автоматичного керування. Високі вимоги надійності і велика кількість складних систем устаткування збільшують обсяг контрольних робіт, автоматизація яких у ряді випадків являє собою значні труднощі.

2. РОЗПОДІЛ НАПІВФАБРИКАТІВ РІЗНИХ ФОРМ ПЕРЕРІЗУ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛОСКИХ ЗАГОТОВОК І ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТА [8; 14; 23; 29; 30; 45; 47; 49; 56; 59]

2.1. Загальна характеристика плоских деталей та їх класифікація [8, с. 6-9; 51-57; 54; 23, с. 83-84; 29, с. 304-305]

Роботи, що пов'язані з виконанням роздільних операцій називаються розкрійними. Вони є первісними і значно впливають на витрати і собівартість деталі. Їхній обсяг може складати до 15% від загального обсягу ЗШР. При заданій вазі деталі і вартості матеріалу, з якого вона виготовлена, витрати на матеріал значною мірою залежать від ваги відходів і їхньої вартості. Вартість матеріалів, що використовуються при виготовленні деталей АКТ, дуже висока і наявність відходів при розкрої значно підвищують їхню собівартість і вартість всієї авіаційно-космічної техніки.

Плоскі деталі та заготовки з листа за кількістю і номенклатурою складають численну групу продукції заготівельних цехів заводів, що виробляють АКТ. Основну масу цих деталей доцільно одержувати в розкрійних цехах або на відділеннях розкрою, використовуючи високопродуктивні, механізовані та автоматизовані устаткування. При централізованому розкрої таке устаткування має повне завантаження і витрати на його придбання та амортизацію швидко окупаються. Особливо сприятливі умови для раціонального використання такого устаткування створюються при загальнозаводському централізованому розкрої. Однак виготовлення АКТ має дрібносерійний або одиничний тип виробництва і тому устаткування для листового, профільного, трубного розкрою звичайно розміщується в декількох цехах і часто завантажено неповною мірою. Через це в багатьох випадках застосування хоча і невисокопродуктивного, але і недорогого неавтоматизованого устаткування виявляється економічно доцільним. Застосування неавтоматизованого, простого устаткування й оснащення виправдовується і тим, що при виготовленні одиничних замовлень і головних серій витрати на переналагодження складного, високопродуктивного устаткування виявляються нееконічними. Дрібні довідні роботи з доробки деталей з листа звичайно виконуються безпосередньо на ділянках вузлового й агрегатного складання.

За технологічними ознаками плоскі деталі та заготовки з листа можна розподілити на три групи:

1) деталі великих і середніх розмірів з прямолінійними контурами. До цієї групи відносяться великогабаритні деталі (розмір більше 500 мм) при будь-якому масштабі виробництва і деталі середніх і невеликих габаритів при невеликих масштабах виробництва;

2) деталі великих і середніх розмірів з криволінійними контурами, що виготовляються, в основному, на радіально-фрезерних верстатах,

і малогабаритні деталі з криволінійними контурами, одержувані, в основному, на вертикально-фрезерних верстатах. Як допоміжне устаткування при розкрої другої групи застосовуються роликові і, рідше, вібраційні ножиці. При партіях деталей понад 25–50 шт. доцільно застосовувати спрощені листові (пінцетні) штампи;

3) малогабаритні деталі з прямолінійними та криволінійними контурами при великих масштабах їхнього виготовлення. Ця група виготовляється вирубкою в штампах.

2.2. Системи розкрою листів [8, с. 51-57; 23, с. 84; 29, с. 98-106; 59, с. 19-24]

Вибір способу розкрою залежить від технологічної групи деталі, її матеріалу, товщини, устаткування, масштабів виробництва, вимог до точності розмірів та інших факторів. Для виробництва деталей АКТ характерна висока вартість матеріалів, що також впливає на вибір способу розкрою. При виготовленні дрібних деталей з листа ця вартість складає у середньому 70...80% від вартості деталі. Для великогабаритних деталей типу обшивок літака цей відсоток ще вищий. Тому при виборі способу розкрою основним критерієм є коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), який дорівнює відношенню суми ваг деталей, отриманих з листа-заготовки, до ваги використовуваного полуфабрикату-листа.

При вирубці в штампах найбільш економічне використання заготовки визначається порівнянням варіантів розташування деталей у штабі та штаб у листі. При розкрої на ножицях і фрезерних верстатах найбільш економічне використання матеріалу можливе при організації загальнозаводського або загальноцехового централізованого розкрою. У цьому випадку всі деталі виробу, що виготовляються з листа, групуються за марками матеріалу, товщиною листа і кількістю деталей, що надходять на один виріб. Потім складаються карти групового розкрою. Карта розкрою являє собою виконаний у масштабі креслення листа-заготовки з розташованими в ньому контурами деталей, що вирізаються з цього листа, та перемичок між ними. У тому разі, коли розкрій проектується на фрезерних верстатах, перемички мають враховувати діаметр фрези. При прямолінійному розкрої на гільйотинних ножицях перемичок може не бути взагалі (безвідхідний розкрій). Карта містить комплектний набір деталей (з урахуванням запасних частин) на один, два і більше виробів. На карті компонується деталі тільки для розкрою на визначеному виді устаткування. На ній же вказується кількість і розміри відходів. Після затвердження карта розкрою перетворюється на документ, завдяки якому визначається витрата матеріалу на одну машину, коефіцієнт використання матеріалу і розкреслюється шаблон групового розкрою (ШГР). Розрізняють розкрій груповий та індивідуальний. При груповому розкрої карта розкрою і ШГР компонуються з деталей різних конфігурацій, що підбираються за умов най-

кращого заповнення стандартного листа-заготовки. При індивідуальному розкрої на карті розкрою і на ШГР розташовують деталі тільки одного найменування. При груповому розкрої за ШГР коефіцієнт використання матеріалу можна довести до 92%. При нецентралізованому розкрої, тобто без розробки карт розкрою, коефіцієнт використання матеріалу зменшується до 60%.

2.3. Одержання деталей першої технологічної групи [8, с. 54; 23, с. 85; 29, с. 98-106; 45, с. 21-32; 56, с. 101-113; 59, с. 9-37]

При невеликій товщині листа і невисоких вимог до точності розкрою деталі великих і середніх розмірів із прямолінійними кромками одержують на гільйотинних ножицях. При великій товщині листа і високих вимогах до точності (наприклад, при виготовленні товстостінних несучих обшивок літака і монолітних панелей) дефекти, які з'являються при різанні на гільйотинних ножицях (утяжка листа, зминання, задирки та ін.), з технічних вимог неприпустимі. У цьому разі операція розкрою виконується на спеціальних фрезерних обрізних листових верстатах типу ФОЛ-2.

Розкрій листа і процес різання на ножицях [8, с. 57-61; 23, с. 85-90; 29, с. 31-37; 98-106; 45, с. 4-14; 47, с. 13-18]. Розкроєм листового матеріалу називається відшукування найбільш оптимального варіанта розташування деталей на листі, що дозволяє одержати максимальний коефіцієнт використання матеріалу. Технологічність конструкції деталі, удале її розташування на смузї і листі, мінімально можлива величина перемичок між деталями і максимальне використання відходів на інші деталі сприяють підвищенню загального КВМ.

Відрізка (різання) – це повне відокремлення частини заготовки по незамкнутому контуру шляхом зсуву [14, с. 25]. Суть процесу різання зсувною деформацією полягає у такому. На початку зіткнення ножів з листом, що розрізається, їхнє проникнення у товщу листа відбувається за рахунок пружних деформацій усього перерізу і зминання ділянок, що безпосередньо стикаються з гранями ножів. Унаслідок зазору між різальними ножами та того, що рівнодіючі зусилля різання прикладені на деякій відстані від краю ножа, у площині різання виникає момент. Під впливом цього моменту заготовка прагне повернутися. Для попередження цього на гільйотинних ножицях є притиск, що створює протилежно спрямований момент. Коли напруга в перерізі на початку кромки ножів досягає границі текучості металу заготовки, починається пластичний зсув рухомої частини відносно нерухомої. При проникненні кромки ножів на глибину 0,2...0,5 від товщини листа напруга збільшується до величини напруження зрізу і відбувається руйнування матеріалу. Воно починається з появи мікротріщин у кромки ножів. Збільшуючись, тріщини від рухомого та нерухомого ножів збігаються, завершуючи розподіл листа по площині різання. Руйнування металу відбувається не тільки під дією зусиль зсуву, але й під дією

згинального моменту.

Розкрій деталей з прямолінійними контурами на фрезерних верстатах [23, с. 91-93]. Листове різання на фрезерних верстатах, яке характерне для деталей з криволінійними контурами, рідко використовується для розкрою по прямих лініях. Воно менш продуктивне, ніж на гільйотинних ножицях, і для одержання деталей з прямолінійними контурами використовується тільки в тому разі, коли гільйотинні ножиці не можуть бути застосовані. Таким випадком є, зокрема, розподіл великогабаритних (до 7 м довжиною) листів для обшивок літака, що мають велику товщину. При великій довжині розрізу і великій товщині листа лінія розрізу у випадку різання на гільйотинних ножицях одержує, внаслідок утяжки, шаблеподібне скривлення, усунення якого потребує великих довідних робіт. У цих випадках операція виконується на спеціалізованих верстатах. На них же фрезеруються фаски, що полегшують остаточний пригін листів обшивок при складанні. Прикладом конструкції фрезерно-обрізного листового верстата може служити модель ФОЛ-2.

2.4. Одержання деталей другої технологічної групи [8, с. 54; 23, с. 93-103; 29, с. 98-106; 45, с. 21-32; 56, с. 101-113]

Великогабаритні деталі і заготовки з листів легких сплавів з криволінійними контурами у виробництві АКТ виготовляють фрезеруванням. При одиночному та дрібносерійному виробництвах цим же способом одержують і деталі з невеликими габаритами. Дюралюмінію обробляється на фрезерних верстатах з великими швидкостями і подачами. Так, листи з дюралюмінієвого сплаву марки Д16 ріжуться зі швидкістю до 450 м/хв і подачею фрези до 1,8 м/хв. Існує цілий ряд моделей спеціалізованих фрезерних верстатів для листового розкрою.

Криволінійний розкрій другої технологічної групи може також виконуватися на роликкових, висічних і вібраційних ножицях. При цьому продуктивність і точність менше, ніж при розкрої фрезеруванням, але можна розкроювати листи зі сталі і титану.

Розкрій фрезеруванням [8, с. 62-67; 45, с. 33-38; 60, с. 173-176]. Суть процесу полягає в тому, що по накладеному зверху або підкладеному знизу шаблоні з пакета декількох листів-заготовок пальцевою фрезою вирізається одночасно кілька деталей. При цьому розмітка не потрібна (операція виконується з накладним шаблоном) і точність розмірів визначається точністю цього шаблона. Продуктивність значно підвищується внаслідок одночасної вирізки декількох деталей. Точність розкрою залежить, в основному, від точності застосовуваного шаблона, а не від кваліфікації виконавця. Слід зазначити, що лінії, по яких обкреслені контури криволінійних деталей літака, здебільшого мають складний математичний вираз, і копіювання по шаблонах – найкращий метод їхнього точного відтворення на верстатах. Неминучі втрати металу в стружку, обумовлені діаметром фрези, що є недолі-

ком розкрою фрезеруванням. Залежно від розмірів деталей і обсягу виробництва операція виконується на вертикально- і радіально-фрезерних верстатах або на копіювально-фрезерних напівавтоматах.

Криволінійний розкрій на вібраційних, висічних і дискових (роликкових) ножицях [23, с. 100-106; 45, с. 14-20]. Ножиці застосовуються для криволінійного розкрою, головним чином, як допоміжне устаткування при виконанні одиничних деталей для дослідних та експериментальних виробів, обрізки припусків після штампування, доробки деталей на ділянках складання і розкрою листів зі сталі і титану. При розкрої на ножицях одержують тільки одну деталь, у цьому разі потрібна операція розмітки, що для криволінійних контурів потребує часу, часто більшого, ніж власне розкрій. Точність різання по криволінійному контуру залежить від кваліфікації виконавця. Максимально досяжна точність при криволінійному розкрої на ножицях – 7-9-й класи.

Для криволінійного розкрою використовуються вібраційні ножиці (стаціонарні і ручні), дискові ножиці або для довідних дрібних робіт настільні ножиці з криволінійними ножами. Вібраційні ножиці одержали свою назву через велику кількість ходів у хвилину (1500...2000). Ножі цих ножиців виконуються дуже короткими (35...40 мм). У поєднанні з великим кутом створу, що доходить до 25°, це дозволяє проводити процес відділення заготовки великою кількістю малих (3...10 мм) розрізів і одержувати криволінійну лінію.

2.5. Одержання деталей третьої технологічної групи [8, с. 67-74; 23, с. 114-118; 29, с. 44-51]

Роздільні операції в штампах. Суть процесу полягає в тому, що деталі відділяються від заготовки (штаби, що попередньо виготовляється з листа) одночасно по всьому її контуру. Контур деталі може бути замкнутим або незамкнутим. Відділення деталі відбувається завдяки тиску різальних кромок пуансона і матриці на матеріал заготовки і появи зсувних деформацій, що призводять до появи тріщин і руйнування по контуру. Пуансон і матриця виконані в точній відповідності до контурів деталей, які необхідно виготовити, і виконують ті ж функції, що верхній і нижній ножі гільйотинних ножиць. За характером руйнування металу роздільні операції в штампі близькі до різання на ножицях з паралельними ножами. Процес розподілу відбувається у три стадії. Перша стадія – пружна деформація і початок пластичної деформації. Пуансон на цій стадії тиснить метал, з'являється пружний прогин і метал злегка вдавлюється в отвір матриці. Друга стадія – розвиток пластичної деформації спочатку у кромки пуансона і матриці, а потім і по всій товщині заготовки. У результаті збільшення пластичних деформацій по всьому об'єму зсуву настає момент початку зародження мікротріщини у різальних кромки пуансона і матриці. Третя стадія – руйнування і відділення деталі від заготовки. При подальшому переміщенні пуансона і зростанні тиску відбувається подальший розвиток

мікротріщин у кромки пуансона і матриці та перетворення їх у макротріщини. У момент, з'єднання макротріщин, що поширюються від пуансона і матриці, відбувається повне відділення деталі. Для того щоб тріщини сколювання, спрямовані зверху від кромки пуансона і знизу від кромки матриці, з'єдналися, має бути оптимальний зазор між ними. Величина цього зазору залежить від товщини листа, механічних характеристик матеріалу (пружних і пластичних властивостей матеріалу), затуплення кромки, глибини проникнення пуансона у заготовку до моменту появи тріщини та інших факторів. Розглянута суть процесу однакова для усіх роздільних операцій в штампах і має загальну назву вирубка-пробивка.

Вирубка – повне відділення заготовки або виробу від початкової заготовки по замкнутому контуру шляхом зсуву [14, с. 26].

Пробивка – утворення в заготовці отвору або паза шляхом зсуву з відділенням частини металу у відхід [14, с. 27]. Вирубка-пробивка в штампах є основним способом одержання малогабаритних плоских деталей АКТ з листа. Цей спосіб найбільш ефективний при великих масштабах їхнього виробництва: масовому та крупносерійному. Однак висока продуктивність, велика точність і взаємозамінність деталей, що не залежать від кваліфікації виконавця, роблять штамповку з листа в інструментальному штампі найбільш доцільною навіть при дрібносерійному виробництві. Для виконання процесу виготовлення деталей вирубкою-пробивкою застосовують інструментальні штампи, які встановлюють на різноманітному устаткуванні: механічних кривошипних або гідравлічних пресах [8, с. 78-89; 23, с. 118-131; 29, с. 319-338].

2.6. Особливості розподілу профілів і труб [8, с. 89-91; 23, с. 320-323, 356; 60, с. 172-173]

Розкрій пресованих профілів і труб має особливості, що обумовлені формою їхнього перерізу. Так, форма перерізу будь-якого профілю являє собою незамкнутий контур, що складається з прямокутних елементів, розташованих під кутом одні до інших. Форма перерізу трубної заготовки являє собою замкнутий контур круглого перерізу або відмінного від круглого. У процесі прикладання технологічного зусилля до перерізу профілю або труби для розподілу на частини їхні елементи, які розташовуються під різними кутами, сприймають навантаження по-різному і мають різну деформацію. Ці особливості обумовлюють вибір відповідного способу й устаткування для роздільних процесів профілів і труб.

Напівфабрикати з профілів і труб можна розрізати на заготовки по довжині, використовуючи різні методи руйнування металу в зоні розподілу. *Найбільш широко у виробництві використовують такі методи руйнування: механічні, електричні, електрохімічні, термічні.* Найбільш поширені способи розподілу – це різання в штампах на пресовому устаткуванні, металорізальних верстатах, дискових, фрикцій-

них, абразивних і стрічкових пилах.

Профілі і труби з алюмінієвих і магнієвих сплавів, міді і маломіцних сталей розрізають на дискових пилках. Інструментом є обертова фреза, що опускається на профіль або трубу і вибирає в перерізі канавку шириною, що дорівнює її товщині. Після переміщення на повну висоту перерізу і відділення частини, що відрізається, від заготовки фреза повертається у вихідне положення. Короткі трубні заготовки, які мають товсту стінку відрізають на звичайних токарних і токарно-револьверних верстатах відрізним різцем. Ці способи основані на механічному методі руйнування матеріалу зняттям стружки.

Універсальним способом розподілу профілів і труб вважається анодно-механічне різання [60, с. 196-197]. Суть його полягає в тому, що сталевий гладкий диск-електрод обертається та вмикається до негативного полюса джерела постійного струму. Заготовка вмикається до позитивного полюса і поміщається в робочу рідину (електроліт). Диск-електрод, електроліт і заготовка утворюють електричний ланцюг. При проходженні по ньому струму метал руйнується і частинки виносяться обертовим диском, що переміщується по усій висоті перерізу. Як бачимо, спосіб оснований на електрохімічному методі руйнування і відрізняється великою чистотою, точністю розрізу, малими втратами металу, дешевиною і простотою. При розкрій профілів і труб з високоміцних сталей і сплавів доцільно використовувати цей спосіб.

Для розподілу напівфабрикату на короткі заготовки використовують також штампи і пресове устаткування. Способи різання в штампах основані на механічних методах руйнування шляхом прикладання зсувної деформації.

Для одержання деталей і заготовок з високоміцних напівфабрикатів з високою жорсткістю зі сталі і титану використовують спосіб абразивного різання кругами, оснований на механічному руйнуванні металу шляхом зняття маленького тонкого шару гранню абразиву.

3. ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОСТОРОВОЇ ФОРМИ З ЛИСТОВИХ, ПРОФІЛЬНИХ І ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК ГНУТТЯМ [8; 14; 23; 28; 29; 47; 49; 57; 60]

У конструкції АКТ переважають деталі, що мають просторову форму. Для виготовлення деталей просторової форми з листових, профільних і трубних заготовок застосовують різні формозмінювальні операції.

3.1. Отримання деталей просторової форми з листових заготовок гнуттям [8, с. 92-112; 14; 23, с. 132-156; 28, с. 109-127; 29, с. 117-141; 47, с. 63-93; 57, с. 4-17]

Найпростішою та широко розповсюдженою формозмінювальною операцією є гнуття.

Гнуття – утворення або зміна кутів між частинами заготовки або додання їй криволінійної форми [14, с. 32]. Гнуття широко використовують при виготовленні деталей просторової форми з листових заготовок. Гнуттям можна виготовляти такі деталі літальних апаратів: циліндричні і конічні обшивки; обичайки корпусів і баків; профілі шпангоутів; стрингери; деталі трубопровідних систем; різні косинці, компенсатори, накладки, кронштейни та інші деталі. Залежно від розмірів і форми деталі, форми перерізу вихідної заготовки і характеру виробництва гнуття здійснюється в штампах на кривошипних, ексцентрікових, фрикційних і гідравлічних пресах; на спеціальних згинальних або механізованих пристроях; на спеціальних згинальних і профілезгинальних пристроях; валкових і спеціальних верстатах із ЧПК.

Деталі АКТ, які одержуються гнуттям з листа, можна розділити на чотири технологічні групи: 1) зігнуті деталі невеликих габаритів різної конфігурації (типу скоб, кронштейнів для кріплення гідротрубопроводів, електроджгутів, маслопроводів та ін.); 2) плоскі деталі з бортами та їхні заготовки (нервюри, перегородки, мембрани та ін.); 3) профілі з листа; 4) обшивки літальних апаратів одинарної кривизни.

Деталі першої групи при невеликому обсязі виробництва, одиничних замовленнях і дрібних серіях або в період виготовлення основного оснащення (при запуску виробу у виробництво) виготовляють вручну на оправках або універсальних верстатах для гнуття. При великому обсязі виробництва деталі першої групи виготовляють у згинальних штампах.

Деталі другої технологічної групи характеризуються плоскою формою і наявністю бортів по краях. Значні габарити цих деталей при виготовленні їх в інструментальних штампах потребують великих витрат металу, що призводить до значного підвищення вартості штампів. Найбільш економічно доцільним методом виготовлення деталей другої групи в умовах дрібносерійного виробництва АКТ є гнуття гумою на гідравлічних пресах.

Деталі третьої групи характеризуються великою довжиною в одному напрямку й однаковою конфігурацією і розмірами перерізів по довжині. Це так звані зігнуті профілі. Основний метод виготовлення деталей цієї групи – гнуття за допомогою універсальних або, рідше, спеціальних штампів на універсальних листозгинальних пресах. Профілі з листа з криволінійними твірними виготовляють, в основному, наступною прокаткою на роликах прямолінійних профілів, отриманих гнуттям з листа.

Деталі четвертої групи є обшивки літальних апаратів одинарної кривизни з прямолінійною твірною. До них відносяться обшивки центральної частини фюзеляжу, стабілізатора, крила, центроплану, корпусу літального апарата. Основний спосіб їхнього одержання – це прокатка у тривалковому верстаті типу КГЛ і ЛГВ.

Суть процесу пластичного згинання листового матеріалу поля-

гає в пружно-пластичній деформації вихідної плоскої або прямолінійної заготовки і перетворення її в просторову деталь одинарної кривизни [8, с. 93-99; 23, с. 132-136; 29, с. 115-125]. При навантаженні заготовки, яка знаходиться на матриці, зусиллям пуансона шари металу, розташовані у середині кута гнуття, стискаються і коротшають у поздовжньому напрямку, одночасно вони розтягуються в поперечному. Шари, розташовані на зовнішній стороні згинного кута, розтягуються, подовжуються в поздовжньому напрямку і коротшають в поперечному. При цьому відповідно до гіпотези «плоских перерізів» усі перерізи згинного матеріалу, перпендикулярні до його осі, залишаються плоскими і після згинання. У середній частині згинного перерізу розташований нейтральний шар *деформацій*, довжина волокон в якому при згині не змінюється. При великих радіусах гнуття положення нейтрального шару майже збігається з серединою перерізу. Величина деформації розтягнутих і стиснутих шарів деталі залежить від величини *радіуса згинання* R і *товщини заготовки* s . Чим менше радіус кривизни, тим більше деформації крайніх волокон. При дуже малих радіусах згинання може відбутися розрив зовнішніх волокон, тому визначення мінімально припустимих радіусів згинання має велике практичне значення.

Існують чотири технологічні схеми гнуття: 1) вільне; 2) консольне; 3) гнуття з чеканкою; 4) гнуття прокаткою [8, с. 92].

До технологічних параметрів процесу гнуття відносяться зусилля, кут гнуття та пружинення, розмір заготовки, мінімальний радіус гнуття.

Пружинення деталі. Операція гнуття, що є процесом пластичної деформації, супроводжується також пружною деформацією, що підкоряється закону Гука. Природа пружної деформації обумовлена тим, що деформований метал, змінивши свій об'єм під впливом зовнішніх навантажень, відновлює його після розвантаження. *У результаті дії залишкових пружних деформацій зігнута деталь частково відновлює свою форму (пружинить).* Унаслідок цього форма готової деталі після гнуття відрізняється від форми штампа. Це явище називається *пружиненням* і є негативним чинником, тому що спотворюється форма готової деталі. Різниця між залишковим кутом $\varphi_{ост}$ і кутом гнуття φ називається *кутом пружинення* $\varphi_{пр}$. Для одержання заданого кута і радіуса після гнуття необхідно кут і радіус на інструментах (пуансоні, матриці) змінювати на величину кута пружинення.

Визначення розмірів заготовки для гнуття є технологічною задачею, без вирішення якої неможливо виготовити деталь, що відповідає кресленню. Довжина заготовки для зігнутих деталей визначається як розгорнення деталі по нейтральному шарі і визначається на основі рівності площин заготовки і деталі.

Згинальні моменти і зусилля гнуття. Величина зовнішнього згинального моменту $M_{згин}$ у разі гнуття визначається з умови його рівності моменту внутрішніх сил $M_{вн}$. Зусилля гнуття можна знайти з рів-

ності моментів $M_{згин} = M_{вн}$ і для різних схем гнуття одержати спрощені формули. У випадку гнуття з калібруванням зусилля гнуття визначається не стільки процесом згину, скільки процесом калібрування, що потребує значного тиску. Формули для розрахунку моментів і зусиль гнуття приводяться в довідниках і виробничих інструкціях.

Особливості гнуття листів з нержавіючих сталей і титанових сплавів. Листи з нержавіючої і жароміцної сталі для підвищення міцності нагартують прокаткою в холодному стані. При цьому пластичність таких сталей значно зменшується, а пружинення зростає. Ця особливість враховується при конструюванні штампів шляхом коректування радіуса пуансона і потрібного кута гнуття. Титанові сплави мають вузький інтервал температур деформування і порівняно невеликі подовження. Такі характеристики різко обмежують можливості операції гнуття. Через наявність великого і нерівномірного пружинення деталей з деяких марок титанових сплавів виготовляються у такій послідовності. У холодному або нагрітому стані заготовці надається наближена форма з великими допусками. Потім деталь проходить термообробку для зняття залишкових напруг і відбувається остаточне формоутворення калібруванням у гарячому стані. Це дозволяє виконувати гнуття з меншими радіусами закруглення і зменшити пружинення. Гнуття титану рекомендується проводити на гідравлічних пресах, що забезпечують невисокі швидкості деформації. У разі гнуття з невеликими швидкостями (на гідравлічних пресах) штамп може бути нагрітий до 540°C, а заготовка узята без підігріву. За час ходу (3 – 5 с) повзуна заготовка встигає нагрітися до оптимальної температури за рахунок контакту зі штампом. При роботі на звичайних кривошипних і листозгинальних пресах матриця і пуансон не підігріваються, а заготовку нагрівають до 565°C.

Технологія гнуття деталей з листа. Технологія виготовлення деталей АКТ, що одержують гнуттям з листа, може бути різноманітною.

Гнуття деталей першої технологічної групи [8; 23; 29]. Деталі цієї групи можна характеризувати як невеликі за розміром (50...250 мм) вигнуті з листа всілякої конфігурації, що мають прямолінійну твірну.

Гнуття на оправках [23, с. 139-147]. Цей спосіб є найдешевшим і вигідним при виготовленні одиничних замовлень і в період запуску нового виробу у виробництво, коли серійне технологічне оснащення (штампи для гнуття) ще не виготовлені. Згинальні оправки звичайно виготовляють із двох половин: власне оправка і притиск. Заготовка, закладена між ними, притискується разом в тисках і згинається ударами молотка. Фіксація заготовки в оправці здійснюється по інструментальних отворах (ІО) або по контуру. Контур робочої поверхні оправки виготовляють за шаблоном внутрішнього контуру (ШВК) деталі.

Гнуття в штампах [8, с. 113-117; 23, с. 141-146; 29, с. 144-147]. При великосерійному і масовому виробництві деталі першої групи економічно і доцільно виготовляти в спеціальних штампах для гнуття на

механічних або гідравлічних пресах. Гнуття в штампах є найбільш продуктивним способом виготовлення деталей, забезпечує високу точність їхнього одержання і взаємозамінність. Існують три основні схеми гнуття в штампах: вільне гнуття, гнуття з пружним виштовхувачем, гнуття з ударом, що калібрує. На точність деталей, одержуваних гнуттям в штампах, впливає цілий ряд факторів: однорідність механічних властивостей матеріалу заготовки, відхилення по товщині заготовки, форма і розміри виготовлюваної деталі, конструкція і точність виготовлення штампа (зокрема, наявність притиску), точність виготовлення пуансона і матриці, точність напрямку верхньої частини штампа відносно нижньої, точність базування заготовки на штампі, кількість переходів при штампуванні.

Гнуття деталей другої технологічної групи [8; 23; 29; 47; 56]. Деталі другої технологічної групи характеризуються плоскою формою і наявністю бортів по краях і складають як за кількістю, так і вагою значну частину від загальної маси деталей каркаса АКТ. До цієї групи відносяться нервюри з листа, усілякі стінки, перегородки, мембрани та ін. При виготовленні цих деталей в інструментальних штампах через значні їхні габаритні розміри маємо великі витрати у зв'язку з високою вартістю штампів. Найбільш економічний метод виготовлення деталей другої групи в умовах виробництва АКТ є гнуття гумою на гідравлічних пресах або метод штампування на листоштампувальних молотах.

Гнуття-формування гумою на гідропресах є основним методом виготовлення деталей другої групи [8, с. 212-226; 56, с. 95-99]. При цьому крім деформацій, характерних для операцій гнуття, на ділянках з криволінійними бортами відбувається деформація металу, властива операції витяжки (на опуклих ділянках бортів) або відбортовці (на увігнутих ділянках бортів). Звичайно водночас із гнуттям бортів на нервюрах виконується рельєфне формування (рифти) і відбортовки, розташованої в стінці деталі. У цілому цей комплекс процесів у виробничих умовах називається формуванням. В основу процесу покладено властивість нестисливості гуми, укладеної в замкнутому контейнері. При ході повзуна преса вниз контейнер з гумою створює тиск на поверхню листової заготовки, що розташовується на формблоці. При цьому гума, обтікаючи контур формблоків, установлених на плити преса, загинає борта і формує поглиблення в стінці деталі. Гумова подушка разом з контейнером, є, власне кажучи, універсальною матрицею, а формблок – єдиним спеціальним елементом штампа. Переваги гнуття гумою – дешевина і простота виготовлення оснащення, короткі терміни підготовки нових виробів. Це обумовило майже виняткове застосування цього методу при виготовленні деталей другої групи.

Для штампування деталей із важкодеформівних сталей і титанових сплавів зусилля гідравлічних пресів у ряді випадків недостатньо. У цьому разі виготовлення деталей здійснюють на установках, в яких використовують динамічну енергію. Так, на установці УДШР-800 роз-

вивається енергія 300 кН, що дозволяє створювати в контейнері тиск гуми до 100 МПа.

Гнуття деталей третьої технологічної групи [8; 23; 29]. Деталі третьої групи характеризуються великою довжиною в одному напрямку й однаковою конфігурацією і розмірами перерізів по довжині. Основний метод одержання деталей цієї групи – гнуття за допомогою універсальних або, рідше, спеціальних штампів на універсальних листозгинальних пресах. Заготовка, відрізана від листа на гільйотинних ножицях вільно укладається на матрицю по упорах і гнеться спеціальним або універсальним пуансоном за схемою вільного згину [23, с. 156-161].

Гнуття деталей четвертої технологічної групи [8; 23; 56]. Деталі четвертої групи відносяться до великогабаритних, які мають циліндричну або конічну поверхню одинарної кривизни (з прямолінійною твірною). Такі деталі є обшивками корпусів, крил, оперення літальних апаратів [8, с. 118-122; 23, с. 271-284; 56, с. 36-38]. У цій групі можна виділити три підгрупи обшивок: 1) з листа з постійною по довжині деталі кривизною перерізу; 2) з листа зі змінною кривизною перерізу; 3) монолітні, в яких обшивка складає одне ціле з ребрами жорсткості.

Типовий технологічний процес виготовлення циліндричних і конічних обшивок одинарної кривизни містить такі операції: 1) відрізка заготовки з напівфабрикату; 2) гнуття; 3) чистова обрізка по контуру обшивки і вирізання вікон.

Основний спосіб гнуття обшивок одинарної кривизни циліндричних і конічних – прокатка в тривалкових верстатах типу КГЛ і ЛГВ, а також у чотиривалкових верстатах ГЛВ [23, с. 273-284].

У конструкції сучасної АКТ застосовуються монолітні обшивки (панелі) крила і фюзеляжу. Монолітними обшивками називаються обшивки, в яких ребра жорсткості, що виконують функції поздовжніх елементів - стрингерів, виготовлені разом з листом з одного шматка металу. Операція гнуття-формування монолітних панелей може бути виконана декількома способами: 1) прокаткою між валками (три- або чотиривалкові верстати КГЛ, ЛГВ і ГЛВ); 2) послідовним гнуттям на листозгинальних пресах; 3) обдуванням дробом зовнішньої поверхні панелі [23, с. 284-297].

3.2. Отримання деталей АКТ з профілів [8, с. 122-130; 23, с. 318-354; 47, с. 97-99; 49, с. 63-66; 57, с. 20-31]

Профілі являють собою найбільш численну за номенклатурою, кількістю і трудомісткістю виготовлення групу деталей АКТ. Наприклад, у конструкціях середніх літаків загальна довжина деталей із профілів досягає десятків кілометрів при номенклатурі деталей 12000–15000 шт. Профільний напівфабрикат за способом одержання складається з двох груп: а) пресований; б) гнутий з листа. З пресованих і гнутих профілів виготовляють стрингери, пояси нервюр і лонжеронів, кутики жорсткості нервюр, стінок, перегородок і шпангоутів і різні

фітинги. Основна маса деталей виготовляється з пресованих профілів. При тій же площі поперечного перерізу пресовані профілі, що мають жорсткі кути, а в ряді випадків і стовщення (бульби) на краях полиць, мають більшу міцність, ніж гнуті з листа. Виготовлені методами масового виробництва за добре відпрацьованою технологією пресовані профілі дешевше гнутих з листа. Пресовані профілі надходять на підприємства як прямолінійні напівфабрикати довжиною 6...12 м.

За технологічними ознаками деталі з профілів можна розподілити на сім технологічних груп. В основу такої класифікації покладені трудомісткість і технічна складність операцій з виготовлення деталей і групи устаткування для здійснення технологічних процесів. Це такі групи: 1) прямі; 2) невеликої кривизни (типу стрингерів, поясів, лонжеронів); 3) деталі великої кривизни (типу шпангоутів) з кутом згину до 180° ; 4) те ж з кутом згину до 360° ; 5) знакозмінної кривизни; 6) з місцевими згинаннями по малих радіусах; 7) короткі, з профілів, що отримують у штампах. Основну масу деталей із профілів (до 75%) складають деталі першої і сьомої технологічних груп.

Типова технологія виготовлення деталей із профілів може містити такі операції: а) різання профілів по довжині; б) зачищення задирок; в) таврування; г) виправлення на пресах або плиті (рихтування); е) обрізання скосів; ж) обрізання радіусів і фасонної торцовки; з) утворення місцевих вирізів у полках профілів; і) малковка; к) підсікання; л) гнуття; м) пробивання або свердління отворів у полках профілів; н) термічна обробка; о) антикорозійні покриття; п) контроль.

Відрізка профілів по довжині можна виконувати всіма способами, розглянутими раніше (див. підрозд. 2.7), однак вона має свої особливості. З усіх перелічених операцій при виготовленні деталей найбільш трудомісткою і складною є операція гнуття через технологічні особливості виконання процесу гнуття профілів [23, с. 334-350; 28, с. 127-133]. Труднощі, що виникають у процесі гнуття профілів, можна пояснити двома їхніми особливостями: 1) наявністю вертикальних полиць, навантаження яких відрізняється від горизонтальних, та різним деформуванням через значні відстані від нейтральної осі перерізу, що згинається. Запобігання цих полиць від втрати стійкості – одна з основних труднощів процесу; 2) розбіжністю площини згинання з головними осями інерції перерізу, що викликає косий згин і пов'язане з ним закручування виготовленої деталі.

Вирішення цих двох задач досягається вибором методу гнуття, найбільш придатного для заданого перерізу і форми деталі. З існуючих способів гнуття профілів найбільш застосовуваними є: гнуття прокаткою в роликах, гнуття з розтягом, гнуття проштовхуванням через фільтери, гнуття в штампах, гнуття розкочуванням. Хороший ефект дає поєднання цих методів з нагріванням заготовки. При нагріванні струмами високої частоти тонкостінних профілів незамкнених перерізів (кутиків, швелерів та ін.) можливе створення вузької зони нагрівання, що до-

зволяє одержати згин без шкідливих перекручувань і втрати стійкості.

Гнуття профілів в штампах здійснюють пуансоном і матрицею, що мають форму і розміри, які відповідають формі і розмірам готової деталі. Різновидом гнуття в штампах є гнуття еластичним середовищем. Роль універсальної матриці відіграє контейнер з еластичним середовищем, що значно спрощує виготовлення оснащення. Гнуття в штампах ефективно лише при виготовленні деталей невеликої довжини (до 500 мм) і стрілі прогину, що не перевищує половини висоти полки. При великій кривизні операція виконується за два переходи і більше [47, с. 336-367; 23, с. 349-350].

Гнуття прокаткою в роликах [8, с. 126-129; 23, с. 334-342; 47, с. 366-369] – найбільш розповсюджений спосіб гнуття профілів. Ролики, особливо збірні, являють собою значною мірою універсальний інструмент. Змінюючи їхнє взаємне розташування, можна одержувати деталі всілякої кривизни, а змінюючи набір деталей, з яких збирається ролик, прокатувати профілі різних перерізів. Роликові профілезгинальні верстати можуть працювати за такими схемами: трироликовій симетричній, трироликовій несиметричній і чотирироликовій. Технологічний процес гнуття профілів прокаткою в роликах має ряд недоліків: операція трудомістка і складається з великої кількості проходів, що включають виміри деталі. Профілі при прокатці закручуються і замалковуються.

Гнуття профілів з розтягуванням [8, с. 141-150; 23, с. 342-347] – один з найбільш продуктивних способів одержання профільних деталей, що забезпечує досить високий їхній ступінь точності. Суть гнуття з розтягуванням полягає в тому, що крім зовнішнього згинального моменту до заготовки прикладають поздовжні розтягальні сили уздовж її поздовжньої осі. Заготовку, стиснуту в патронах верстата, спочатку розтягують до стану пластичності розтяжними гідроциліндрами, фіксують у такому положенні, а потім згинають за допомогою згинального гідроциліндра по пуансону-оправці, що закріплена на столі верстата. Найкращі результати можна одержати тоді, коли зусилля розтягання вище границі пружних деформацій по всьому перерізу профілю. Порівняно з розглянутими вище способами гнуття профілів гнуття з розтягуванням має такі переваги: меншу величину пружинення після зняття зовнішнього навантаження, а також велику точність; відносно невисоку вартість оснащення; досить високу продуктивність.

Деталі з жорстких профілів, а також деталі з малими відносними радіусами гнуття виготовляють за два переходи з проміжною термічною обробкою. Операції виконують у такій послідовності (якщо пуансон виконано без урахування пружинення деталі): 1) розподіл заготовки; 2) попереднє обтягання; 3) гнуття; 4) загартування; 5) калібрування розтягуванням.

Замість двоперехідного гнуття можна застосовувати одноперехідне, але в цьому разі пуансон має бути виготовлений з урахуванням

пружинення деталі.

Гнуття профілів розкочуванням (ротаційним обтисненням) є одним із способів виготовлення деталей із профілів з несиметричними перерізами. Суть процесу полягає в тому, що при прокатці в роликах горизонтальної полиці заготовки довжина цієї полиці має збільшуватися за рахунок стоншення. Під впливом виникаючих при цьому напруж тиску в перерізі з'являється момент, що згинає вертикальну полицю в площині, паралельній горизонтальній полиці. Гнуття розкочуванням застосовується тільки при виготовленні деталей з полицею, розташованою на зовнішньому боці кутика, що згинається [23, с. 350-352].

Параметри процесу гнуття профілів. Для розробки технологічних процесів виготовлення деталей гнуттям з профілів необхідно вирішити ряд задач з визначення основних параметрів, від яких залежить точність і економічність їхнього виготовлення. Основними з них є: 1) визначення довжини заготовки (щоб виготовити деталь згідно з кресленням); 2) розрахунок силових параметрів; 3) розрахунок пружинення при пластичному згинанні для одержання деталей із заданою точністю; 4) визначення раціональної форми технологічного оснащення; форма оснащення має визначатися з урахуванням усіх факторів, що впливають на точність процесу формоутворення [8, с. 125-126; 57, с. 26-31].

3.3. Виготовлення деталей з трубних заготовок [8, с. 132-141; 23, с. 355-375; 47, с. 97-99; 49, с. 67-81; 56, с. 67-75]

У сучасних конструкціях АКТ величезна кількість деталей виготовляється з трубних заготовок. Труби використовуються в гідравлічних, паливних, масляних, повітряних системах і інших комунікаціях, а також як силові елементи конструкції. За технологічними ознаками деталі з труб можна підрозділити на три класи: 1 – прямі; 2 – вигнуті в одній площині; 3 – вигнуті в двох площинах. Технологічний процес виготовлення деталей з труб може містити такі операції: 1) відрізки по довжині; 2) косу або фасонну обрізки кінців; 3) вирізки отворів у стінках; 4) закладення кінців (розвальцьовування, обтиснення, сплющування); 5) гнуття; 6) контроль.

Різання труб по довжині має особливості і виконується з їх урахуванням. Раніше розглядалися основні способи розподілу трубного напівфабрикату (підрозд. 2.6). Після одержання заготовки необхідної довжини виконують операції з обрізки кінців і вирізки отворів у стінках труби [23, с. 356-358]. Формозмінювальні операції, які виконуються останніми, являють собою складні технологічні процеси.

Розвальцьовування – операція з утворення конусної поверхні шляхом збільшення вихідного діаметра трубної заготовки. Застосовується для виготовлення рознімних ніпельних з'єднань трубопроводів. Процес розвальцьовування можна виконати вручну або на труборозвальцьовальних верстатах ТР [8, с. 243-252; 23, с. 358-360].

Обтиснення – операція зменшення діаметра труби за рахунок

стовщення стінки. Застосовується при виготовленні різних силових елементів конструкції, тяг керування і механізмів. Обтиснення кінця труби можна виконати трьома способами: у штампах; на ротаційних машинах і токарно-давильних верстатах [8, с. 252-256; 23, с. 360-364].

Сплющування – операція при виготовленні з труб електромонтажних клемних наконечників, а також при формуванні кінців стояків і розкосів каркаса АКТ [23, с. 364].

Гнуття є найбільш складною формозмінювальною операцією, яку використовують при виготовленні деталей з трубної заготовки, що дає можливість отримати одинарну або подвійну кривизну [8, с. 132-138; 23, с. 364-366]. Під впливом згинального моменту на зовнішніх волокнах трубної заготовки виникають напруги розтягання, на внутрішніх – напруги стискання. У результаті дії розтягальних напруг зовнішня стінка труби зменшується (стоншується), а внутрішня під дією стискальних напруг стовщується. Зміна вихідної товщини стінки труби буде тим більше, чим менше радіус згину. Крім того, спільна дія розтягальних і стискальних напруг викликає поперечні стискальні сили P , що спотворюють круглу форму труби і перетворюють її в овальну. Мінімальні відносні радіуси гнуття залежать від механічних властивостей металу, припустимого стоншення стінок, припустимої висоти хвиль на увігнутій стороні деталі і припустимої овальності. На трубопроводах, що працюють при вібраційних навантаженнях, хвилястість не допускається, оскільки вона спричиняє концентрацію напруг. На трубопроводах високого тиску, що працюють у статичних умовах, надмірне стоншення стінок небезпечно. Різностінність також неприпустима для труб, що працюють при високих температурах. Звичайно мінімальний відносний радіус згинання береться не менш 2,5–3 діаметрів труби. Якщо при заданих конструктивних розмірах згинної ділянки труба одержує неприпустиму овальність, застосовують гнуття з заповнювачем. Основними дефектами при виготовленні деталей із труб є: стоншення зовнішніх стінок, поява складок на внутрішніх стінках згинної ділянки і овальність перерізу труби.

Гнуття труб може виконуватися вручну за допомогою пристрою, на трубозгинальних верстатах або в штампах. Вибір способу гнуття визначається масштабом виробництва, матеріалом заготовки, її діаметром, товщиною стінки і відносним радіусом згинання. При діаметрах більше 10 мм зусилля гнуття і витрати фізичної праці при ручному виконанні операції настільки великі, що операцію переводять на верстат. Гнуття вручну доцільно при малих діаметрах труб. Фізичні зусилля, необхідні для гнуття труб до діаметрів 10...15 мм, дуже малі і тому за шаблонами без нагрівання і заповнювачів можна виконати цю операцію [23, с. 366-370].

Гнуття труб на трубозгинальних верстатах [8, с. 139-141; 23, с. 370-373; 47, с. 99-102, 366-369]. У разі, коли діаметри труб більше 10...15 мм, зусилля гнуття і витрати фізичної праці при ручному вико-

нанні операції настільки великі, що операцію переводять на верстати навіть у дрібносерійному виробництві. Для запобігання утворення овальності у внутрішню порожнину трубної заготовки перед операцією гнуття поміщають заповнювач. Завдяки йому круглий переріз труби не спотворюється. Для заповнювачів використовують пісок, легкоплавкий сплав, гнучкі оправки, внутрішній гідравлічний тиск. Суть процесу гнуття на трубозгинальних верстатах полягає в тому, що згинальна оправка кріпиться на обертовому столі верстата. На цьому ж столі повертається разом з оправкою притиск, що притискає кінець труби до оправки. У верстаті має бути калібрувальна оправка, яка відіграє роль внутрішнього заповнювача. Кінець труби поворотним притиском притискають до згинальної оправки. Таким чином, деформівна ділянка труби виявляється затиснутою по зовнішньому діаметрі між жолобами оправки та плаваючим притиском. Усередині труби знаходиться калібрувальна оправка. Усе це захищає трубу від перекручування поперечного перерізу і утворення гофрів на внутрішній її частині.

Гнуття в штампах виконується при довжині деталі, що не перевищує 500...700 мм, і при великій програмі [8, с. 138-139; 23, с. 373-374; 47, с. 100-102]. У штампах можна одержувати деталі знакозмінної кривизни, вигнуті в одній або двох площинах. Операція може виконуватися як із заповнювачем, так і без нього. Гнуття труб у штампах є найбільш продуктивним способом з розглянутих раніше. Однак процес має істотні недоліки: 1) перекручування перерізу труби в місцях початкового контакту з пуансоном і матрицею; 2) неможливість гнуття в декількох площинах на одному штампі; 3) складність виготовлення штампа і його доробки на величину пружинення.

4. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АКТ ВИТЯЖКОЮ І ОБТЯЖКОЮ З ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК [8; 14; 23; 26; 27; 28; 29; 30; 33; 34; 38; 39; 47; 49; 56; 60]

Найбільш продуктивними і точними способами виготовлення просторових порожнистих деталей з постійною товщиною стінки є витяжка в штампах і обтяжка з листа. Деталі, що виготовляються цими способами або їхніми різновидами, можуть бути найскладнішими в плані і перерізах.

4.1. Витяжка з листового матеріалу деталей АКТ [8,с.177-195; 23,с.162-172; 29,с.148-211; 47,с.103-246; 56,с.7-35; 14; 28,с.138-159]

Витяжка – це процес утворення порожнистої заготовки або виробу з плоскої листової або порожнистої вихідної заготовки [14, с. 31]. Витяжкою виготовляється велика кількість порожнистих деталей різноманітних форм, що відрізняються одні від одних контуром у плані, формою бокових стінок і конфігурацією дна. У виробництві АКТ витяжка застосовується для виготовлення днищ баків, напівсферич-

них кульових балонів, корпусів приладів, обтічників повітряних гвинтів, передніх відсіків підвісних баків, закінцівок крил, кіля і стабілізатора, деталей капота і гондол двигунів, дверей, люків і їхніх окантовок, різного роду кожухів, ковпачків та інших деталей [8, с. 179; 23, с. 162-163; 29, с. 148-149; 47, с. 26, с. 104; 58, с. 138-139]. Витяжкою можна одержати складні за формою деталі з листової заготовки, більш міцні і жорсткі при меншій вазі порівняно зі складально-клепанними або звареними. Цей процес має такі переваги: високу продуктивність, раціональне використання вихідного металу, високу точність відтворення необхідних розмірів і форми деталей і, отже, високий ступінь їхньої взаємозамінності.

Суть процесу витяжки [8, с. 177-178; 23, с. 162-165; 29, с. 150-151; 47, с. 26, с. 103-107; 56, с. 7-12; 28, с. 138-147]. Суть процесу витяжки за класичною схемою полягає в тому, що плоска заготовка з листа або порожниста під дією пуансона і матриці витягується в порожнисту просторову деталь, що має дно і стінки. Це відбувається в результаті того, що в зоні фланця в товщині листа металу вона переміщується і її залишковий об'єм переходить у висоту стінки деталі. Існує більш десятка схем витяжки, а також велика кількість їхніх різновидів. Основними і найбільш розповсюдженими є схеми витяжки в інструментальному штампі без притиску заготовки і з притиском. Витяжка без притиску заготовки застосовується для товстого матеріалу і неглибокої витяжки, наприклад, при товщині листової заготовки не більш 0,03 діаметра і діаметра деталі до 0,8 діаметра заготовки. Утворення деталі відбувається у разі переміщення пуансона вниз (або матриці вверх), унаслідок чого вихідна листова заготовка втягується в зазор між пуансоном і матрицею і набуває необхідної форми пуансона і матриці. При витяжці з притиском заготовка притискається до матриці з оптимальним зусиллям. Дана схема застосовується для глибокої витяжки деталей з порівняно тонкого матеріалу при товщині від 0,001 до 0,02 діаметра і діаметром деталі до 0,6 від діаметра заготовки.

У розглянутих схемах витяжки зусилля витяжки P діє через пуансон на донну частину деталі, що витягується, потім через вертикальну стінку передається на фланець заготовки. Процес витяжки циліндричної деталі з плоскої заготовки характеризується послідовним переміщенням металу з кільцевої зони заготовки (фланця) у циліндричну стінку. Якщо деталь є осесиметричною, то форма заготовки являє собою круг діаметром D . Кільцева зона заготовки знаходиться між зовнішнім діаметром заготовки D і діаметром деталі d (пуансона). У результаті процесу витяжки заготовка з листового матеріалу товщиною S і діаметром D перетворюється в циліндричний стакан діаметром d , з товщиною стінки S і висотою h , що має дно. Оскільки при витяжці відбувається втягування матеріалу заготовки з більшим діаметром і перетворення в деталь з меншим діаметром, то у фланці заготовки з'являється надлишковий матеріал. Наявність надлишкового ма-

теріалу призводить до складного стану, втрати стійкості й утворення на фланці гофрів. Гофри сприяють збільшенню необхідного зусилля витяжки і призводять до різних дефектів. Для запобігання появи дефектів і здійснення процесу витяжки з оптимальними параметрами слід виконувати технологічні розрахунки цих параметрів.

Технологічні розрахунки при витяжці циліндричних деталей без фланця полягають у визначенні розмірів заготовки, ступеня деформації геометричного і припустимого коефіцієнтів витяжки, необхідної кількості переходів, у підрахунку поопераційних розмірів деталей, потрібних зусиль витяжки, притиску фланця й інших параметрів [8; 23; 29; 47; 56].

Визначення форми і розмірів заготовки [8, с. 190-192; 23, с. 165-169; 29, с. 183-191; 47, с. 117-145]. Форма заготовки має наближатися до форми готової деталі й у разі, якщо деталь – осесиметричне тіло обертання, то заготовка матиме форму круга з товщиною листового матеріалу. В інших випадках визначення форми являє собою дуже складну задачу. Для визначення розміру заготовки з достатнім наближенням можна користуватися умовою рівності площі поверхні готової деталі і заготовки з урахуванням усіх припусків.

Ступінь деформації і коефіцієнти витяжки [8, с. 186-187; 23, с. 166-169; 29, с. 191-198; 47, с. 146-153]. Ступінь деформації при витяжці циліндричних деталей може вимірятися одним з таких показників: K – ступінь витяжки; m – коефіцієнт витяжки. Найбільш розповсюдженим показником ступеня деформації є коефіцієнт витяжки (геометричний). *Чим більше ступінь деформації, тим менше величина коефіцієнта витяжки.* Залежно від співвідношення висоти і діаметра деталі, що витягується, а також відносної товщини заготовки витяжка може бути виконана за одну операцію або декілька. Суть багатоперехідної витяжки полягає в такому: при другій і наступній операціях витяжки заготовкою є циліндричний стакан, що у результаті кожної наступної операції перетворюється в стакан меншого діаметра, але більшої висоти. Але для кожного матеріалу існує коефіцієнт витяжки, обумовлений граничною пластичністю матеріалу, що і називається граничним (найбільшим) коефіцієнтом витяжки $m_{гран}$. При деякому ступені деформації, що відповідає $m_{гран}$, відбувається руйнування заготовки, що витягується, у тому місці, де бічна стінка деталі з'єднується з плоским дном (небезпечний переріз). Про можливість виготовлення деталей за один або кілька переходів роблять висновок, порівнюючи геометричний коефіцієнт витяжки m з припустимим коефіцієнтом витяжки $m_{прин}$ ($1,18m_{гран}$) для даної марки матеріалу.

Розрахунок зусилля витяжки [8, с. 179-182, 187-188; 23, с. 171; 29, с. 154-165; 47, с. 214-221; 56, с. 18] виконують, виходячи з того, що припустимі напруги в небезпечному перерізі мають бути менше тих, що руйнують метал. Отже, зусилля витяжки передається пуансоном на заготовку через дно, а далі через стінки на фланець. Таке наван-

таження призводить до появи небезпечного перерізу у місці з'єднання бічної стінки з дном. У практичних розрахунках зусилля витяжки визначають за спрощеними формулами як частину зусилля, яка необхідна для відриву дна деталі.

Зусилля притиску фланця [8, с. 182-189; 23, с. 172-176; 29, с. 225-233; 47, с. 216-221; 56, с.18] визначають з умови його мінімального значення, при якому не відбуваються відрив дна деталі й утворення складок.

Різновиди схем витяжки [8, с. 198-204; 23, с. 172-176; 29, с. 225-233; 47, с. 246-253; с. 112-113; 33, с. 214-216]. Залежно від умов проведення технологічного процесу витяжки, конфігурації і матеріалу деталі й інших факторів у виробництві використовують велику кількість різновидів схем витяжки. Найбільш широко застосовують: 1) витяжку в конусну матрицю з додатковими притисками; 2) реверсивну витяжку; 3) витяжку з перетяжними ребрами; 4) з місцевим підігрівом фланця заготовки й охолодженням дна; 5) багат шарову; 6) витяжку зі зменшенням товщини стінок; 7) з місцевим нагріванням фланця і глибоким охолодженням дна.

Спеціальні способи витяжки [8, с. 204-207; 23, с. 242-247; 29, с. 219-232; 47, с. 246-267, 114-115; 33, с. 176-182]. При виготовленні деталей АКТ часто використовують спеціальні способи витяжки, що у дрібносерійному і дослідному виробництві забезпечують одержання якісних деталей з оптимальними витратами. Одним з таких способів є *витяжка з гумовою матрицею* [23, с. 242-243; 47, с. 254-257]. Пуансон і притиск мають спеціальну конструкцію з металу, матриця є універсальною та являє собою металевий контейнер, заповнений гумою. Контейнер з гумою закріплюється на плунжері гідравлічного преса і при переміщенні вниз створює тиск на заготовку. Гума забезпечує рівномірний тиск по поверхні заготовки та її деформування за формою пуансона.

Гідравлічна витяжка [8, с. 206-207; 47, с. 258-261] здійснюється за допомогою тиску рідини на метал заготовки. Існують два принципово різних способи гідравлічної витяжки: а) гідравлічна витяжка, в якій рідина відіграє роль пуансона, вдавляючи заготовку в порожнину матриці; б) гідравлічна витяжка, в якій рідина (вміщена в гумовий чохол) є матрицею й обтягає заготовку навколо жорсткого пуансона. Для виготовлення деталей середніх розмірів (200...500 мм) з матеріалу товщиною до 10 мм застосовують спосіб типу «гідроформ» [47, с. 261-263]. Суть його полягає в тому, що рідина знаходиться в рухомому контейнері, що має знизу гумову діафрагму. Витяжка відбувається на спеціальному пресі у разі переміщення пуансона уверх. Як матрицю використовують рідину під тиском з гумовою діафрагмою. Виготовляти деталі із пластичних матеріалів товщиною до 1,0 мм (алюмінієві та магнієві сплави) у разі дрібної витяжки можна з застосуванням способу *витяжки-формування стисненим повітрям (газом)* [47, с. 267]. Хороші результати

тати при виконанні витяжки дає інтенсифікація цього процесу шляхом прикладання пульсуючих зусиль притиску. Суть *витяжки з пульсуючим притиском* полягає в тому, що при втягуванні заготовки пуансоном у матрицю притискачу надають пульсуючого переміщення уздовж осі виробу із заданою амплітудою [34, с. 143-146].

Особливості витяжки деталей АКТ з алюмінієвих, магнієвих, титанових сплавів і тугоплавких металів [29, с. 225-229; 47, с. 247-253, 268-274]. Для здійснення витяжки з алюмінієвих і магнієвих сплавів найбільш ефективним є спосіб витяжки з місцевим підігрівом фланця й охолодженням заготовки. Цей спосіб дозволяє за одну операцію витяжки одержати глибокі квадратні й прямокутні коробки, що при виготовленні звичайними методами потребують від 3 до 8 переходів. Витяжка деталей з титанових сплавів має специфічні труднощі через їх певні механічні та технологічні властивості. Механічні властивості титанових сплавів характеризуються такими особливостями, що істотно впливають на процес витяжки: 1) висока границя текучості, яка близька до границі міцності, це звужує область пластичної деформації та підвищує необхідні технологічні зусилля витяжки; 2) знижена пластичність і сильне зміцнення (у 1.5 – 1.8 рази) у холодному стані, тому для одержання більшого ступеня деформації та скорочення кількості операцій застосовують штампування в нагрітому стані; 3) низькі антифрикційні властивості, що виявляються в інтенсивному налипанні титану на робочі поверхні штампа; 4) чутливість до швидкості деформування, через що швидкість витяжки має бути в два-три рази менше, ніж для сталі; 5) значна анізотропія і нестабільність властивостей листів титанових сплавів. Витяжка деталей з високоміцних сталей і сплавів являє собою значні труднощі через їх високі міцнісні характеристики.

Інструмент і устаткування, що застосовуються для виконання операцій витяжки мають велику різноманітність. Усі витяжні штампи за характером операції, яку вони виконують, можна розділити на штампи для першої операції (заготовка плоска) та другої й наступної (заготовка просторова). Устаткування, які широко використовують для витяжки, – це універсальні кривошипні механічні та гідравлічні преси [8, с. 207-211; 23, с. 178-182; 29, с. 346-357; 26, с. 617-625; 648-661]. Залежно від використовуваного устаткування штампи можуть бути для преса одинарної або подвійної дії, прості і комбіновані, послідовного або сполученого типу. Для здійснення витяжки застосовують також спеціальні штампи й устаткування [8, с. 204-206; 23, с. 220-222; 224-230; 232-234; 237-242; 245-247; 29, с. 258-279; 47, с. 255, 259, 260, 262, 264, 668; 48; с. 50; 51; 57; 60].

4.2. Проста обтяжка обшивок з листового матеріалу [8, с.159-163; 14, с. 35; 23, с. 298-300; 29, с. 233-235; 56, с. 36-48]

Існує велика кількість деталей літальних апаратів, що виготовляються з листа і мають радіус кривизни такий, що у кілька сотень і

тисяч разів перевищує товщину заготовки. Виготовлення таких деталей витяжкою, а саме, переміщенням незатисненого фланця заготовки в матрицю, неможливе. Уникнути утворення складок у вільній зоні заготовки можна лише шляхом повного затиснення кромки заготовки. Формозміна при цьому відбуватиметься за рахунок одночасного гнуття і розтягання. При такій схемі матриця стає непотрібною і процес формоутворення можна здійснювати за допомогою одного лише пуансона у разі затиснених кромок заготовки. Такий процес одержав назву обтяжки.

Обтяжкою називається процес утворення заготовки заданої форми шляхом розтягувальних зусиль, які прикладаються до її країв [14, с. 35]. Проста обтяжка (по іншому визначенню – поперечна) застосовується переважно для виготовлення коротких обшивок або інших деталей одинарної і подвійної кривизни: обшивок фюзеляжу, носових частин і вузьких обшивок крила, обтічників, оперення. Залежно від форми поперечного перерізу початкового напівфабрикату розрізняють два види простої обтяжки – обтяжка листового та обтяжка профільного матеріалів [8, с. 159-167; с. 145-149; 23, с. 298-301, 342-347].

Проста обтяжка деталей одинарної кривизни застосовується переважно для виготовлення коротких обшивок (довжиною до трьох метрів). Характерна її особливість у тому, що зусилля прикладається по довгій стороні заготовки.

Параметри процесу простої обтяжки [8, с. 160-163; 23, с. 300-307; 49, с. 54-55, 82-85; 56, с. 38-44]. Розрахунок параметрів процесу обтяжки має важливе значення для визначення технологічних можливостей і призначення режимів самого процесу. Основними параметрами процесу є: а) граничний ступінь деформації, що виражається геометричним коефіцієнтом обтяжки; б) гранично припустимий ступінь деформації, що виражається коефіцієнтом обтяжки $K_{гран}$; в) кількість переходів при обтяжці n ; г) розміри заготовки, з якої одержують деталь заданої форми з урахуванням припусків на обрізку по периметру деталі; д) потрібне зусилля обтяжки і зусилля підйому стола преса; е) ступінь відповідності контуру отриманої деталі контуру пуансона.

Геометричний коефіцієнт обтяжки [23, с. 301; 56, с. 39-40] характеризує ступінь деформації металу в найбільш небезпечному місці заготовки. Реальні умови процесу обтяжки характеризуються граничним коефіцієнтом обтяжки, що визначається гранично припустимою деформацією розтягання матеріалу в найбільш небезпечному місці.

Кількість переходів [23, с. 301; 56, с. 41]. Процес обтяжки має свої обмеження, обумовлені ступенем деформації того або іншого матеріалу, який не може бути зруйнованим. Якщо ступінь деформації, необхідної для повної обтяжки деталі даної геометричної форми, більше, ніж це допускається пластичністю матеріалу, то провести обтяжку за один перехід не вдається. Однак з цього не випливає, що оде-

ржати деталь такої геометричної форми обтягуванням неможливо. Шляхом термічної обробки можна відновити пластичність металу і вести процес далі, тобто здійснити другий перехід процесу, а якщо потрібно, то і наступні. Розрахувавши коефіцієнти за формулами, можна їх порівняти та визначити кількість переходів.

Розміри заготовки [56, с. 41-42] необхідно знати для одержання деталі заданої форми і розмірів, враховуючи всі деформації, що відбуваються при її виготовленні. Процес обтяжки супроводжується зменшенням ширини і товщини листа початкового матеріалу, що необхідно враховувати при призначенні розмірів заготовки.

Необхідне зусилля обтяжки розраховується з умови, що воно не може бути більше внутрішніх зусиль у листі, потрібних для його руйнування [8, с. 160-163; 23, с. 300-307; 56, с. 38-44].

Вплив мастила [23, с. 303; 33, с. 44] на потрібні зусилля обтяжки полягає у зменшенні тертя між матеріалом і інструментом для зменшення величини потрібного зусилля. На практиці склад мастила вибирають на основі дослідно-експериментальних даних, виходячи з таких їх властивостей: значна міцність плівки, здатність витримувати значні тиски; хороше прилипання і рівномірний розподіл мастильного шару по поверхні; легке видалення з поверхні деталей без їх ушкодження.

Устаткування й оснащення для простої обтяжки [8, с. 163; 23, с. 307-317; 29, с. 233-235; 56, с. 45-46]. Простою обтяжкою виготовляють деталі одинарної і подвійної кривизни з великим кутом ($90 \dots 180^\circ$) охоплення пуансона. Для виготовлення таких деталей використовують обтяжні преси. *Оснащенням* для виготовлення деталей методом простої обтяжки служать обтяжні пуансони, виконані за формою заданої деталі. Вартість цих обтяжних пуансонів порівняно з інструментальними штампами невелика, а трудомісткість їх виготовлення значно менша. Точність готових обшивок, що виготовляються обтяжкою, контролюється за щільністю прилягання їх у вільному стані до поверхні обтяжного пуансона.

4.3. Обтяжка з розтягненням [8, с. 163-167; 14, с. 35; 23, с. 300-312; 56, с. 51-59 ; 60, с. 283-286]

Суть обтяжки з розтягненням полягає в тому, що до плоскої або просторової листової заготовки прикладаються розтягальні зусилля й одночасно вона обтягується по пуансону. Обтяжка з розтягненням (синонім - поздовжня обтяжка) застосовується переважно для виготовлення обшивок подвійної кривизни з великими радіусами і розмірами ($L > 3 \text{ м}$). Такі обшивки не вигідно виготовляти поперечною (простою) обтяжкою, тому що здійснення захвату за довгі боки заготовки пов'язане з великим відходом матеріалу.

Обтяжка з розтягненням характеризується найбільш рівномірним розподілом напруг по перерізу, у результаті чого підвищується якість деталі. Для поліпшення формоутворення використовують спосіб об-

тяжки, коли заготовка розтягується при закріпленні її за усі боки.

Параметри процесу обтяжки з розтягненням визначаються розрахунками, аналогічними розрахункам при простій обтяжці [8, с. 163-167; 56, с. 55-58].

Геометричний і граничний коефіцієнти обтяжки з розтягненням також характеризують ступінь деформації металу в найбільш небезпечному місці заготовки.

Кількість переходів. Як і всякий технологічний процес, обтяжка з розтягненням має свої обмеження, обумовлені ступенем деформації. Якщо ступінь деформації, необхідний для повного обтягування деталі, більше, ніж це допускається пластичністю матеріалу, тоді виконати обтягування за один перехід не вдається. Необхідно відновити пластичність металу шляхом термічної обробки, після чого здійснити другий перехід обтяжки, а потім, якщо потрібно, – і третій.

Розміри заготовки для обтяжки з розтягненням можна визначити так само, як і розміри заготовки у разі простої обтяжки.

Потрібні зусилля для виконання обтяжки з розтягненням визначають так само, як і для простої обтяжки, але використовують коефіцієнти, що характеризують особливості процесу з додатком розтягальних зусиль.

Устаткування й оснащення для обтяжки з розтягненням. Для здійснення процесу обтяжки з розтягненням використовують спеціальні розтягально-обтяжні преси. Найбільше поширення одержали гідравлічні розтягально-обтяжні преси РО-1, РО-3 і ОП-5ДО [23, с. 308-316; 56, с. 58-59].

4.4. Кільцева обтяжка [8, с. 168-174; 56, с. 59-61; 28, с. 159-164; 33, с. 104-106]

Кільцева обтяжка застосовується для виготовлення деталей із замкнутим контуром. Для цього початкову заготовку згинають і зварюють і у наступних операціях використовують зварену циліндричну або конічну обичайку. Основними деталями АКТ, що виготовляються кільцевою обтяжкою, є: обичайки баків, циліндричні і конічні відсіки корпусів невеликих апаратів, камери згоряння, корпусні деталі реактивних двигунів та інші деталі.

Суть процесу кільцевої обтяжки полягає в тому, що під дією зусиль збільшуються розміри попередньо зігнутої в кільце і звареної в місці стику листової заготовки і вона набуває нової форми з заданою кривизною поверхні. Кільцева обтяжка заготовки замкнутого контуру здійснюється радіальним переміщенням розтискних секційних кулачків-пуансонів під дією технологічної сили, майже перпендикулярної до твірної. Збільшення розмірів поперечних перерізів супроводжується розтягненням матеріалу стінок у тангенціальному напрямку. У процесі обтяжки заготовки при розтулюванні секторів діаметр пуансона збільшується і між секторами утворюється зазор. Якщо зазори великі, то

деталь матиме помітне огранювання, тому що між цими зазорами на поверхні заготовки при обтяжці утворюються плоскі ділянки. При великій кількості секторів грані знаходяться в межах відхилень контуру деталей від теоретичних значень.

Параметри процесу кільцевої обтяжки [8, с. 168-174; 56, с. 59-62]. Процес кільцевої обтяжки здійснюється аналогічно процесу простої обтяжки і для його виконання необхідно також розрахувати технологічні параметри: геометричний коефіцієнт; кількість переходів; розміри кільцевої заготовки; зусилля кільцевої обтяжки.

Устаткування й оснащення для кільцевої обтяжки. Кільцева обтяжка невеликих деталей виконується в спеціальних штампах на універсальних гідравлічних пресах. Для виготовлення деталей тіла обертання з діаметром від 300 до 1200 мм і висотою до 1000 мм використовуються спеціальні радіально-розтяжні преси типу ПДК-1,2,3. Для здійснення процесу використовують розтискні пуансони [8, с. 174; 56, с. 62-63].

5. СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ФОРМОУТВОРЕННЯ (ШТАМПУВАННЯ) ДЕТАЛЕЙ АКТ [8; 23; 28; 29; 33; 34; 47; 49; 57; 58; 60]

Характерною особливістю аерокосмічного виробництва є малосерійність, часта зміна та модернізація об'єкта виробництва. Це призводить до того, що методи і засоби виробництва, що використовуються в умовах великосерійного та масового виробництва, як, наприклад, виготовлення деталей в інструментальних штампах, у названих вище умовах стають неефективними через тривалість строку їх виготовлення, дорожнечу, а також через те, що їх фізичне спрацювання настає значно пізніше, ніж моральне. У цих випадках використовують такі способи виготовлення деталей, які мають значно меншу вартість технологічного оснащення через його спрощення та універсальність.

5.1. Штампування на листоштампувальних (падаючих) молотах [8, с. 229-234; 23, с. 201-205; 28, с.188-196; 29, с. 284-286]

На літальних апаратах застосовується велика кількість великогабаритних і складних за формою деталей: двері і люки, окантовки дверей і люків, обтічники, закінцівки крил і хвостового оперення, напівпатрубки, елементи жорсткості, деталі заборної частини двигунів, капотів, гондол двигунів та ін. Виготовлення таких деталей в інструментальних штампах при дослідному і малосерійному виробництві невідгідне внаслідок високої вартості штампів, а також тривалих термінів їхнього виготовлення і налагодження. Тому складні великогабаритні деталі штампують на так званих листоштампувальних (падаючих) молотах у свинцево-цинкових штампах спрощеної конструкції, що виготовляються за допомогою лиття. Штампування на листоштампуваль-

них молотах не забезпечують високої продуктивності праці і хорошої точності деталей. При цьому методі штампування, як і при штампуванні гумою, необхідно здійснювати ручне дороблення, на яке витрачається в кілька разів більше часу, ніж на основну операцію. Проте порівняно з іншими більш досконалішими методами цей метод економічно вигідний. Трудомісткість штампування на листоштампувальних молотах складає 10...15% від загальної трудомісткості заготівельно-штампувальних робіт.

Основними частинами молота є: шабот (нерухомий стіл), верхня плита станини і пневмоциліндр піднімання стеселя. Верхня робоча частина штампа (пуансон) приєднана до стеселя, а нижня (матриця) закріплена на столі шабота. Пневматичний привід застосовують для піднімання стеселя у вихідне верхнє положення, в якому він утримується спеціальними замками. При робочому ході замки прибираються і стесель зі штоком і пуансоном падає на матрицю. Чим більша кінетична енергія розвивається при падінні стеселя, тим більших розмірів і товщини можна штампувати деталі. Таким чином, можна зробити висновок, що листоштампувальний молот відрізняється від механічних або гідравлічних пресів принципом дії і створенням деформуючого зусилля. Силкові параметри листоштампувальних молотів визначаються не зусиллями, як у пресів, а кінетичною енергією ваги падаючих частин. На листоштампувальних молотах можна виконувати різноманітні операції: гнуття, витяжку, відбортовку, формування та інші.

5.2. Штампування еластичними середовищами [8, с. 212-228; 23, с. 242-246; 28, с. 173-188; 29, с. 258-264; 33, с.180, 214-216; 34, с. 129-130; 56, с. 67-100]

Штампування еластичними середовищами (гумою або поліуретаном) широко застосовується у виробництві літальних апаратів, особливо літаків і вертольотів. Плоску заготовку поміщають на пуансон (формблок), що знаходиться на нижній плиті гідравлічного преса. Матрицею служить контейнер, внутрішня порожнина якого заповнена еластичним середовищем. Під час руху вниз плунжера преса і закріпленого на ньому контейнера з еластичним середовищем настає момент, коли внутрішня порожнина контейнера замикається нижньою плитою преса. У внутрішній порожнині контейнера починає збільшуватися тиск еластичного середовища і під впливом цього тиску заготовка притискається до формблока і починає деформуватися. На завершальній стадії процесу штампування тиск досягає максимального значення, заготовка цілком обтискується по контуру формблока і набуває його форми. Як видно, операція штампування дуже проста і спеціальним оснащенням є тільки формблок, виконаний за внутрішніми розмірами деталі. Контейнер і нижня плита є універсальними. Низька вартість і простота виготовлення оснащення, а також короткі терміни технологічної підготовки виробництва обумовили широке застосування

штампування еластичним середовищем у виробництві літальних апаратів. Оскільки конструкція АКТ майже постійно змінюється і модернізується, то застосування способу штампування еластичним середовищем виявляється найбільш вигідним.

За допомогою штампування еластичним середовищем виготовляються деталі, головним чином, з алюмінієвих сплавів: нервюри, шпангоути та їхні елементи, а також діафрагми, стінки, перегородки, напівпатрубки та ін. Характерною особливістю таких деталей є: 1) великі розміри (довжина до 2...3 м); 2) мала жорсткість, 3) наявність типових конструктивних елементів - плоскі стінки з бортами по краях, відбортовані отвори, елементи жорсткості, виконані у вигляді рифтів і глухих порожнин. Ці деталі проектують з урахуванням технологічних можливостей саме штампування еластичним середовищем, тому що виготовлення їх іншими способами, наприклад у металевих штампах, значно дорожче. Штампування еластичним середовищем може містити кілька роздільних або формозмінювальних операцій. Залежно від необхідної формозміни заготовки та її напружено-деформованого стану одночасно можуть виконуватися різні операції: пробивання отворів, гнуття бортів, відбортовка по контуру отвору, витяжка, утворення рифтів жорсткості, глухих виштамповок (круглих, овальних та інших видів) тощо.

Штампування еластичним середовищем здійснюють на гідропресах. Застосовуються гідропреси двох типів: з максимальним зусиллям 2500 і 5000 кН. Питомий тиск у контейнері – 8...10 МПа. Робоча площа контейнерів дозволяє здійснювати групове штампування і для цього на нижню плиту одночасно встановлюють декілька формблоків із заготовками, що дозволяє за один робочий хід плунжера відштампувати різні за формою деталі.

5.3. Надпластичне формування (НПФ) з використанням явища надпластичності металу [32, с. 3-4; с. 12-21]

Надпластичне формування – це спосіб виробництва тонкостінних деталей з листових заготовок, що знаходяться в стані надпластичності. Явище надпластичності металу полягає в тому, що при дрібній структурі і певних температурно-швидкісних умовах деформації зусилля деформування різко зменшується. Металеві матеріали в стані надпластичності нагадують розігріті смоли або скло. Високі подовження їх при розтяганні складають сотні відсотків при дуже малих прикладених напругах, що не перевищують 1...2 МПа. Після охолодження надпластичного сплаву до кімнатної температури в нього відновлюються звичайні для металевих матеріалів механічні властивості. Технологічний процес надпластичного формування істотно відрізняється від традиційних процесів штампування листових деталей. Він аналогічний процесу видувки порожніх виробів з термопластів. Приблизно надпластичну деформацію металу можна подати у вигляді відносного зсуву маленьких і міцних частинок (зерен), що знаходяться у в'язкому

і пластичному міжзеренному середовищі. Основним способом НПФ є формування в матрицю. На матрицю укладають листову заготовку, що притискають і ущільнюють по контуру. Лист і матрицю нагрівають до температури СПФ і створюють малий надлишковий тиск (1...2 МПа) нейтральним газом (аргоном) над листом. Під дією цього тиску заготовка деформується і приймає форму порожнини матриці. Час для виконання технологічного процесу може варіюватися від декількох хвилин до декількох годин.

5.4. Високоенергетичні способи штампування [8, с. 265-292; 23, с. 216-234; 28, с. 196-210; 29, с. 269-279; 33, с. 146-148; с. 178-179 34, с. 138-142; 47, с. 346-360; 57, с. 35-47]

Останнім часом широкого застосування набули перспективні способи обробки металів тиском – високошвидкісні способи штампування, при яких необхідна для утворення деталі енергія передається заготовці з величезною швидкістю. Як джерела енергії використовують енергію вибуху вибухових речовин (ВР), електричний розряд у рідкому середовищі (звичайно у воді) та імпульсне електромагнітне поле. Залежно від виду джерела енергії ці нові способи одержали такі назви: штампування вибухом, електрогідравлічне та електромагнітне штампування.

Штампування вибухом [8, с. 272-281; 23, с. 217-227; 47, с. 347-353]. Цей спосіб штампування є високоенергетичним, оскільки при виконанні корисної роботи в проміжок часу, що визначається тисячними частками секунди, джерело енергії виділяє енергію з колосальною потужністю.

Характерною особливістю високошвидкісних способів штампування є також те, що при їхньому застосуванні немає потреби у пресовому устаткуванні. Як технологічну оснастку використовують лише матрицю або пуансон, а роль відповідної частини штампа відіграє передавальне середовище, в якому виконується вибух і крізь яке енергія вибуху у вигляді ударної хвилі впливає на заготовку. Ударна хвиля, що деформує заготовку, надає їй форми інструменту (пуансона або матриці). Такий технологічний процес дуже універсальний і для його виконання не потрібна тривала підготовка виробництва, тому високошвидкісні способи застосовуються для штампування деталей, виготовлення яких іншими методами при дослідному і малосерійному виробництві невігідне.

Процес формоутворення вибухом за характером навантаження заготовки принципово відрізняється від штампування на гідравлічних і механічних пресах, на яких протягом усього процесу заготовка навантажена зовнішніми статичними силами, переданими їй повзуном преса через пуансон або гуму.

У початковий момент дії вибухової хвилі її тиску протистоять не тільки внутрішні сили опору заготовки, але й значною мірою інерційні

сили маси заготовки. При подальшому протіканні процесу тиск вибухової хвилі зменшується. Починаючи з того моменту, коли воно стає таким, що дорівнює силам внутрішнього опору деформації матеріалу заготовки, подальше деформування, у тому числі й калібрування деталей за матрицею, здійснюється в основному за рахунок сил інерції частинок металу заготовки. Це підтверджується спостереженнями за процесом деформації заготовки при формуванні вибухом. Під впливом вибухової хвилі з фронтом, близьким до плоского, заготовка спочатку рухається паралельно своєму початковому положенню, витягуючись за рахунок фланця. Потім внаслідок накопиченої кінетичної енергії вона відривається від хвилі, витягується до зіткнення з матрицею і, вдаряючись об неї, калібрується, вдавлюючись в дрібні заглиблення і ризки на поверхні матриці.

При певній швидкості (так званій критичній), різній для різних металів, заготовка руйнується в точці удару вибуху, але при швидкостях, трохи менших критичних, метал набуває підвищеної пластичної властивості, що відбувається, головним чином, завдяки високому гідростатичному тиску. Це дає можливість формувати деталі з крихких матеріалів, що не піддаються формуванню методами статичного навантаження, і приймати великі ступені деформації за один перехід. Через незначне пружинення при калібруванні вибухом точність деталей значно підвищується.

Електрогідравлічне штампування [8, с. 281-286; 23, с. 227-230; 47, с. 353-354]. Електрогідравлічним ефектом називають безпосереднє створення за допомогою електричного розряду в рідині ударної хвилі. Вона утворюється внаслідок переходу частини рідини в плазму з миттєвим збільшенням початкового об'єму в тисячі разів. Це збільшення має характер вибуху, причому ударна хвиля переміщується з надзвуковою швидкістю. Заготовка притискається між матрицею і фланцем корпусу установки. Нижня частина корпусу являє собою резервуар, заповнюваний водою. Повітря з простору між матрицею і заготовкою відсмоктується за допомогою вакуум-лінії. У резервуарі знаходяться занурені у воду електроди, за допомогою яких утворюється дуговий розряд. Електроди можуть мати іскровий проміжок. Батарея конденсаторів, що приєднується до мережі промислового струму через підвищувальний трансформатор і випрямляч, накопичує необхідний заряд, який відповідає необхідній роботі формування деталі.

Електрогідравлічне штампування застосовують для формування сплавів алюмінію і міді, малопластичних та високоміцних металів – титану, ніобію, вольфраму і високоміцних сталей різних марок, у тому числі нержавіючої сталі. Цим способом можна виконувати витяжку, калібрування, пробивання отворів, відбортовку, роздачу і калібрування деталей із труб, деталей із внутрішніми розширеннями, зовнішньою і внутрішньою різаними.

При електрогідравлічному штампуванні витрати на виготовлення

оснащення різко знижуються внаслідок об'єднання в один декількох переходів, необхідних при штампуванні на механічних пресах, і спрощення штампа, єдиною спеціальною деталлю якого є матриця. Одночасно значно поліпшується точність і чистота поверхні деталей, що штампуються.

Електромагнітне штампування імпульсним магнітним полем [8, с. 286-291; 23, с. 230-234; 47, с. 354-360]. Суть процесу полягає в такому. Якщо в поле соленоїда помістити металеву струмопровідну заготовку, то при проходженні по соленоїду імпульсу струму, його магнітне поле буде взаємодіяти з магнітним полем, яке буде наведено в тілі заготовки. Це приводить до стискування заготовки в напрямку пуансона. При великому струмі в обмотці соленоїда ці сили тиска можуть бути дуже великими. Тому частинки матеріалу заготовки зі швидкістю, порівнянною зі швидкістю вибухової хвилі, спрямовуються до поверхні пуансона і набудуть форми поверхні пуансона. Характерною особливістю електромагнітного штампування є рівномірний додаток тиску. Рівномірність полягає в тому, що деформуючі зусилля виникають у самих частинках матеріалу заготовки по всій її масі. Енергія взаємодії полів соленоїда і заготовки, що деформує заготовку, залежить від швидкості наростання струму в соленоїді, сили імпульсу, його тривалості і коефіцієнта взаємодії соленоїда і заготовки. Чим більше сила струму і швидкість її зміни в обмотці соленоїда, тим більше його магнітне поле, ЕРС і сила взаємодії, яка формує заготовку. Імпульс струму в соленоїді створюється розрядом батареї конденсаторів. Заряджаються конденсатори від мережі промислового струму через підвищувальний (до 100000 В) трансформатор і випрямляч. Імпульс струму від конденсаторів на робочу обмотку соленоїда подається за допомогою високовольтного розрядника.

Динамічне штампування еластичним середовищем з радіаційним нагріванням дозволяє виготовляти складні деталі з малопластичних матеріалів, що мають високий опір деформуванню. Це високоміцні сталі і сплави титану. Деталлями є складні і високоточні діафрагми, лонжерони, балки, профілі. Штампування виконується на комплексі, до складу якого входить динамічний молот і пристрій для радіаційного нагрівання з кварцових ламп.

5.5. Виготовлення деталей АКТ з неметалічних матеріалів [23, с. 389-407; 28, с. 196-210; 29, с. 294-299; 33, с. 122-124 ; 47, с. 390-404; 49, с. 389-423; 60, с. 288-308; 58, с. 175-193]

В авіаційно-космічній техніці при виготовленні деталей широко використовують неметалічні матеріали. Вони можуть бути використані не тільки як замітники металів, але й як основні конструкційні матеріали для виготовлення відповідальних деталей і вузлів літальних апаратів. В авіаційній техніці з неметалів виготовляють обтічники радіолокаційних антен, тришарові конструкції з заповнювачами у вигляді стіль-

ника (рулі, елерони, закрилки, різні панелі і відсіки крила, фюзеляжу, стабілізатора, перегородки та ін.), деталі засклення кабін, трубопроводів системи кондиціонування, меблів для пасажирських кабін, теплоізоляції і декоративних панелей. Вибір неметалічного матеріалу залежить від призначення і технічних вимог, що ставлять до таких виробів. Це можуть бути різні пластмаси, полімерні композиційні матеріали, кераміка або металокераміка.

Вироби з пластмас [23, с. 389-394; 47, с. 400-404; 58, с. 175-193] виготовляють на основі термопластичних і термореактивних полімерів. Більшість пластмас являє собою складну суміш різних компонентів, серед яких основне місце займає один з полімерів. До числа термопластичних полімерів відносяться поліетилен, полістирол, поліаміди, фторопласти та ін. З термореактивних полімерів часто використовують фенольно-формальдегідні, сечовинно-формальдегідні, поліепоксиди, поліефіри та інші. Пластичні маси переробляються у вироби такими методами: прямим пресуванням і методами виливання, виливанням під тиском, екструзією, штампуванням, формуванням при низькому тиску.

Широке застосування в авіаційній техніці знаходять армовані пластмаси, в яких основним компонентом є смола (термореактивний полімер) та різні наповнювачі (порошкоподібні речовини: деревина, окис кремнію, крейда та інші; волокнисті матеріали: скловолокно, азбест; листові матеріали: бавовняна тканина та інші. Комбінуванням різних типів армуючих матеріалів і полімерних сполук одержують конструкції з необхідною міцністю, радіопрозорістю, хімічною й ерозійною стійкістю та іншими заданими властивостями. До основних способів виготовлення відсіків і агрегатів відносяться: формування за допомогою герметичної еластичної оболонки і формування просоченням під тиском.

Виготовлення деталей з неметалічних листових матеріалів [47, с. 390-404] може містити всі роздільні та формозмінювальні операції. Вибір способу розкрою залежить від роду матеріалу і масштабу. Гуму, гетинакс, фібру, текстоліт, фетр, картон можна розрізати на гильотинних ножицях з добре заточеними і мінімальними по зазорі ножами, а також у штампах. Крихкі неметалічні матеріали (оргскло, текстоліт, гетинакс) легше різати на дискових і стрічкових пилках. Хорошу якість різку можна одержати при різанні оргскла дротом, нагрітим до температури 300...400 градусів. Точні заготовки і деталі складного криволінійного контуру обробляються фрезеруванням за шаблонами на фрезерних верстатах. Об'ємні деталі АКТ із неметалічних матеріалів виготовляють гнуттям, витяжкою або формуванням у нагрітому стані. Найчастіше виконується операція, що формозмінює листове органічне скло, текстоліт, целулоїд. Підігріте оргскло легко згинається на болванці, що обтягнута байкою або м'якою гумою. Оптимальний час і температура нагрівання матеріалу визначається товщиною листа та

вибирається у довідниках. Розігріта заготовка вручну притискається до поверхні болванки і закріплюється по краях струпцями. Формування деталей з неметалічних матеріалів ведеться на болванках і прес-формах. Формування на болванках виконується вручну за рахунок обтягування листа по болванці струпцями, а в прес-формах – з використанням гідравлічних або ручних гвинтових пресів. Прес-форма для формування являє собою закритий витяжний штамп, що працює на упор. Неметалічні листові матеріали піддаються витяжці після попереднього підігріву заготовки в штампах або пневматичних витяжних пристроях, що працюють під тиском або під вакуумом. Витяжка в штампах не придатна для деталей засклення літака, тому що поверхня розігрітої заготовки може бути ушкоджена при контакті з матрицею і притиском. Для витяжки деталей засклення літака застосовують пневматичні пристрої: вакуумні або працюючі від тиску стиснутого повітря.

6. ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ У ЗАГОТІВЕЛЬНО-ШТАМПУВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ [46; 47; 55; 59; 63; 64]

Виріб або яку-небудь з його деталей звичайно можна виготовити за декількома варіантами технологічних процесів, що розрізняються між собою застосуванням устаткування, пристроями й інструментом. Задачею технолога є добір такого варіанта процесу, що, дозволяючи виготовляти виріб, що задовольняє вимогам креслення і технічних умов, був би в той же час найбільше економічно раціональним у виробництві. Тому на стадії проектування технологічних процесів у ЗШВ технологіві потрібно порівнювати різні технологічні варіанти і вибирати найбільш оптимальний і в технічному і економічному відношенні. Необхідно вирішувати питання про ступінь складності операцій і доцільності їхнього виконання на складних комбінованих штампах або про застосування роздільного поопераційного штампування, яке можна виконати на простих і більш дешевих штампах. Звичайно технолог не має можливості виконувати складні економічні підрахунки, що потребують застосування порівняно великого нормативного, планово-розрахункового матеріалу та даних бухгалтерського обліку. Тому цілком достатньо, щоб при розробці технологічних процесів проводилися лише приблизні й спрощені підрахунки очікуваної економічної ефективності.

6.1. Показники ефективності процесів заготівельно-штампувального виробництва [46, с. 42-63; 47, с. 466-467; 55, с. 127-200]

При оцінці економічної ефективності в заготівельно-штампувальному виробництві використовують такі показники, як умо-

вно-річна економія і строк окупності витрат. У разі застосування комбінованих процесів штампування порівняно зі штампуванням на простих штампах оцінка полягає в зіставленні одноразових капітальних витрат на виготовлення більш складних штампів з очікуваною економією на поточних витратах виробництва. Величина додаткових капіталовкладень, що відноситься до одного року роботи оснащення (штампа), не має перевищувати величини умовно-річної економії, що визначається різницею в собівартості деталі операції, помноженої на річний випуск штампувальних деталей [46, с. 53-63].

Основним показником економічної ефективності додаткових капіталовкладень при зіставленні різних процесів штампування є строк окупності витрат. Цей показник показує, за який час додаткові капіталовкладення окуплять себе за рахунок економії від зниження собівартості.

Необхідно, щоб строк окупності був менше терміну служби оснастки (штампа) або передбачуваної тривалості виготовлення даної деталі. Як орієнтовані дані можна прийняти строк окупності витрат для ЗШР у таких межах: для масового виробництва – до 1 року, крупносерійного – 1-2 роки, дрібносерійного – 2-3 роки. Видно, що чим більша задана програма, тим більші можуть бути витрати на оснастку (штампи). У цьому разі у виробництві можуть бути застосовані конструктивно більш складні та більш дорогі штампи. Навпаки, при невеликій річній програмі величина додаткових капітальних витрат має бути знижена за рахунок застосування простого та дешевшого оснащення (спрощеного, універсального, переналагоджуваних штампів). Для визначення економічної ефективності того або іншого варіанта технологічного процесу штампування необхідно знати або розрахувати цехову собівартість виготовлення деталей.

6.2. Склад технологічної собівартості виготовлення деталей ЗШР [46, с. 47-62; 47, с. 470-473; 55, с. 200-203]

Собівартість продукції (3) відбиває спільні витрати живої й упередметненої праці. Як відомо, собівартість являє собою грошовий вираз витрат підприємства на виробництво одиниці продукції. До неї входять матеріальні витрати виробництва, зарплата виробничих робітників і накладні витрати. Повний розрахунок собівартості за всіма калькуляційними статтями витрат досить складний і трудомісткий. Серед окремих складових собівартості поряд з тими, котрі істотно змінюються при переході від одного технологічного процесу (ТП) виготовлення до іншого, є такі, що зовсім не залежать від зміни ТП або залежать незначно. Тому при порівняльному економічному аналізі розглядають не всю собівартість, а так звану технологічну (C_m). При цьому деякі складові цехової собівартості підраховуються прямим розрахунком, а інші визначаються за нормативами витрат, що приходяться на одну годину роботи устаткування.

Технологічна собівартість – частина собівартості, яка містить

витрати, що можуть істотно змінюватися зі зміною ТП [47, с. 470-473; 46, с. 47-62].

Технологічна собівартість однієї деталеоперації визначається як сума витрат:

1) вартість матеріалу, що витрачається на одну деталь, за винятком вартості відходів;

2) заробітна плата основних робітників, включаючи додаткову і нарахування, що припадає на одну деталеоперацію (далі також відноситься до однієї деталі);

3) заробітна плата установника штампів;

4) витрати на амортизацію, ремонт і утримання штампів;

5) витрати на амортизацію, експлуатацію і ремонт устаткування і утримання допоміжних робітників;

6) інші (непрямі) цехові витрати (утримання адміністративно-управлінського і молодшого обслуговуючого персоналу, охорона праці, амортизація допоміжних приміщень та ін.).

Оскільки цехові витрати (непрямі) не можуть бути розраховані прямим методом, то їх слід взяти з нормативів або виразити у вигляді коефіцієнта до суми інших елементів собівартості.

Вартість матеріалу, що витрачається на одну деталь, визначається за розкромом матеріалу і його вартістю (за цінниками), за винятком вартості відходів. У загальній сумі отриманої економії велике значення має економія на вартості матеріалу. Ця економія також впливає на строк окупності витрат. Економія матеріалу на 10% за економічною ефективністю відповідає збільшенню продуктивності в 3–4 рази. Якщо у варіантах, що зіставляються, економія матеріалу відсутня, то її підрахунок можна не робити [46, с. 45-48, 389-421; 63; 64].

Заробітна плата основних робітників визначається за трудомісткістю даної операції або існуючими розцінками. Її можна не розраховувати, а взяти з нормативів витрат, віднесених до 1 ч роботи конкретних типів пресів, і зменшити пропорційно фактичну норму часу виготовлення однієї деталеоперації [47, с. 470-471; 46, с. 47-61; 63; 64].

Заробітна плата установників штампів залежить від сумарних витрат часу на установлення штампів і налагодження устаткування і тарифної ставки установників штампів [47, с. 471].

Витрати на амортизацію, ремонт і утримання штампів залежать від типу, розмірів і ступеня конструктивної складності штампа, а також від загального терміну їхньої експлуатації і програми випуску деталей [46; 47; 63; 64].

Вартість штампів визначається шляхом аналогії з типовими штампами, що наводяться в заводських або галузевих цінниках. Аналогія визначається залежно від типу, розмірів і групи складності штампувальних деталей. Необхідно відзначити, що цінники й нормативи на штампи холодного штампування різних галузей промисловості не порівнянні між собою через ряд об'єктивних причин. За однією з ознак

(габаритний розмір, вага, розмір матриці) або за їх сукупністю технолог може віднести намічуваний тип штампа до тієї або іншої розмірної групи [46; 47, с. 473-480].

Витрати на утримання й експлуатацію пресового устаткування за інструкцією виділяються в самостійну статтю калькуляції і містять амортизацію цього устаткування [47, с. 472].

Розглянуті економічні показники технологічних процесів не є єдиними критеріями вибору того або іншого процесу. В окремих випадках головну роль можуть відігравати й інші критерії. Наприклад, для складальних процесів велике значення може мати використання виробничих площ. Нерідко доводиться враховувати і такі показники, як витрата дефіцитних матеріалів, використання унікального і дефіцитного устаткування, матеріалів, стислі строки підготовки виробництва та інші.

7. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ [5; 9; 13; 17; 24; 52; 53; 60]

7.1. Типові групи деталей планера, оброблювані різанням [24, с. 29-35, 104-110]

Типові групи деталей планера, оброблювані різанням, такі:

– великогабаритні деталі одинарної і подвійної кривизни, що входять в аеродинамічні обводки агрегатів – каркаси фонарів, окантовки люків, ілюмінаторів (матеріал заготовок – алюмінієві та магнієві сплави);

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

– великогабаритні оболонкові деталі – панелі й обшивки змінного перерізу одинарної і подвійної кривизни з алюмінієвих сплавів;

– прямолінійні деталі великої довжини – стрингери, лонжерони з постійними і змінними перерізами по довжині (матеріал заготовок – сталі, алюмінієві і титанові сплави);

– об'ємні деталі середніх габаритів – качалки, кронштейни, важелі (матеріал заготовок – сталі, алюмінієві, магнієві і титанові сплави);

– великогабаритні деталі циліндричної форми – циліндри і штоки шасі з високоміцних легованих сталей і титанових сплавів;

– арматура – хрестовини, трійники, штуцери гідравлічних і газових систем (матеріал заготовок – сталі, алюмінієві і титанові сплави);

– кріпильні деталі – болти, гвинти, гайки, шайби, заклепки (матеріал заготовок – високоміцні сталі, титанові та алюмінієві сплави).

7.2. Операційні припуски і методика розрахунку розмірів заготовок [24, с. 35-38; 52, с. 175-196; 60, с. 113-114]

Припуск – шар матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні (розмір, форма, шорсткість). Припуск дорівнює різниці відповід-

них розмірів заготовки і деталі.

Операційний припуск – припуск, що видаляється при виконанні операції, розмір, який дотримується при цьому, називається операційним розміром.

Проміжний припуск – припуск, що видаляється при виконанні одного технологічного переходу.

7.3. Точність процесів розмірної обробки деталей планера [24, с. 11-24; 52, с. 6-24; 5, с. 469-478]

Точність обробки – ступінь відповідності істинних геометричних параметрів деталі заданим геометричним параметрам. Задана точність призначається конструктором при розробці креслень. Дійсна точність визначається виміром геометричних параметрів деталі після обробки. Очікувана точність визначається розрахунковим шляхом для оцінки точності розроблюваної технології і проектного верстатного пристрою.

Числовим виразом точності є *похибка обробки*. Основні види похибок обробки різанням за характером їхнього утворення:

– *постійна похибка* – величина, яка зберігається при обробці кожної нової деталі. Виникає внаслідок неточності виготовлення верстата, пристрою, інструменту і цілком переноситься на оброблювану деталь;

– *функціональна похибка* – величина, яка закономірно змінюється при обробці кожної нової деталі. Виникає внаслідок розмірного спрацювання інструменту і температурного жолоблення заготовки в зоні різання;

– *випадкова похибка* – величина, яка може приймати будь-яке числове значення при обробці кожної нової деталі. Виникає внаслідок пружних деформацій і зазорів в окремих частинах верстата, коливань сил різання через нерівномірну жорсткість матеріалу заготовки.

Фактори, що впливають на похибку розмірів і форми деталей [5, с. 489-494; 24, с. 20-24; 52, с. 26-78]

На похибку розмірів і форми деталей впливають геометрична точність верстата; похибки установлення заготовки, налагодження інструментів і верстата на розмір; функціональне спрацювання різального інструменту, жорсткість системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь». Похибки програмної обробки деталей виявляються додатково через неточність позиціонування і повернення інструменту у вихідну точку, дискретність траєкторії руху інструменту в режимі інтерполяції, нестабільність положення інструментів після автоматичної зміни.

7.4. Режими різання для операцій розмірної обробки [53, с. 261-303; 9, с. 1-8; 13, с. 1-8; 17, с. 128]

Режим різання – сукупність значень швидкості, подачі та глибини різання. Режим різання залежить від матеріалу заготовки, його властивостей на даній операції обробки, матеріалу і геометрії інстру-

менту, виду і характеру обробки.

Технологічні методи підвищення продуктивності обробки [5, с. 579-582; 52, с. 638-644; 60, с. 53-60]:

- правильний підбір номенклатури деталей для програмної обробки; концентрація операцій і переходів, підвищення точності заготовок;
- використання оптимальних режимів різання; адаптивне керування процесом обробки за вибраними параметрами;
- застосування збірної і багатолезового інструменту з гарантованою стійкістю; діагностика різального інструменту у процесі роботи;
- застосування групових механізованих переналагоджуваних пристроїв багаторазового використання, столів-супутників;
- створення гнучких виробничих ділянок верстатів із ЧПК, контроль геометричних параметрів деталі на базі контрольно координатно-вимірвальних машин.

8. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ [5; 24; 25; 52; 60]

8.1. Підготовчі операції розмірної обробки різанням [24, с. 90-95; 52, с. 168-174; 60, с. 121-122]

Підготовчі операції виконуються в спеціалізованих цехах. Поковки та штамповки проходять типові підготовчі операції: фрезерування і центрування торців, обдирання і попереднє розточування отворів. Підготовчі операції для прутків звичайно виконуються в такому порядку: виправлення; безцентрове обдирання; розрізування; центрування.

Виправлення заготовок. Заготовки у вигляді поковок і штамповок при їх значних діаметрі і довжині правлять у нагрітому стані під молотами. Прутки правлять у холодному стані на пресах за допомогою призм. Попередньо заготовки перевіряють у центрах і визначають місця, що підлягають виправленню. Велику кількість прутків правлять на спеціальних правильних верстатах. Виправлення здійснюється трьома парами роликів з увігнутою поверхнею. При обертанні барабана ролики обкатуються навколо прутка і виправляють його. Швидкість подачі прутка складає 50...30 м/хв залежно від швидкості обертання барабана. Точність виправлення досягає 0,1...0,2 мм на 1 метр довжини прутка.

Обдирання прутків. Для обдирання прутків діаметром 15...80 мм, довжиною до 7 метрів застосовують безцентрово-обдирочні верстати. Процес обробки на таких верстатах відбувається у такий спосіб. Центральне зубчасте колесо, що приводиться в обертання електродвигуном, обертає дві різцеві головки. Одна головка з різцем робить чорнове обдирання, інша – напівчистове. Подача прутка здійснюється двома спеціальними роликками з великою насічкою. Залежно від обертання роликів подача прутка складає 175...600 мм/хв.

Розрізування прутків, валів, труб. Заготовки круглого і фасонного перерізів розрізають на приводних ножівках; пилках – дискових, стрічкових, фрикційних; токарно-відрізних верстатах, абразивним кругом. Приводні ножівки розрізають прутковий матеріал за рахунок зворотного-поступального руху ножівкового полотна. Різальні крайки зубів ножівкового полотна спрямовані у бік розрізування, полотно притискається до матеріалу, що розрізається, тільки під час основного ходу, а при зворотному допоміжному ході піднімається гідравлічним механізмом. Унаслідок цього тертя зубів об матеріал при зворотному ході виключається, спрацювання полотна зменшується, а продуктивність ножівки збільшується.

Дискові пилки виготовляють складеними – з диска вуглецевої сталі зі вставними або приклепаними зубами зі швидкорізальної сталі.

При розрізуванні площа перерізу заготовки постійно змінюється в міру проходження пилки. Верстат працює при однаковій силі різання, змінна величина подачі відповідає площі перерізу, що розрізається, у даний момент.

Стрічкові пилки мають форму нескінченної стрічки товщиною 1...1,5 мм, застосовуються, головним чином, для розрізування заготовок з кольорових металів.

Фрикційна пилка являє собою тонкий сталевий диск із насічкою, що обертається зі швидкістю 100...140 м/с. При подачі й обертанні диск унаслідок виникаючого тертя нагріває метал у прорізі до температури плавлення. Розплавлений метал видаляється з прорізу самим же диском.

Електрична фрикційна пилка розрізає матеріал шляхом спільної роботи фрикційної пилки з вольтовою дугою. Обертовий диск з'єднаний з одним полюсом джерела електроенергії, а матеріал, що розрізається, – з іншим, при цьому утворюється вольтова дуга. Метал у прорізі плавиться, а обертовий диск тільки видаляє розплавлений метал.

Відрізні верстати служать для розрізування по довжині круглих і шестигранних прутків, а також труб. Інструмент – відрізний різець. Збільшення продуктивності відрізних верстатів досягається за рахунок підтримування постійної швидкості різання. В міру наближення різця до осі прутка частота обертання шпинделя верстата підвищується.

Еластичні абразивні круги для розрізування прутків і труб мають товщину 2...4 мм. При розрізуванні труб великого діаметра їх необхідно повертати навколо осі. Розрізування прутків, труб та інших заготовок з високоміцних сталей і титанових сплавів здійснюється електрофізичними методами.

Центрування. Центрові отвори в деталях типу валів є технологічними і вимірювальними базами.

Центрування заготовок виконується на свердлильних, токарних верстатах, у серійному і масовому виробництві – на спеціальних центрувальних і фрезерно-центрувальних верстатах. Центрування за-

готовок виконується спеціальними центрувальними свердлами, що здійснюють свердління і зенкування. Двосторонні центрувальні верстати центрують обидва кінці вала одночасно. На фрезерно-центрувальних верстатах одночасно фрезерують торцеві поверхні заготовки, після чого центрувальними свердлами свердлять отвори.

8.2. Обробка деталей на верстатах токарної групи [5, с. 230-246; 42, с. 52-58; 52, с. 224-249]

Деталі, оброблювані на токарних верстатах, являють собою тіла обертання. Геометричні розрахунки при програмуванні токарної обробки зводяться до вирішення задач на площині в осьовому перерізі. З технологічної точки зору геометричні елементи і відповідні їм поверхні прийнято поділяти на основні й додаткові.

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

Основні поверхні: торцева, радіусна торцева, циліндрична зовнішня, конусна, конусна фаска, циліндричний отвір. Елементи твірних поверхонь, формоутворення яких не може бути виконано зазначеним різцем, належать до числа додаткових.

Додаткові поверхні: позанарізна канавка, нарізна поверхня, внутрішня трапецеїдальна канавка, кутова канавка, внутрішня прямокутна канавка, торцева канавка, жолоб.

На початку технологічного проектування токарної операції необхідно порівняти необхідні точність обробки окремих елементів контуру деталі і шорсткість поверхонь з паспортними даними верстата.

Зони токарної обробки. Кожна зона токарної обробки на верстатах із ЧПК відповідає одному технологічному переходу. Зона формується залежно від конфігурації чорнового або чистового контуру деталі і технологічних можливостей різального інструменту, що виконує даний основний хід. Для різців ці технологічні можливості визначаються основним і допоміжним кутами в плані. Залежно від конфігурації ділянки чорнового або чистового контуру деталі, що формується за технологічний перехід, зони обробки поділяються на відкриті, напіввідкриті, закриті і комбіновані.

Особливу увагу слід приділяти вибору схем переходів для напіввідкритих зон, тому що вони найчастіше зустрічаються при токарній обробці. При обробці фасонних деталей використовують *еквідистантну* схему. Основні ходи інструменту еквідистантні контуру деталі.

Контурна схема чоргової обробки основних поверхонь деталі формується шляхом повторення основних ходів інструменту уздовж контуру оброблюваної деталі. Кожен основний хід разом з допоміжним утворює траєкторію у вигляді замкнутого циклу, початкова точка якого

зміщується уздовж деякої прямої, наближаючись до контуру заготовки.

Для відкритих і напіввідкритих зон інструмент після завершення кожного основного ходу виводиться з зони і подається на глибину наступного ходу (допоміжний хід).

У разі точіння закритої зони інструмент після завершення кожного основного ходу повертається шляхом допоміжного ходу до початкової точки цього ходу і вривається на глибину наступного основного ходу.

8.3. Процеси обробки отворів [5, с. 223-230; 42, с. 48-52]

Трудомісткість обробки отворів у ряді деталей планера досягає 40% і більше загальної трудомісткості обробки деталі. Тому вибір раціональної схеми обробки отворів потребує особливої уваги. Отвори складної конфігурації являють собою сукупність *ступенів*, що розташовуються уздовж осі отвору і відокремлюються один від одного торцевими поверхнями. Кожний ступінь розглядають разом з торцем, від якого почнеться його обробка за один або кілька типових технологічних переходів.

Для одного ступеня отвору може бути визначена певна послідовність технологічних переходів:

центрування – виконується спеціальним центровим інструментом, свердлом або конусною зенківкою;

чорнова обробка отвору – виконується за один або кілька основних ходів свердлами, зенкерами, різцями і фрезами;

обробка торця отвору – виконується прямою зенківкою з прямою цапфою, торцевою пластинчастою фрезою, розточувальним різцем;

пряме зенкування – може здійснюватися прямою зенківкою з прямою цапфою, зенкером для глухих отворів, різцем для глухих отворів на борштанзі або в плансупорті;

конічне зенкування – технологічний перехід для обробки фасок, виконується конусною зенківкою, свердлом або різцем;

різенарізування – технологічний перехід, виконується мітчиками для наскрізних і глухих отворів;

напівчистова обробка отвору – виконується зенкерами або різцями для глухих і наскрізних отворів;

чистова обробка – виконується розгорненнями, різцями для наскрізних або глухих отворів.

8.4. Технологічні особливості обробки отворів свердлінням, зенкуванням, розгортанням [52, с. 307-320; 60, с. 126-129]

Свердління спіральними свердлами дозволяє одержати отвори 13...11-го квалітету при шорсткості поверхні $R = 12,5...6,3$ мкм. При свердлінні отворів діаметром менш 10 мм величина подачі на оборот обмежується жорсткістю і міцністю інструменту. При свердлінні обертливим інструментом нерухомої деталі через малу жорсткість свердел

спостерігається відведення і скривлення осі отвору. Причина – незбалансовані бічні сили, що діють на свердла. Міри запобігання: збільшення швидкості різання і зниження подачі на оборот свердла; центрування заготовок; застосування кондукторних втулок.

При свердлінні отворів великого діаметра (50...100 мм) і довжиною до 200 мм доцільно застосовувати кільцеві свердла. Свердління кільцевими свердлами підвищує продуктивність праці в 2–4 рази порівняно з обробкою спіральними того ж діаметра, економиться метал у вигляді сердечника.

Особливо складні для обробки так звані глибокі отвори, відношення довжини яких до діаметра більше десяти. Для виключення защемлення свердла стружкою користуються спеціальними свердлами з одним різальним лезом. Обертається заготовка, подача на оборот свердла –0,015...0,02 мм. Через центральний отвір подається технологічна рідина, що видаляє стружку уздовж зовнішньої канавки і охолоджує різальну крайку.

Технологічні особливості зенкування отворів. Зенкування служить для підвищення точності й чистоти отворів, отриманих свердлінням, литтям або штампуванням. Економічна точність зенкування – 11–9-й квалітети, шорсткість $R = 6,3 \dots 3,2$ мкм. Порівняно зі свердлами зенкери мають більш високу жорсткість і більшу кількість різальних крайок. Зенкування довгих наскрізних отворів проводять за схемою розтягання, тобто зенкер протягають через отвір. Це різко зменшує відведення осі оброблюваного отвору і небезпеку вібрацій, дає можливість зняття великих припусків. Конструкції зенкерів дозволяють обробляти торцеві, конічні і фасонні поверхні. Різновидом зенкерів є цеківки, що мають циліндричні напрямні для базування по отворі. Цекуванням одержують циліндричні поглиблення в клиноподібних деталях.

Технологічні особливості розгортання отворів. Розгортання застосовується для одержання точних циліндричних або конічних отворів 8–6-го квалітету із шорсткістю $R = 3,2 \dots 0,8$ мкм. Розгортання здійснюють у два переходи, припуск на чорнове розгортання – 0,15...0,5 мм, чистове – 0,05...0,2 мм залежно від діаметра отвору і матеріалу заготовки. Перед розгортанням отвір зенкують. Краще центрування і зменшення розбивання отвору досягається при розгортанні на витяжку, коли стрижень розгорнення працює на розтягання. Високий клас чистоти поверхні при розгортанні забезпечується тим, що крок зубів розгорнення нерівномірний.

8.5. Методи нарізування різі [5, с. 278-291; 52, с. 211-240; 60, с. 132-134]

В авіаційному виробництві застосовують циліндричні різи – кріпильні, ходові, а також конічні.

Зовнішню різь нарізають плашками, різенарізними головками, різьбовими різцями і гребінками, дисковими і груповими різьбовими

фрезами, а також накочуванням. Внутрішню різь нарізають різцями і мітчиками.

Вибір способу нарізування різі залежить від профілю різі, властивостей матеріалу деталі, необхідної точності й обсягу випуску деталей.

Нарізування зовнішньої різі плашками. Круглими плашками нарізають різь невисокої точності, тому що в плашках профіль різьбової нитки не шліфують. Їх виготовляють розрізними (регульованими по діаметру) і нерозрізними.

При нарізуванні різі плашками на заготовках із в'язких металів відбувається «підняття нитки», тобто зовнішній діаметр різі дещо збільшується порівняно з первісним діаметром стрижня перед нарізанням різі. Тому діаметр стрижня матеріалів перед нарізанням різі виконують на 0,1...0,2 мм менше зовнішнього діаметра різі.

Для нарізування різі на револьверних верстатах і автоматах застосовують різновид круглих плашок – трубчасті плашки. Вони забезпечують вільне видалення стружки, зручність заточення різальних крайок, надійне центрування і можливість регулювання розміру за допомогою стягувального кільця.

Нарізування зовнішньої різі різенарізними головками. Нарізування зовнішньої різі різенарізними головками є більш продуктивним порівняно з нарізуванням різі плашками.

Залежно від розташування гребінок розрізняють такі типи різенарізних головок: з радіальним розташуванням гребінок для точних різей, тангенціальним розташуванням гребінок для менш точних різей. За конструкцією гребінок різенарізні головки можуть бути плоскими (призматичними) і круглими (дисковими). Для підвищення продуктивності різенарізні головки виготовляють такими, що самовідкриваються.

Нарізування зовнішньої різі різцями і гребінками. Різьбові різці і гребінки застосовують при нарізуванні особливо точних зовнішніх різей, а також при чистовому нарізуванні ходових трапецеїдальних і прямокутних різей. Застосовують стрижневі, призматичні, а також круглі різьбові різці. Профіль різьбового різця являє собою профіль западини різі, що нарізається. При чистовому нарізуванні передній кут різців приймають таким, що дорівнює нулю. Це забезпечує точність профілю. При чорновому нарізуванні величина переднього кута складає 5...20° для полегшення різання, причому для твердих сталей беруть менші значення кутів, а для в'язких сталей – великі значення. Нарізування різьбовими різцями є малопродуктивною операцією, для повного нарізування ниток необхідно виконати кілька основних ходів.

Різьбові гребінки мають кілька різальних лез, різі нарізають за один основний хід. Цей процес більш продуктивний, але його не завжди можна застосувати через наявність у гребінки значної західної частини.

Профіль різі залежить від профілю різця або гребінки і правильного їх установлення відносно деталі. Для збереження точності профілю різця застосовують фасонні різці – призматичні і дискові.

Вихровий метод нарізування різі. Цим методом нарізають зовнішні і внутрішні різі діаметром більш 50 мм, 7-го квалітету точності, із шорсткістю поверхні $R=1,6...0,8$ мкм на деталях з високоміцних матеріалів.

Устаткування – токарно-гвинторізні, різенарізальні і різефрезерні верстати. Деталь закріплюють у центрах (для зовнішньої різі) або в патроні верстата (для внутрішньої різі), а різьбову головку з двома або чотирма різцями – на супорті верстата ексцентрично відносно осі деталі.

Головка приводиться в обертання з частотою $1000...3000$ мін^{-1} від спеціального приводу, при цьому різці описують коло. Періодично кожен різець стикається з поверхнею обертової заготовки по дузі і прорізає серпоподібну канавку, що має профіль різі.

Частота обертання заготовки – $30...300$ хв^{-1} залежно від оброблюваного матеріалу, діаметра і кроку різі. Вісь різцевої головки нахилена відносно осі заготовки на величину кута підйому різі.

Режим різання при вихровому нарізуванні різі: швидкість різання, що відповідає швидкості обертання різця, – $150...450$ м/хв, подача на оборот різця – $0,2...0,8$ мм. Процес проводиться без охолодження інструменту.

Різефрезерування. Різефрезерування широко застосовують для одержання великої зовнішньої і внутрішньої трикутної і трапецеїдальної різі. Точність різефрезерування зовнішніх різей у межах 6–8-го квалітету, а внутрішніх – 8-го квалітету при порівняно невисокій шорсткості поверхні. Нарізування різі здійснюється дисковою або груповою фрезею.

Дискові фрези застосовують при нарізуванні різі з великим кроком і великим профілем за один основний хід. Профіль фрези відповідає профілю різі. Вісь фрези розташовують під кутом до осі деталі таким, що дорівнює куту підйому різі. У процесі нарізування різі фреза обертається і переміщується поступально уздовж осі повільно обертової заготовки. Поздовжнє переміщення фрези за один оборот деталі має відповідати кроку різі.

Групові фрези застосовують для коротких різей із дрібним кроком. Довжина групової фрези звичайно приймається на $2...5$ мм більше довжини різі, що фрезерується. Фреза розташовується паралельно осі заготовки. Попередньо роблять врізання фрези на глибину різі, після чого вмикають подачу. За час повного обороту деталі фреза переміщується на величину кроку різі.

Накочування різі. Накочування різі – процес пластичного деформування заготовки спеціальним інструментом, на якому відтворено профіль різі.

Розрізняють два способи накочування: плоскими плашками і роликками.

Плоскими плашками накочують кріпильні різі діаметром $3...24$ мм і довжиною до 125 мм з точністю 7...9-го квалітету і шорсткістю різьбової поверхні $R = 1,6...0,8$ мкм. *Роликками* можна накочувати різі і на по-

рожніх деталях з матеріалу з $\sigma_s \leq 1080$ МПа. Точність накочування різи роликами – 8–6-й квалітети, шорсткість – $R = 0,4 \dots 0,2$ мкм.

Звичайна попередня обробка перед накочуванням різи – чистове обточування. Найбільш придатні для накочування різей матеріали з відносним подовженням більш 10...12%. Стійкість плашок і роликів при накочуванні різей на деталях зі сталі середньої жорсткості складає 30...50 тис. деталей.

8.6. Види координатної обробки фрезеруванням [1, с. 61-72; 5, с. 253; 42, с. 59; 25, с. 2-14]

При *2,5-координатній* обробці одночасно використовують не більш двох осей. Третя вісь служить, в основному, як настановна для підведення і відведення інструменту. Призначення *2,5-координатного* фрезерування – обробка площин, перпендикулярних до осі інструменту.

Трикоординатне фрезерування з використанням одночасно трьох осей верстата призначено для об'ємної обробки поверхонь при незмінному напрямку осі інструменту в просторі.

П'ятикоординатне об'ємне фрезерування виконується одночасно трьома лінійними і двома кутовими переміщеннями інструменту за програмою.

8.7. Види фрезерної обробки [5, с. 262-267; 42, с. 60-61; 52, с. 323-335]

При фрезеруванні площин торцевими і циліндричними фрезами розрізняють грубу, чорнову напівчистову і чистову обробку. *Груба обробка* виконується при видаленні припуску більш 8 мм, а також при роботі з коркою. *Чорнова обробка* ведеться з відносно рівномірним припуском без кірки, з глибиною різання 3...8 мм. *Напівчистова обробка* виконується з рівномірним припуском і глибиною різання 1,5...3 мм. Шорсткість обробленої поверхні $R \leq 6,3$ мкм, економічна точність – 9...11-й квалітет. *Чистова обробка* передбачена для видалення рівномірного припуску з глибиною різання до 1,5 мм. Шорсткість обробленої поверхні $R \leq 3,2$ мкм, економічна точність – 7...8-й квалітет.

При фрезеруванні циліндричними і дисковими фрезами розрізняють зустрічне і попутне фрезерування.

Зустрічне фрезерування здійснюється при протилежних напрямках руху фрези і заготовки в місці їхнього контакту.

Попутне фрезерування виконується при збіжних напрямках руху фрези й оброблюваної заготовки в місці їхнього контакту.

При зустрічному фрезеруванні товщина зрізу змінюється від нуля при вході зуба фрези до максимального значення при виході зуба із заготовки.

При попутному фрезеруванні товщина зрізу змінюється від максимальної величини в момент входу зуба в заготовку до нуля при виході. Момент входу зуба має ударний характер.

При призначенні припусків на чистову обробку необхідно врахувати специфіку різання при фрезеруванні. Навіть при чистових режимах фрезерування кінцевими фрезами похибки, спричинені деформацією інструменту, можуть перевищувати допуск на розмір.

При чистовому зустрічному фрезеруванні стійкість інструменту і шорсткість поверхні гірше, але одночасно деформації фрези менше, ніж при попутному фрезеруванні.

При торцевому фрезеруванні також розрізняють попутне і зустрічне фрезерування. При зміні напрямку обертання фрези схеми попутного і зустрічного фрезерування відповідно міняються місцями. При симетричному торцевому фрезеруванні незалежно від напрямку обертання фрези мають місце обидва види фрезерування.

Для усіх видів фрезерування розрізняють глибину і ширину фрезерування. *Глибина фрезерування* – відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями. *Ширина фрезерування* – ширина обробленої за один основний хід поверхні.

За напрямком обертання фрези поділяють на право- і ліворізальні. *Праворізальні* фрези при роботі обертаються за годинниковою стрілкою, якщо на фрезу дивитися з боку кріпильної частини. *Леворізальні фрези* при роботі обертаються проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку кріпильної частини.

8.8. Типові траєкторії інструменту при фрезеруванні [5, с. 255-257; 42, с. 61-62; 52, с. 550-554]

Існують два основних методи формування траєкторії фрези при фрезерній обробці: зиг'загоподібний і спіралеподібний.

Зиг'загоподібний метод: інструмент у процесі обробки робить рух у протилежних напрямках уздовж паралельних рядків. Основні недоліки методу: змінний характер фрезерування – уздовж одного рядка інструмент працює в напрямку подачі, уздовж наступного рядка – у напрямку, протилежному подачі. Це призводить до змін сил різання, що негативно позначається на точності і якості поверхні. Інший недолік зиг'загоподібної схеми – підвищена кількість зламів на траєкторії інструменту.

Зиг'загоподібна схема може мати кілька різновидів, пов'язаних з порядком обробки меж: без обходу меж; з проходом уздовж меж наприкінці обробки області; з попереднім проходом уздовж меж.

Спіралеподібний метод: обробка ведеться круговими рухами інструменту уздовж зовнішньої межі області обробки на різній відстані від неї. Спіралеподібна схема забезпечує незмінний напрямок фрезерування і не дає додаткових (крім наявних на контурі) зламів траєкторії. Спіралеподібна схема має два основних різновиди: рух інструменту від центра області до периферії і від границі межі до її центра. Перша схема використовується при обробці колодязів з тонким дном на деталях з легких сплавів.

Кожна з різновидів спіралеподібної схеми може виконуватися з

обертанням інструменту в напрямку за годинниковою стрілкою або проти неї при спостереженні з боку шпинделя. Для побудови траєкторії інструменту при чорнових технологічних переходах важливим є питання про призначення відстані між сусідніми основними ходами, оскільки воно визначає глибину різання.

8.9. Багатокоординатна об'ємна обробка [5, с. 261-262, 340-354; 43, с. 27-28]

Побудова ТП виготовлення деталей на багатокоординатному устаткуванні з ЧПК і методика підготовки керуючих програм визначаються видом завдання обводотвірної поверхні:

– *поверхнями подвійної кривизни* (об'ємні деталі силового каркаса планера);

– *лінійчастими поверхнями* (елементи механізації крила – деталі передкрилків, закрилків, дефлекторів, панелей; елементи об'ємного обводотвірного оснащення – макети поверхонь, обтяжні пуансони, пристрої для виклеювання, малковані рубильники, формблоки).

При трикоординатній об'ємній обробці заготовок розраховують і програмують траєкторію переміщення центра торця інструменту.

Для багатокоординатної об'ємної обробки необхідний розрахунок квазіеквідистантної траєкторії переміщення центра повороту інструменту по кутових координатах з чітким витримуванням величини вильоту інструменту по лінійних координатах.

Для автоматизації фрезерної об'ємної обробки створено п'ятикоординатні фрезерні верстати з ЧПК моделей ФП-11, ФП-11У, ФП-14, МА-655С5Н. Два кутових повороти у поєднанні з трьома прямолінійними переміщеннями дозволяють установити вісь фрези по нормалі до оброблюваної поверхні відносно будь-якої точки робочої поверхні стола.

Внаслідок кутових переміщень інструменту при обробці на багатокоординатних верстатах виникають специфічні явища в області режимів різання. Так, при розвороті інструменту в площині напрямку подачі відбувається зміна кута входу зуба фрези в метал, тобто фактично змінюються геометрія інструменту і відповідно характер процесу різання. Одночасно відбувається значна (до двох разів) зміна величини подачі внаслідок алгебричного додавання швидкості кутових переміщень до заданої за розрахунковими режимами швидкості лінійної подачі.

Ці та ряд інших факторів технолог-програміст повинен обов'язково враховувати в процесі проектування операційного ТП багатокоординатної об'ємної обробки.

8.10. Електрофізичні методи розмірної обробки [24, с. 217-220; 49, с. 202-223; 36, с. 141-150]

Відповідно до прийнятої класифікації застосовувані в промисловості електрофізичні методи обробки розділяють на чотири групи.

Перша група охоплює електроерозійні методи обробки струмопровідних матеріалів. Методи основані на використанні енергії електричних розрядів, збуджуваних між інструментом і заготовкою.

Друга група методів обробки основана на впливі на заготовку концентрованих променів з високою густиною енергії.

Третя група охоплює методи імпульсного ударного впливу на заготовку частинок абразиву з частотою ударів, що відповідає ультразвуковому діапазону.

Четверта група поєднує електрохімічні методи, основані на явищі анодного розчинення.

Електроерозійна обробка (ЕРО) заготовок виконується профільованим або непрофільованим електродом. У першому випадку форма електрода відповідає формі одержуваної поверхні, у другому – електрод має найпростішу геометричну форму у вигляді дроту, диска або стрижня.

Електрод-інструмент (ЕІ) здійснює формоутворення при поступальному русі. Форма ЕІ є зворотним відбитком поверхні деталі. Для підвищення стабільності процесу ЕІ надається додатковий зворотно-поступальний рух у напрямку подачі.

Така ж схема використовується при прошиванні отворів.

Формоутворення шляхом взаємопереміщення оброблюваної деталі і непрофільного ЕІ дозволяє здійснювати вирізання складнопрофільних деталей або розрізування заготовок.

ЕРО застосовується для одержання порожнин у штампах і пресформах з важкооброблюваних матеріалів, прошивання глибоких і наскрізних отворів, шліфування зовнішніх і внутрішніх поверхонь, розрізування заготовок і вирізання з них деталей складного профілю.

ЕРО ефективна тільки для важкооброблюваних матеріалів.

Для підвищення інтенсивності руйнування металу міжелектродний простір (МЕП) заповнюють діелектричною рідиною, тобто процес ЕРО проводять у ванні, заповненій робочим середовищем (гасом, дистильованою водою, солярним маслом).

При ЕРО відсутній безпосередній контакт між ЕІ і заготовкою.

За енергією імпульсу режими ЕРО підрозділяють незалежно від виду обробки на три основні групи: *жорсткі* (5,0...0,5 Дж), *середні* (0,5...0,05 Дж) і *м'які* (менш 0,05 Дж). За технологічними показниками ці режими відповідають чорновим, чистовим і обробним режимам різної обробки.

Продуктивність обробки залежить від електроерозійної оброблюваності металу, поєднання марок матеріалів ЕІ і заготовки, потужності імпульсу, реалізованого в МЕП. Найбільша гранична потужність досягається при ЕРО мідними електродами, менша – алюмінієвими, найменша – електродами з графітованих матеріалів.

Лазерні методи обробки високоміцних матеріалів. Процеси розподілу матеріалів лазерним випромінюванням основані на переда-

чі енергії квантів світла тепловим коливанням ґратки твердого тіла, тобто на термічній дії світла.

При впливі лазерного випромінювання на речовину виділяють групи факторів, що визначають умови взаємодії і кінцевий результат обробки.

I. Теплофізичні властивості матеріалу заготовки: теплопровідність; температура плавлення, випаровування, фазових переходів; питомі енергії плавлення і випаровування; коефіцієнт відбиття і показник поглинання.

II. Оптичні, енергетичні і тимчасові параметри лазерного випромінювання: довжина хвилі і ступінь поляризації випромінювання; потужність і густина потужності; енергія в імпульсі, тривалість і частота проходження імпульсів.

III. Технологічні умови проведення процесу: швидкість переміщення променя або заготовки; діаметр вихідного d і сфокусованого d_f пучка; кути розбіжності пучка θ і сходження променя φ ; тиск технологічного газу P_0 і діаметр сопла D_c ; зазор між соплом і оброблюваним матеріалом Δ ; положення фокальної площини f , Δf відносно поверхні заготовки товщиною h , ширина розрізу b і ширина зони термічного діяння $b_{зТВ}$.

Режими газолазерного різання високоміцних сталей: потужність випромінювання – 0,3...0,9 кВт, швидкість різання – 0,5...5 м/хв, товщина матеріалу – 0,5...10 мм. Зона термічного діяння складає не більш 10% товщини матеріалу.

Застосування відповідних координатних пристроїв дозволяє здійснити лазерне різання або термічну обробку по складному контуру в двох, трьох і навіть п'яти координатах.

Ультразвукова розмірна обробка. Ультразвуковий метод обробки застосовується для виготовлення деталей з будь-яких жорстких і крихких матеріалів – бронескла, кераміки, твердих сплавів та ін. Цей метод обробки оснований на викришуванні твердих і крихких матеріалів при імпульсному вдавненні в них абразиву. Абразивні частинки видовбують у матеріалі поглиблення за формою перерізу торця інструменту, що коливається з амплітудою 0,02...0,06 мм і великим прискоренням. Крім коливального руху інструмент одержує поступальну подачу з невеликим тиском – 0,2...0,5 МПа на оброблюваний матеріал. Точність обробки – 0,01...0,02 мм, шорсткість поверхні $R = 1,6...0,8$ мкм.

Вібратор акустичної головки виконано з магнітострикційного матеріалу. Вібратор, змінюючи під дією змінного магнітного потоку свої розміри, коливається з ультразвуковою частотою 18...25 кГц. Обробка ведеться в середовищі водної суспензії абразиву (карбиду бору, кремнію або корунду).

Найчастіше ультразвукову обробку використовують для одержання наскрізних і глухих порожнин різної форми в перерізі і глибини

до 25...40 мм, що пояснюється гранично простою кінематикою. Однак її застосовують і для обробки довгих пазів, зовнішніх циліндричних і фасонних поверхонь, зовнішніх і внутрішніх різей з використанням більш складної кінематики, а для електропровідних матеріалів – у комбінації з анодним розчиненням.

Електрохімічна (ЕХ) обробка. Електрохімічна обробка металів оснований на їх здатності розчинятися в результаті окисних реакцій, що відбуваються в середовищі електропровідного розчину (електроліту) під дією на нього постійного електричного струму. Такий хімічний процес розчинення металів називається *електролізом*.

Операції можуть бути умовно розділені згідно з технологічним режимом на дві групи: при *невисокій густині струму* (0,02...0,03 А/мм²) у стаціонарному електроліті (ЕХС) і при *високій густині струму* (до 1 А/мм²) у проточному електроліті (ЕХП). На відміну від процесу ЕХС розмірна ЕХП відбувається при безперервному відновленні електроліту, що прокачується під тиском через МЕР.

При електрохімічному *травленні* швидкість обробки визначається величиною знімання металу за одиницю часу і залежно від виду оброблюваного металу, складу електроліту ЕХС має величину 0,05...0,2 мм/хв. Продуктивність електрохімічного *полірування* визначають за тривалістю процесу, що при ЕХС сталей складає 5...10 хв, алюмінієвих сплавів – 2...3 хв.

Анодно-механічна обробка. Анодно-механічна обробка – спосіб знімання металу шляхом хімічного і теплового діяння електричного струму в поєднанні з механічним діянням електрода на оброблювану поверхню. Заготовка з'єднується з анодом, інструмент – обертовий диск – з катодом джерела постійного струму. До місця обробки підводиться струмінь електроліту. У результаті протікання струму через електроліт на поверхні заготовки виникає окисна плівка, що руйнується під впливом диска.

8.11. Види шліфування [52, с. 387-428; 60, с. 136-138]

При шліфуванні розрізняють головний рух різання, зумовлений обертанням круга, і рух подачі, що забезпечують безперервність процесу різання і багатопрохідну обробку.

При шліфуванні розрізняють три види подач:

– подача в тангенціальному напрямку відносно кола круга. При круглому шліфуванні цей вид подачі визначається коловою швидкістю обертання деталі v_d , м/хв;

– подача в напрямку, що збігається з віссю обертання шліфувального круга. При круглому шліфуванні ця подача називається поздовжньою S_{np} і вимірюється на один оборот деталі, мм/об. Значення S_{np} звичайно вимірюють у частинах ширини круга B ;

– подача в напрямку, перпендикулярному до оброблюваної поверхні. Вона називається поперечною S_t або S_m і вимірюється на один

хід круга (мм/хід), подвійний хід стола (мм/дв.хід) або при відсутності поздовжньої подачі при круглomu шліфуванні – на один оборот деталі (мм/об).

Основні види шліфування кругами: зовнішнє і внутрішнє кругле; безцентрове, плоске; спеціальні види шліфування (зубошліфування, різешліфування, шліцешліфування, шліфування робочих частин різального інструменту). Шліфування в центрах застосовують для обробки зовнішніх циліндричних, конічних і фасонних поверхонь.

Зовнішнє кругле шліфування буває трьох різновидів:

- поздовжнє або багатолодове плоским кругом;
- глибинне плоским кругом з конічною фаскою;
- врізне плоским або фасонним кругом для деталей із прямолінійною або криволінійною твірною.

Внутрішнє кругле шліфування буває двох різновидів – патронне і планетарне.

Внутрішнє кругле патронне шліфування застосовують при обробці невеликих заготовок, а внутрішнє кругле планетарне – при обробці важких і громіздких заготовок. В обох випадках здійснюється поздовжня подача шліфувального круга уздовж осі отвору, що шліфується: у першому випадку - рухом шпиндельної головки, у другому - рухом стола. Звичайно діаметр круга при внутрішньому шліфуванні складає від 0,7 до 0,9 діаметра отвору заготовки, що шліфується. Глибина різання залежно від діаметра отвору при попередньому шліфуванні складає від 0,005 до 0,02 мм, при чистовому – від 0,002 до 0,01 мм.

При *безцентровому зовнішньому шліфуванні* заготовка розташовується між шліфувальним і ведучим кругами, а знизу підтримується упором (ножем). Для забезпечення поздовжнього переміщення заготовки вісь ведучого круга встановлена під невеликим кутом до осі шліфувального круга.

При *плоскому шліфуванні* обробляються звичайно плоскі поверхні деталей, закріплених на столі. Цей процес можна здійснити як периферією, так і торцем шліфувального круга. Шліфування периферією круга забезпечує більш точну обробку.

8.12. Обробні методи абразивної обробки [52, с. 429-452; 60, с.139-141]

Обробні методи абразивної обробки поділяють на дві групи:

- обробка вільним абразивом – притирання, полірування, гідроабразивна, віброабразивна й ультразвукова;
- обробка інструментом з невільним абразивом – хонінгування, суперфінішування, притирання абразивними брусками.

Притирання забезпечує найбільш високу точність і високу якість поверхневого шару. Процес звичайно складається з декількох переходів: попереднього, проміжного й остаточного. Притиральні суміші, що наносяться на диск-притир, застосовують у вигляді паст і суспензій з

концентрацією абразивів (дрібних шліфпорошків і мікропорошків) від 3 до 30%. Тиск на деталь невеликий – до 0,05 МПа. При відносному русі притира і деталі відбувається зняття тонких шарів матеріалу. На попередніх операціях застосовують м'які пористі притири, а на остаточних – тверді, звичайно скляні, притири. Для одержання параметра шорсткості поверхонь $R_a = 0,02...0,04$ мкм застосовують алмазну пасту в суміші з гасом, олеїноюю і стеариноюю кислотами.

Хонінгування є обробною операцією, що дозволяє одержати високу точність отворів – до 7-го квалітету, малий параметр шорсткості поверхонь $R_a = 0,3...0,08$ мкм, спеціальну сітку мікропрофілю оброблюваної поверхні для утримання на поверхнях мастильного матеріалу. Хонінгування застосовують для обробки отворів діаметром до 1000 мм.

Обробка виконується дрібнозернистими абразивними брусками, закріпленими в хонінгувальній головці – хоні. Хонінгування виправляє відхилення форми, що з'явилися в результаті попередньої обробки в межах припуску, що знімається, але відхилення розташування осі отвору хонінгуванням не виправляються, тому що інструмент установлено шарнірно.

При хонінгуванні внутрішніх поверхонь хонів надається три рухи: обертання D_r , рух подачі уздовж осі D_s , радіальний рух подачі брусків. Сукупність цих трьох рухів створює умови для різання, самозаточування і характерний сітчастий рисунок слідів траєкторії.

Розрізняють хонінгування двох видів: попереднє й остаточне. Для остаточного хонінгування залишають від 0,2 до 0,3 загальні припуски на обробку.

Продуктивність хонінгування залежить від характеристики абразивних брусків і тиску на них.

Оптимальні режими обробки: тиск на бруски від 40 до 60 МПа, при обробці сталі швидкість різання $v = 45...60$ м/хв, для алюмінієвих сплавів швидкість різання в два рази більша. Слід також збільшувати швидкість шліфування зі збільшенням жорсткості оброблюваних заготовок.

Температура в зоні різання при хонінгування не перевищує 150°C и не впливає на структурні зміни оброблюваної поверхні. Хонінгування супроводжується охолодженням з великою витратою мастильно-охолоджуваної рідини (МОР) (від 50 до 60 л/хв) для своєчасного видалення шламу і стружки із зони обробки. Як МОР найбільшого поширення одержала суміш гасу і веретеного мастила.

Суперфінішування являє собою процес тонкої обробної обробки поверхонь заготовок брусками, виготовленими з різних абразивних матеріалів.

При суперфінішуванні заготовка, що має вісь обертання, робить обертальний рух D_r , а бруски, закріплені пружно, – зворотно-поступальний рух D_s уздовж твірної оброблюваної поверхні.

Крім того, відбувається ще вібраційний рух брусків з частотою коливань до 50 Гц і амплітудою L від 2 до 5 мм. На державку з брусками діє тиск P від 50 до 300 МПа. Кількість брусків при суперфінішуванні залежно від діаметра оброблюваної заготовки складає від одного до чотирьох. Обробка виконується із застосуванням різних МОР малої в'язкості для видалення продуктів обробки й одержання тонкої масляної плівки.

Бруски мають квадратний переріз, перед початком обробки їм додають кривизну, що відповідає кривизні оброблюваної поверхні. Принцип вибору характеристик абразивних брусків той же, що для шліфувальних кругів і брусків при хонінгуванні.

При обробці сталевих і алюмінієвих заготовок застосовують такий режим різання: швидкість заготовки v_s – від 30 до 45 м/хв, швидкість руху брусків уздовж твірної – до 0,5 м/хв, тиск на бруски P – від 50 до 150 МПа, амплітуда коливань L – до 5 мм.

Після суперфінішування параметр шорсткості R_a складає від 0,16 до 0,02 мкм. При суперфінішуванні знімається дуже невеликий припуск – від 5 до 10 мкм. Обробка закінчується в міру зрізання гребінців на поверхні при наставанні моменту, коли тиску на бруски стає недостатньо, щоб подолати тонку масляну плівку.

Полірування може виконуватися еластичними кругами – повстяними, фетровими, абразивними стрічками, абразивно-рідинною суспензією. Полірування виконують у два-три переходи з послідовним застосуванням більш дрібних зерен абразиву.

Для полірування деталей з кольорових металів застосовують круги з м'якої повсті. Круги шаржують пастами необхідної зернистості, зв'язуючим є віск, парафін, жири. У пасти додають активні кислоти для поліпшення поліруючих властивостей. У пасти великої і середньої зернистості додають стеаринову кислоту, а в дрібнозернисту пасту ГОИ – суміш стеаринової й олеїнової кислот.

При поліруванні еластичними кругами припуск складає від 0,005 до 0,015 мм. Полірування кругами відбувається при швидкостях до 50 м/с.

У промисловості широко застосовують полірування абразивними стрічками. Абразивна нескінченна стрічка обертається на шківках зі швидкістю головного руху. У місці контакту з заготовкою стрічка підтримується спеціальною опорою, що має відповідний профіль.

Швидкість стрічки залежить від оброблюваного матеріалу. При поліруванні кольорових металів швидкість стрічки складає від 40 до 50 м/с, сталей – від 15 до 20 м/с, важкооброблюваних матеріалів – близько 10 м/с.

Тиск деталі на стрічку також залежить від оброблюваного матеріалу і площі контакту і коливається від 3 до 25 МПа. Полірування на нескінченних абразивних водостійких стрічках відбувається з охолодженням різними видами емульсій. Стрічкове полірування більш продуктивне, ніж полірування кругами.

Абразивно-рідинне полірування успішно використовують для обробки заготовок, що мають складну конфігурацію (обробка профільних штампів, форм для лиття під тиском, декоративне полірування). Абразивно-рідинне полірування заготовок виконують у спеціальних камерах струменем рідини, насиченої абразивом, зі швидкістю близько 50 м/с під тиском від 10 до 100 МПа.

Віброабразивна обробка здійснюється в контейнерах, заповнених абразивними зернами і рідиною, в яких розміщують деталі. Відносне переміщення зерен абразиву й оброблюваних поверхонь відбувається за рахунок надання контейнерові коливань у декількох напрямках. Віброабразивна обробка дозволяє успішно механізувати трудомісткі операції з очищення, зняття задирок і полірування деталей складної форми.

8.13. Контроль точності розмірної обробки на базі координатно-вимірювальних машин [6, с. 37-56; 31, с. 9-30; 52, с. 592-597]

Контроль забезпечує порівняння розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталі з параметрами, заданими кресленням. Методи контролю:

– *абсолютний* (координати окремих точок контуру заміряються і зіставляються з даними креслення);

– *відносний* (визначається відхилення геометричних параметрів контрольованого об'єкта від еталонного об'єкта).

Гранична похибка методу виміру є складовою частиною допуску на геометричні параметри поверхні деталі (не більш 20...30%).

Обов'язковим елементом переходу на незалежний метод виготовлення є контроль геометричних елементів деталей абсолютним методом. Цим пояснюється поява контрольних координатно-вимірювальних машин (ККВМ) як прецизійних і універсальних вимірювальних систем.

Принцип дії ККВМ оснований на реєстрації переміщення вимірювального щупа відносно контрольованої деталі по трьох і більш координатах.

ККВМ можна розглядати як систему координат, в якій визначається взаємне переміщення вимірювального щупа і контрольованого об'єкта. ККВМ виконує збір інформації про координати точок вимірюваної поверхні з наступною обробкою і наданням у зручному для користування вигляді.

ККВМ класифікують за такими критеріями:

1) *об'єм вимірювального простору*. Малогабаритні ККВМ мають об'єм вимірювального простору до 1,0 м³, середньогабаритні до 2,5 м³, великогабаритні – більш 2,5 м³;

2) *точність вимірів*. Для прецизійних ККВМ регламентується координатна похибка менш 10 мкм/м; у виробничих ККВМ координатна

похибка вимірів має діапазон 10...25 мкм/м; для ККВМ з низькою точністю допускається координатна похибка вимірів більш 25 мкм;

3) *компоновання*. Компоновочні рішення визначають схему і точність переміщення контактної щупа в обсязі вимірювального простору ККВМ. Консольні ККВМ звичайно малогабаритні, низької точності. Портальні ККВМ найчастіше середньогабаритні, за точністю вимірів – виробничі й прецизійні. В авіабудуванні використовують ККВМ на колонах або бруківки (великогабаритні, за точністю вимірів – виробничі).

Програмне забезпечення ККВМ передбачає такі типові операції контролю:

позиціонування – переміщення вимірювального наконечника в задану точку (допоміжна транспортна операція перед виміром);

вимірювальне позиціонування – фіксація фактичного значення координат вимірюваної точки при контакті щупа з поверхнею;

сканування – переміщення вимірювального наконечника в режимі спостереження за заданим законом – координатним кроком, кутовим кроком;

центрування – вид вимірювального позиціонування для визначення координат центра отвору.

Модель ККВМ вибирається з урахуванням геометричних параметрів і допусків об'єктів виміру, складності вимірювальних задач, повторюваності типових задач контролю.

9. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ [5, 15, 24, 53, 60]

ТП розмірної обробки різанням являє собою сукупність технологічних операцій, виконуваних на металорізальних верстатах. Необхідне положення заготовки в робочій зоні верстата містить дві стадії: базування і закріплення.

Пристрій, призначений для базування і закріплення заготовки, називається верстатним пристроєм (ВП).

9.1. Базування заготовок при розмірній обробці [24, с. 38-45; 60, с. 223-224; 15, с. 2-12]

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

Закріплення – прикладання сил і пар сил до предмета праці для забезпечення незмінності його положення, досягнутого при базуванні.

База – поверхня, вісь, точка, що належать заготовці або виробу і використовуються для базування. За призначенням бази поділяють на три види: конструкторські, технологічні й вимірювальні.

Конструкторські бази використовують для визначення положення деталі у виробі. Конструкторські бази підрозділяють на основні та допоміжні. Основна база служить для визначення положення дета-

лі, а допоміжна – для визначення положення деталі, що приєднується до даної.

Технологічні бази використовують для забезпечення положення заготовки або виробу при виготовленні або ремонті.

Вимірjuвальні бази використовують для визначення відносного положення заготовки або виробу і засобів виміру.

Незалежно від призначення бази можуть розрізнятися за характером проявлення (схована і явна) і за ступенями вільності (настановна, направляюча, опорна, подвійна направляюча і подвійна опорна), що віднімаються від заготовки. *Комплектом баз* називається сукупність трьох баз, що утворюють систему координат заготовки. Спрощено вважають, що контакт дотичних тіл відбувається в опорних точках, що символізують кожен зв'язок заготовки з вибраною системою координат. Схему розташування опорних точок на базах називають *схемою базування*.

Для незмінності положення заготовки і протидії силам різання до неї за допомогою затискачів прикладають зусилля, що здійснюють силове замикання в вибраній системі координат. Графічне позначення опор і затискачів у технологічній документації визначено стандартами. Для орієнтованого положення заготовки в вибраній системі координат на неї необхідно накласти шість двосторонніх геометричних зв'язків. Кожна опорна точка віднімає в деталі один ступінь вільності.

Правило шести точок: для повного базування заготовки необхідний комплект із трьох ортогональних площин, що мають шість опорних точок.

9.2. Основні схеми базування монолітних заготовок [60, с. 224-230]

Деталі літаків, вертольотів, одержувані розмірною обробкою різанням, мають складну геометричну форму. На деталях можна виділити характерні геометричні поверхні – плоскі, циліндричні, конічні та ін.

Щоб від призматичної заготовки відняти три степені вільності (можливості переміщення уздовж осі Z й обертання навколо осей X, Y), необхідно зв'язати її нижню поверхню з площиною XOY трьома двосторонніми зв'язками.

База, використовувана для накладення на заготовку зв'язків, що позбавляють її трьох степенів вільності (переміщення уздовж однієї координатної осі і поворотів навколо двох інших осей), називається *настановною базою*.

База, використовувана для накладення на заготовку зв'язків, що позбавляють її двох степенів вільності (переміщення уздовж однієї координатної осі і поворотів навколо іншої осі), називається *направляючою базою*.

База, використовувана для накладення на заготовку зв'язків, що позбавляють її одного степеня вільності (переміщення уздовж однієї

координатної осі або повороту навколо цієї ж осі), називається опорною базою.

Як настановну базу для призматичних заготовок рекомендується вибирати поверхню з максимальними габаритними розмірами, як направляючу базу – поверхню найбільшої довжини, а як опорну базу – найбільш коротку поверхню заготовки.

Для запобігання прогину довгих або деформації нежорстких заготовок від зусилля різання застосовують допоміжні опори.

Для базування циліндричної заготовки її бічну поверхню з'єднують двома зв'язками з площиною YOZ і двома зв'язками – з площиною XOY , позбавляючи заготовку чотирьох степенів вільності – можливості переміщення уздовж осей X і Z , а також поворотів навколо цих осей. Поверхня циліндричної заготовки, що має чотири опорні точки, є *подвійною направляючою базою*.

Щоб заготовка втратила можливість переміщуватися уздовж осі Y , необхідно з'єднати її торець зв'язком із площиною XOZ . Для забезпечення певного положення заготовки відносно власної осі має бути передбачений зв'язок у вигляді опорної точки на поверхні, наприклад шпонкової канавки.

Площини заготовки, що мають по одній опорній точці, відповідно до раніше наведеного визначення служать опорними базами.

При установці заготовок по внутрішніх циліндричних поверхнях як опори застосовують циліндричні, конічні та зрізані *пальці*. Високий циліндричний палець (жорстка оправка) еквівалентний чотирьом опорним точкам. Низький циліндричний і конічний пальці еквівалентні двом зв'язкам, високий зрізаний (ромбічний) палець накладає два зв'язки, низькі зрізані й конічний зрізаний пальці – один зв'язок.

Зрізання пальців полегшує установлення на них заготовок. Додатковий зазор у напрямку, перпендикулярному до зрізу, компенсує похибку у відстанях між базами заготовки і відповідних опорних елементів пристрою.

Якщо не виконувати зріз пальця, то допуски міжцентрових відстаней можна компенсувати тільки досить великими зазорами вибраних посадок, що викликає неприпустимі зсуви заготовки відносно пальців.

Зрізані пальці застосовують у комбінації з циліндричними або конічними пальцями при базуванні заготовки по площині і двох отворах.

З аналізу основних схем базування випливає, що для повної орієнтації заготовки у просторі необхідний комплект із трьох поверхонь, що мають шість опорних точок. Зайві опори роблять установку статично невизначеною і знижують точність базування.

Кількість опор і їхнє розташування вибирають відповідно до схеми базування. При розробці схеми базування складають операційний ескіз, на якому з використанням умовних позначок указують розташування опор і затискачів.

На операційному ескізі оброблювана заготовка зображується в

тому положенні, який вона набуває в результаті виконання даної операції.

Допоміжні опори або підводять до поверхонь заготовок (підводжувана опора), або закріплюють (самоустановлювана опора) після установлення заготовки на основних опорах. Затискні елементи слід розташовувати в одній площині з основними опорами.

9.3. Похибка базування [60, с. 231-233]

Похибка базування – відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при базуванні від необхідного.

Залежно від отриманих у попередніх операціях неточностей форми і розмірів поверхонь, що складають технологічну базу, змінюватиметься положення конструкторської бази відносно опорних елементів пристрою. Похибка базування за величиною дорівнюватиме проекції зсуву конструкторської бази на напрямок заданого розміру деталі.

Похибка базування виникає в результаті базування заготовки в пристрої по технологічних базах, не пов'язаних з конструкторськими базами. При базуванні по конструкторській основній базі, що є і технологічною базою, похибки базування не виникає.

Похибки базування можна визначати розрахунком геометричних зв'язків прийнятої схеми базування.

Фактичну похибку базування визначають геометричними розрахунками, виходячи з допусків на базисні розміри.

9.4. Структура спеціальних верстатних пристроїв [5, с. 155-167; 24, с. 60-88; 53, с. 66-110; 60, с. 234-241]

Спеціальні верстатні пристрої (СВП) розділяються: за видами верстатів (фрезерні, токарні, свердлильні та ін.); за кількістю встановлених у СВП оброблюваних заготовок (одномісні, багатомісні або групові); за конструктивною ознакою (з ручним, механізованим і автоматизованим затиском заготовки).

Кількість СВП залежить від об'єкта виробництва, стадії його освоєння, парку верстатів (фрезерні СВП ~ 39%, свердлильні ~ 26%, токарні ~ 13%, інші ~ 22%).

Як основні опори застосовують штирі з плоскою, сферичною або насічною головкою і пластини. Отвори під штирі в корпусі пристрою виконують наскрізними.

Вибір типу і розмірів жорстких опор залежить від розмірів і виду баз (настановні, направляючі й опорні):

а) заготовки з обробленими площинами великих розмірів установлюють на пластини, а невеликих – на штирі з плоскою головкою;

б) заготовки з необробленими поверхнями незалежно від розмірів установлюють на штирі зі сферичною або насічною головкою.

Пластини з отворами на контактній поверхні і штирі з насічною головкою доцільно закріплювати на вертикальних стінках корпусу

СВП. При переміщенні встановлюваної заготовки стружка зсовується з опорної поверхні в поглиблення (косі пази) пластини і не порушує контакту при установленні.

Для запобігання прогину довгих або деформації нежорстких заготовок від зусилля різання застосовують допоміжні опори. Допоміжні опори або підводять до поверхонь заготовок (підвідна опора), або закріплюють (самоустановлювана опора) після установлення заготовки на основних опорах.

Затискні елементи слід розташовувати в одній площині з основними опорами. Затискні деталі і механізми утримують заготовку від зсувів і зменшують вібрації системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь».

Найбільш простим видом універсальних затискачів є затискні гвинти, яким надають рух рукоятками або маховичками.

Комбінації гвинтових пристроїв з важелями або клинами називаються комбінованими затискачами, різновидом яких є *гвинтові прихоплювачі*. Будова прихоплювача дозволяє відсувати або повертати його для зручності установлення оброблюваної заготовки.

Сили затиску передаються на оброблювану заготовку за допомогою затискних пристроїв, що складаються з контактних деталей і передатних ланок. Затискні механізми для багатомісних пристроїв мають забезпечувати однакову силу затиску на всіх позиціях.

Для компенсації нерівномірності розмірів оброблюваних деталей використовують плаваючі прихоплювачі, прокладки, вакуумні затискачі з гідрошаром.

Гідрошар – драгледоподібна маса, що має властивості твердого тіла і рідини: не просочується в зазори сполучень без спеціальних ущільнювальних пристроїв, рівномірно передає тиск на затискач.

Для запобігання деформації оброблюваної заготовки контактні деталі слід розташовувати в пристрої напроти основних опор. У випадку закріплення нежорстких заготовок ця вимога є обов'язковою. Контактні деталі при закріпленні заготовки не повинні зрушувати або м'яти її.

Направляючі елементи визначають положення і напрямок дії інструменту при обробці (кондукторні втулки і плити, установи для фрез).

Конструкція і розміри кондукторних втулок для свердління стандартизовані. Втулки бувають постійні і змінні. Постійні втулки застосовують у дрібносерійному виробництві при обробці отвору одним інструментом. Змінні втулки використовують у масовому і крупносерійному виробництві. Швидкозмінні втулки з замком використовують при обробці отвору декількома послідовно змінюваними інструментами. Змінні і швидкозмінні втулки вставляють у постійні втулки, що запресовуються в корпус пристрою.

До направляючих елементів пристроїв відносяться також копіри, застосовувані при обробці фасонних поверхонь складного профілю.

Їхня задача – спрямовувати різальний інструмент по оброблюваній поверхні заготовки для одержання заданої траєкторії руху.

Корпусні деталі – основна частина СВП, на якій розміщені всі елементи пристроїв. Корпус є базовою деталлю пристрій, у ньому монтується затискні пристрої, настановні й направляючі елементи, а також допоміжні деталі й механізми. Корпус сприймає сили, що виникають при обробці різанням, а також зусилля затиску заготовки.

9.5. Універсально-складальні пристрої [5, с. 160-166, 494-498; 60, с. 243-244]

Суть системи універсально-складальних пристроїв (УЗП) полягає в тому, що з універсального набору деталей і складальних одиниць, виготовлених централізовано, компонують різні пристрої для виконання конкретної операції.

Номенклатуру комплексу елементів УЗП поділяють на п'ять груп:

Базові деталі: конусні оправки, базові і токарні косинці, базові кільця, плити, тобто деталі, що звичайно служать основою УЗП.

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

Корпусні деталі: косинки, прокладки, підкладки, клини, планки тощо. Деталі корпусної групи призначені для утворення корпусу пристрою. Крім того, вони можуть виконувати функції базових деталей або використовуватися як з'єднувальні елементи. На них також є Т-подібні шпонкові пази.

Встановлювально-направляючі деталі: шпонки, штирі, пальці, призми, кондукторні втулки, центри та ін. Призначені для виставлення і фіксації корпусних деталей УЗП відносно базових, а також для настроювання виконавчих розмірів пристрою, базування заготовок і напрямку різального інструменту.

Кріпильно-притискні деталі: прихоплювачі та планки, болти, гвинти, шпильки, гайки, шайби, хомутики, заглушки та ін. Служать для з'єднання між собою елементів пристрою і закріплення в пристрої заготовок.

Складальні одиниці: поворотні головки, опори і кронштейни, центрові бабки, затискачі та ін. Їх застосування дозволяє виконувати монтаж більш раціональних і компактних УЗП з мінімальною кількістю вхідних у них корпусних, кріпильно-притискних та інших деталей.

Кріпильні деталі УЗП виконуються з високоміцних сталей 38ХА, 40Х (загартування до 36–42 НRC₃), що дозволяє зменшити перерізи болтів при забезпеченні необхідної міцності. Більшість поверхонь у деталях УЗП виконують із шорсткістю R = 0,4...0,1 мкм.

Вихідними даними для конструювання УЗП є метод обробки (точіння, фрезерування, свердління тощо), креслення деталі, технологічні бази для установлення заготовки, тип верстата і кількість одночасно

оброблюваних у пристрої заготовок.

Процес створення УЗП складається з розробки монтажної схеми пристрою відповідно до вимог ТП і наступного складання пристрою з нормалізованих елементів з налагодженням виконавчих розмірів направляючих елементів.

Цикл складання УЗП за часом у 40–50 разів і за трудомісткістю в 10–15 разів менше порівняно з циклом виготовлення СВП. Крім того, елементи УЗП характеризуються високою оборотністю (протягом року кожен елемент УЗП застосовують у різних компонуваннях 60–100 разів) і довговічністю (термін служби основних елементів УЗП – 12–15 років), що визначає низьку собівартість компонувань УЗП. Усе це скорочує терміни і витрати на проектування і виготовлення ВП.

Конструкція і розміри елементів УЗП визначені серіями державних стандартів. Головною відмінністю кожної серії стандартів є ширина кріпильного Т-подібного паза в елементах УЗП: 8 мм – приладобудування; 12 мм – середнє машинобудування, у тому числі і літакобудівне виробництво; 16 мм – важке машинобудування.

10. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ АКТ [1, 5, 10, 16, 18, 19, 20, 21, 24, 40, 44, 60]

Одним з основних принципів побудови ТП є принцип поєднання технічних, економічних і організаційних задач, розв'язуваних у даних виробничих умовах. ТП має забезпечити виконання вимог до точності і якості деталей, передбачених кресленнями і технічними умовами, при найменших витратах праці та мінімальній собівартості.

При проектуванні ТП механічної обробки вихідними даними є такі: програма або обсяг випуску, креслення і технічні умови на виготовлення і приймання деталі; вид заготовки, що залежить від розміру партії, матеріалу, геометричної форми і розмірів деталі.

10.1. Етапи проектування технології розмірної обробки [1, с. 35-38; 24, с. 45-48; 40, с. 14-15; 44, с. 4-8; 60, с. 248-254]

Розробку ТП виконують у такому порядку:

1. Знайомляться з призначенням виробу, вивчають креслення деталей і технічні умови на їхнє виготовлення.

2. Проводять аналіз технологічності конструкції деталі.

3. Вибирають спосіб одержання заготовки для деталей залежно від розміру партії і матеріалу. При виборі заготовки, а також при розробці ТП формоутворення поверхонь необхідно використовувати методи маловідхідної і безвідхідної технології.

4. За кресленнями деталей визначають поверхні, що базують (чорнові і чистові), по яких буде виконуватися установ заготовки. Призначають першу вихідну операцію, використовуючи правила вибору чорнових технологічних баз.

5. Послідовність і характер операцій визначаються конфігурацією, точністю і шорсткістю оброблюваних поверхонь, заданих за кресленнями деталі. У більшості випадків обробку заготовки доцільно виконувати за кілька операцій або технологічних переходів:

- а) чорнова обробка, при якій знімається основна частина припуску;
- б) напівчистова і чистова обробка, при якій забезпечується в основному задана точність;
- в) обробна обробка, при якій забезпечується необхідна шорсткість поверхні і точність форми і розмірів деталі.

6. Для кожної операції вибирають засоби технологічного оснащення (технологічне устаткування, оснащення, пристрої, інструмент).

7. Для кожного технологічного переходу визначають розрахункові розміри оброблюваних поверхонь, кількість основних ходів, режими різання.

8. Для кожного основного ходу нормують основний, допоміжний час та інші складового штучного часу, призначають розряд верстатника.

9. Проводять техніко-економічне обґрунтування розробленої технології обробки різанням.

10. Оформляють комплект технологічної документації.

Процес механічної обробки можна здійснювати двома методами: з концентрацією або диференціацією операцій.

Концентрацією операцій називається поєднання декількох операцій в одну, більш складну, а диференціацією – розчленування операцій на більш прості. Обробка заготовок набором фрез, обробка на багатопиндельних верстатах, токарних автоматах і напівавтоматах, агрегатних верстатах виконується за методом концентрації операцій.

Розробляють кілька варіантів ТП, щоб визначити найбільш економічний при заданих умовах обробки.

10.2. Одиничні, типові та групові ТП розмірної обробки [24, с. 54-57; 60, с. 255-262; 10, с. 1-5; 11, с. 1-5; 12, с. 1-5]

Розрізняють одиничний, типовий і груповий ТП.

Одиничний ТП застосовують для виготовлення виробу одного найменування, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва.

Типовий ТП застосовують для виготовлення групи виробів із загальними конструктивними і технологічними ознаками. Деталі, оброблювані на верстатах, можна класифікувати за такими основними ознаками: конфігурація оброблюваних деталей; тип інструменту, за допомогою якого доцільно виконувати обробку поверхонь деталей; розміри оброблюваних поверхонь деталей; точність розмірів і форми оброблюваних поверхонь; вид застосовуваного устаткування.

Груповий ТП застосовують для виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками. Метод групової обробки знаходить застосування в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

На відміну від схем класифікації деталей, застосовуваних при типізації ТП, при груповому методі використовують принцип класифікації деталей за видами обробки. Розроблено класифікатори деталей, оброблюваних на револьверних, токарних, фрезерних, свердлильних і інших верстатах.

Для деталей, що входять в одну класифікаційну групу, розробляють загальний ТП, що дозволяє обробляти будь-яку деталь групи без значного відхилення від загальної технологічної схеми. При груповій обробці деталі доцільно підбирати в партію за принципом їхнього базування, закріплення й обробки в групових (спеціалізованих) пристроях.

10.3. Аналіз креслення деталі і можливого ТП обробки [1, с. 39-43; 24, с. 49-53; 44, с. 19-21]

Попередньому аналізу креслення деталі піддається на стадії виявлення номенклатури деталей, що доцільно обробляти на верстатах з ЧПК. При цьому виявляють і оцінюють фактори, що забезпечують економічну ефективність обробки.

Практика показує, що значний ефект досягається при обробці на верстаті з ЧПК складних деталей, з великою кількістю поверхонь, контури яких містять криволінійні ділянки й елементи прямих і площин, непаралельних координатним осям верстата .

При підготовці до проектування ТП обробки виникає необхідність у більш детальному аналізі креслення, щоб виявити відсутні розміри і конструктивно-технологічні дані, основою яких має бути креслення, а також підвищити технологічність обробки деталі шляхом введення конструктивних змін.

Аналіз робочих креслень деталей є основою для розробки завдання на проектування ТП. Головні значення мають конфігурація і габаритні розміри деталі, матеріал, маса заготовок, оброблюваність матеріалу, необхідна якість оброблених деталей (допуски на розміри і форму, шорсткість поверхні), річний обсяг випуску деталей, кількість партій і кількість деталей у партії. При аналізі елементарних поверхонь деталі необхідно брати до уваги їхнє взаємне розташування.

Дані аналізу є також основою для вибору заготовки, що багато в чому визначає ефективність обробки і витрати матеріалу.

При аналізі креслення деталі визначають тип деталі відповідно до прийнятої класифікації.

Типом називається сукупність деталей, подібних за конструктивними ознаками, що мають у даних виробничих умовах загальний ТП.

Питання аналізу креслення деталі і класифікації слід вирішувати на базі єдиної системи інформаційного забезпечення, що складається з єдиної системи класифікації і кодування (ЄСКК) і уніфікованої системи технологічної документації. В ЄСКК обов'язково слід використовувати класифікатор ЄСКК, технологічний класифікатор, класифікатор технологічних операцій і систему позначення технологічних документів.

Мета аналізу можливого ТП – визначити конкретний обсяг операцій з обробки даної деталі, що доцільно виконувати на верстатах із ЧПК, а також максимально використовувати технологічні прийоми й існуюче оснащення й інструмент. Розглядається не тільки дана деталь, але й уся група деталей, подібних за конструктивними і технологічними ознаками, щоб можна було застосовувати типові та групові ТП і методи обробки, групове оснащення.

Якщо деталь раніше не оброблялася, для ознайомлення підбирають аналогічну деталь, що знаходиться у виробництві.

У результаті аналізу можливого ТП схему обробки даної деталі можна подати трьома частинами: виконання на універсальних верстатах операцій, що передують обробці на верстатах з ЧПК (підготовка баз); обробка деталей на верстатах з ЧПК; доробка деталей на універсальних верстатах і слюсарним шляхом до одержання всіх необхідних розмірів креслення.

10.4. Вибір верстатів для обробки деталей різних груп [5, с. 217-220]

Маршрутна технологія визначає, насамперед, принципову схему ТП. На цьому етапі виявляють типи верстатів з ЧПК, які потрібні для обробки даної деталі. Далі на стадії розробки маршрутного ТП розглядають деталізацію устаткування з метою вибору для кожної операції конкретної моделі верстата. Ефективність обробки деталей визначають сукупністю таких вихідних показників: продуктивність верстата; технологічна собівартість обробки; експлуатаційна і технологічна надійність устаткування; якість обробки деталей (точність розмірів, точність взаємного розташування і шорсткість поверхонь); витрати на підготовку виробництва.

Рекомендації щодо вибору токарних верстатів. При підборі номенклатури деталей для обробки їх на верстатах з ЧПК деталі цього класу розділяють на дві підгрупи:

1) деталі, що підлягають обробці на патронних токарних верстатах (фланці, кільця);

2) деталі, що підлягають обробці на центрових токарних верстатах (східчасті вали).

При підборі деталей першої підгрупи необхідно враховувати, що для їхньої обробки можуть знадобитися кілька груп верстатів; це створює сприятливі умови для утворення замкнутих ділянок з верстатів з ЧПК. Деталі цієї підгрупи мають багато технологічних переходів і складну конфігурацію, тому верстати мають бути оснащені великою кількістю інструментів. Якщо потрібна додаткова обробка деталей (свердління, фрезерування, шліфування), то застосовують верстати з ЧПК інших груп або токарні багатоцільові верстати.

Щодо деталей другої підгрупи, то їх чорнову обробку доцільно виконувати на одноінструментальних токарних верстатах з ЧПК. Для

напівчистої і чистої обробки східчастих валів слід виконувати багатоінструментальні токарні верстати з ЧПК.

Доробка деталей типу валів (свердління неспіввісних отворів, фрезерування шпонкових пазів та ін.) найчастіше виконується на універсальному устаткуванні. Однак останнім часом намітилася тенденція виконувати операції свердління і фрезерування подібних деталей разом з токарною обробкою. Для цього використовують токарні багатоцільові верстати.

Рекомендації щодо вибору фрезерних верстатів. Спочатку слід визначити тип верстата, що забезпечує обробку з одночасним керуванням переміщенням інструменту по певній кількості координат. Для цього треба згрупувати деталі даного виробництва, що потребують фрезерної обробки, за кількістю необхідних координат і габаритних розмірів. Це дозволить визначити тип верстата за габаритними розмірами його стола або розмірами зони обробки.

Площинні деталі, що мають пази, вікна, скоси, уступи, криві поверхні, для яких може бути використаний один інструмент, доцільно обробляти на одноінструментальних фрезерних верстатах. Якщо на деталях одночасно є східчасті отвори різного діаметра і глибини, то їх доцільно обробляти на багатоінструментальних фрезерних верстатах. На цих верстатах можна також виконувати чорнове, напівчистове і чистове розточення отворів за 7...9-м квалітетом точності.

Деталі середнього лиття (важелі, вилки, кронштейни, корпусні деталі) слід обробляти з максимальною концентрацією операцій на верстаті. Першу операцію рекомендується виконувати так, щоб базова площина і базові отвори оброблялися з одного установа.

10.5. Особливості процесів обробки на багатоцільових верстатах [5, с. 122-134; 42, с. 5-12; 18, с. 1-12]

Спеціалізованими верстатами з ЧПК називаються верстати, параметри яких (довжина ходу, частота обертання шпинделя, компонування, кількість координат робочих переміщень і т.п.) відрізняються від лімітованих стандартами на верстати загального призначення. Норми точності, жорсткості, умови експлуатації, автоматизація керування, техніка безпеки - загальні для спеціалізованих і універсальних верстатів із ЧПК. На верстатах з ЧПК виконують обробку двох видів: *контурну*, що дозволяє одержувати поверхні змінного профілю, що характерно для фрезерних і токарних операцій; *позиційну* – для одержання поверхонь з повторюваними геометричними параметрами (наприклад отворів) у різних стабільних позиціях заготовки. Це, головним чином, свердлильні, різенарізні і розточувальні операції, а також фрезерні, призначені для обробки площин.

Під *багатоопераційним верстатом* розуміють свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат, оснащений інструментальним магазином і пристроями для автоматичної зміни інструментів; він дозво-

ляє автоматично, за числовою програмою, виконувати комплексну позиційну і контурну обробку заготовки. Звичайно багатоопераційні верстати мають один або два (із взаємно перпендикулярними осями) поворотних стола, що дозволяють установлювати заготовки для обробки з різних боків. Багато закордонних фірм скорочено позначають багатоопераційні верстати буквами *МС* (Machining Center). Завдяки високій техніко-економічній ефективності виробництво багатоопераційних верстатів безупинно зростає. Їх слід виділити в окрему групу - багатоопераційні верстати з ЧПК.

Багатоцільові верстати (МС) дозволяють суміщати такі операції:

- фрезерування прямолінійних і криволінійних поверхонь, кругове фрезерування зовнішніх і внутрішніх циліндричних, конічних і фасонних поверхонь і кругових пазів;

- центрування, свердління, розсвердлювання, зенкування, розгортання, цекування;

- розточування, розкочування, накочування, різенарізація.

Велика кількість оброблюваних поверхонь, наявність чорнових, напівчистових і чистових основних ходів при обробці кожної поверхні, значна кількість інструментів у магазині ускладнюють вибір плану операцій обробки деталі на МС. Виникає проблема вибору найефективнішого варіанта.

10.6. Методика оцінки економічної ефективності технологічних процесів виготовлення деталей розмірною обробкою [44, с. 67-78; 53, с. 417-437; 60, с. 61-73]

Порівняння базового і розроблюваного варіантів технологічного процесу здійснюється на основі мінімуму наведених витрат.

Якщо додаткові капітальні вкладення не передбачаються або їх величина не змінюється від варіанта до варіанта, то технологічні процеси порівнюють на основі мінімуму технологічної собівартості.

Сума елементів технологічної собівартості без вартості вихідної заготовки складає технологічну собівартість обробки.

До технологічної собівартості відноситься та частина повної собівартості, елементи якої змінюються при змінюванні параметрів технологічного процесу:

- вартість вихідної заготовки;
- заробітна плата основних і допоміжних робітників (з відрахуванням у фонд соцстраху);
- амортизаційні відрахування від устаткування;
- амортизаційні відрахування від технологічного оснащення;
- витрати на ремонт та обслуговування устаткування;
- витрати на інструмент;
- витрати на силову електроенергію;
- витрати на амортизацію та утримання виробничих площ;
- витрати на підготовку та експлуатацію керуючих програм (для верстатів з ЧПК).

Розрахунки технологічної собівартості нормативним методом або за допомогою усереднених значень елементів структури собівартості для різних моделей верстатів є менш трудомісткими, але й забезпечують меншу точність, тому вони рекомендуються для попередньої оцінки розроблюваних варіантів технологічного процесу.

11. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ [16, 49, 58, 60]

11.1. Технологічні особливості різання композиційних матеріалів [49, с. 392-402; 60, с. 379-390; 16, с. 3-18; 58, с. 210-230]

Свердління отворів здійснюється свердлами зі швидкорізальної сталі і свердлами, оснащеними пластинками з твердого сплаву.

Геометричні параметри різальної частини свердел: кут у плані 2φ , задній кут α , передній кут γ , кут нахилу гвинтової канавки ω призначаються, виходячи з особливостей свердління склопластиків.

Найбільший вплив на якість оброблених отворів і спрацювання свердел робить кут при вершині свердла 2φ . Зі зменшенням кута при вершині збільшується довжина різальної крайки і, отже, зменшується питомий тиск на одиницю довжини різальної крайки, що зменшує спрацювання свердла. Однак при цьому зменшується маса вершини свердла, що погіршує тепловідвід і призводить до перегріву свердла і погіршенню якості отвору.

При свердлінні тонких пакетів з ручною подачею інструменту гостра вершина свердла приводить до одержання отворів типу "проткнутого", тому недоцільно приймати $2\varphi < 110^\circ$.

Зі збільшенням заднього кута α відбувається зменшення сил тertia по задній грані, що сприяє підвищенню чистоти крайок отвору. Однак при $\alpha > 25^\circ$ відбувається погіршення чистоти отворів.

Зі збільшенням переднього кута γ шорсткість отвору збільшується. Стандартні свердла мають великі передні кути, що викликає „розкошачення” крайок отворів у момент виходу кутиків свердла з отворів.

Нахил канавок ω позначається на якості відводу стружки з зони різання. Зменшення ω до $10...15^\circ$ і застосування свердел із широкою полірованою канавкою дозволяють поліпшити відвід стружки і підвищити якість отворів. Для запобігання налипанню стружки на інструмент при свердлінні рекомендується нанести на поверхню канавок свердел дисульфід молібдену.

Застосовувати охолодні рідини не рекомендується, тому що останні змішуються з пилом і утворюють пасту, що утруднює свердління. Для охолодження ліпше використовувати стиснене повітря.

Особливістю свердління склопластиків є усадка отворів, що по-

в'язано з ефектом пружної післядії.

Зенкування гнізд під потайні заклепки і болти в деталях зі склопластиків виконують комбінованим інструментом – свердлом-зенківкою.

Різальні крайки зенківки мають бути гостро заточені. Про спрацювання зенківки свідчить поява ворсинок і гранованої поверхні лунок.

Технологічні особливості розгортання. Розгортання отворів у склопластиках здійснюється машинними розгорненнями по обертових кондукторних втулках.

Розгортання з малими подачами не рекомендується, тому що при цьому знижується точність отворів, збільшується овальність і конусність.

На точність отворів впливає сполучення матеріалів у пакеті. Для однорідних пакетів (склопластик – склопластик) точність трохи вища, ніж для змішаних пакетів (склопластик – метал).

11.2. Технологічні особливості різання титанових сплавів [49, с. 11-22]

Мала пластичність титанових сплавів призводить до того, що при їхній обробці утворюється специфічна стружка. Слабко деформовані елементи стружки міцно зв'язані між собою тонким і сильно деформованим контактним шаром.

Висока хімічна активність при обробці різанням титанових сплавів призводить до сильного поглинання кисню й азоту повітря. Це викликає інтенсивне утворення окалини й окрихчування матеріалу внаслідок дифузії кисню в оброблюваний матеріал.

Погана теплопровідність титану і висока температура в зоні різання викликають структурні перетворення і сильну взаємодію з повітрям. Окислювання контактної частини стружки призводить до підвищення її жорсткості, що викликає підвищене спрацювання інструменту.

Титанові сплави здійснюють високе абразивне діяння на інструмент унаслідок умісту в них високотвердих включень у вигляді окисів нітридів і карбідів.

При визначенні оптимальних режимів різання титанових сплавів особливу увагу слід приділяти питанням техніки безпеки. Утворення тонкої стружки, тим більше пилу, у процесі стружкоутворення призводить до її легкого запалення з інтенсивним горінням. Титанова стружка схильна до самозаймання. Пилоподібна стружка вибухонебезпечна і шкідлива для здоров'я обслуговуючого персоналу. При обробці різанням титанових сплавів слід призначати подачі $S_0 > 0,08$ мм, не слід користуватися інструментом, спрацювання якого складає більш 0,8...1,0 мм, при швидкостях різання більше 100 м/хв.

11.3. Технологічні особливості різання високоміцних сталей [49, с.157-178]

Під *високоміцними загартованими* сталями розуміють високолеговані й вуглецеві сталі мартенситного класу жорсткістю $HRC_3 > 28$.

Останнім часом з цієї групи виділяють надміцні сталі з границею міцності при розтяганні $\sigma_B > 1500$ МПа і жорсткістю HRC_3 60...65....65

Обробка різанням високоміцних загартованих сталей характеризується вкрай малою пластичною деформацією при утворенні стружки. Механічна робота витрачається, головним чином, на пружні деформації та тертя оброблюваної заготовки об задню поверхню інструменту.

З цих причин спрацювання інструменту відбувається досить інтенсивно і переважно по задній поверхні. При обробці цих матеріалів через високі значення механічних характеристик виникають великі значення сили різання. Це призводить до частих випадків викришування різальної крайки, особливо при використанні твердосплавного інструменту з позитивним переднім кутом.

При обробці різанням високоміцних сталей сила різання в 1,5–2 рази більше, ніж при обробці звичайних сталей. У цьому разі застосовують інструментальні матеріали, що мають високі міцнісні характеристики. Геометричні параметри інструменту також вибирають залежно від міцності різального клина при забезпеченні задовільного процесу стружкоутворення.

Основні фактори, що визначають можливість раціональної обробки різанням високоміцних матеріалів: забезпечення можливо більшої міцності різальної крайки; створення високої жорсткості і вібростійкості системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь»; максимально можливе знеміцнення матеріалу шару, що зрізається, при збереженні досить високої міцності і зносостійкості різального інструменту при підвищених температурах.

Режими різання, насамперед швидкість різання, вибирають виходячи з максимально припустимої червоностійкості інструментального матеріалу. Основними умовами задовільної обробки різанням високоміцних сталей є: достатня потужність верстата; максимально можлива жорсткість і вібростійкість системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь»; ретельне заточення різальних крайок, рівномірне їхнє завантаження при застосуванні багатолезового інструменту.

11.4. Основні особливості різання жароміцних і нержавіючих сталей [49, с. 263-283]

Погана оброблюваність жароміцних і нержавіючих матеріалів визначається насамперед структурою, механічними характеристиками в зміцненому стані і при нагріванні, а також теплофізичними показниками, що визначають властивості матеріалу при підвищених температурах.

Основні особливості різання жароміцних і нержавіючих сталей і сплавів, що утруднюють їхню механічну обробку:

– високе зміцнення матеріалу в процесі деформації різанням. Підвищена зміцнюваність жароміцних і нержавіючих сталей і сплавів пояснюється специфічними особливостями будовлі кристалічних ґрат цих матеріалів;

– мала теплопровідність оброблюваного матеріалу, що призводить до підвищеної температури в зоні контакту і, отже, до активізації явищ адгезії та дифузії, інтенсивному тужавленню контактних поверхонь і руйнуванню частини різального інструменту;

– здатність зберігати вихідну міцність і жорсткість при підвищених температурах, що призводить до високих питомих навантажень на контактні поверхні інструменту в процесі різання;

– велика стиральна здатність жароміцних і нержавіючих сталей і сплавів, обумовлена наявністю в них карбідних включень. Особливо багато включень мають литі жароміцні сплави. Тому для обробки цих сплавів застосовують тільки твердосплавний інструмент. Підвищена стиральна здатність жароміцних матеріалів викликає необхідність застосовувати інструментальні матеріали, що мають поряд з великою міцністю також і високу зносостійкість. Інструмент піддають спеціальній хімічній обробці з метою створення на контактних поверхнях міцних плівок;

– знижена вібростійкість руху різання, обумовлена високою зміцнюваністю нержавіючих і жароміцних матеріалів при нерівномірності протікання процесу їхнього пластичного деформування. Виникнення вібрацій призводить до змінних силових і теплових навантажень на робочі поверхні інструменту, отже, до викришування різальних крайок.

На оброблюваність різанням жароміцних і нержавіючих сталей з високим змістом вуглецю найбільше впливає термічна обробка. Для низьковуглецевих сталей вплив термічної обробки набагато менше. Найкращу оброблюваність жароміцних і нержавіючих сталей досягають термічною обробкою шляхом відпалу або відпуску. Термічна обробка загартуванням погіршує оброблюваність цих сплавів.

11.5. Технологічні особливості високошвидкісного фрезерування [36, с. 60-68; 43, с.9]

Застосування високошвидкісного фрезерування порівняно зі звичайним дозволить збільшити швидкість головного руху різання до 20 м/хв, довести питоме знімання стружки, що знімається, до $110 \text{ см}^3/(\text{хв}\cdot\text{кВт})$ замість $40\text{...}60 \text{ см}^3/(\text{хв}\cdot\text{кВт})$ для звичайної обробки, скоротити основний час обробки різанням у 3 – 5 раз. Спосіб особливо ефективний при обробці заготовок з малими жорсткістю ребер і товщиною полотна завдяки зниженню сил різання в 3 – 4 рази і практично повній відсутності нагрівання заготовки в процесі різання.

Створення верстатів для високошвидкісної обробки вимагає рішення комплексу технічних проблем, серед яких слід виділити такі:

1. Створення різального інструменту гарантованої стійкості з оптимальним співвідношенням між продуктивністю обробки і вартістю інструменту. Для високошвидкісного різання найбільш придатним є інструмент із твердого сплаву з багатошаровим покриттям.

2. Створення шпindelьних вузлів з частотою обертання

$(1...6) \cdot 10^4 \text{ хв}^{-1}$ при потужності до 100 кВт.

3. Створення і введення в пристрої ЧПК верстатів розгалужених систем діагностики несправностей, здатних не тільки сигналізувати про відмовлення, але й керувати процесами у вузлах і механізмах верстатів з метою виключення відмовлень. Тільки в цьому разі можна ліквідувати значні простої верстатів і досягти ефективності при впровадженні високошвидкісної обробки.

4. Створення засобів автоматичного контролю стану якості обробки й різального інструменту у процесі обробки. При контролі деталей поза верстатом констатується лише результат обробки і виключається активний вплив контролю на ТП для забезпечення точності обробки.

5. Забезпечення вимог техніки безпеки. Висока швидкість стружки, що летить, осколків різального інструменту, а також великий вихід стружки потребують спеціальних рішень. Можливі рішення з цієї проблеми дає компоновання верстата. Стіл вертикального розташування забезпечує надійний відвід стружки з зони різання. Вимоги техніки безпеки можуть забезпечити закриття зони різання непробивною камерою і дистанційний контроль за обробкою за допомогою телевізійної системи.

11.6. Технологічні методи підвищення стійкості різального інструменту [49, с. 157-201]

Спрацювання різального інструменту – це процес руйнування поверхневих шарів, що призводить до поступової зміни форми і стану по-верхонь різання інструменту.

При роботі спрацьованим інструментом збільшується головна складової сили різання і витрата потужності. Спрацювання різального інструменту призводить до погіршення якості обробленої поверхні.

Під *стійкістю* інструменту розуміють час його роботи в хвилинах між двома послідовними переточуваннями.

На стійкість інструменту найбільше впливає швидкість різання. Режим різання вибирають таким чином, щоб граничне спрацювання відбувалося через певний проміжок часу – *період стійкості*, що, наприклад, для фрез різних типів залежно від розміру і призначення складає 90–320 хв, для токарних різців – 45–60 хв.

Мастильно-охолодні технологічні середовища (МОТС) забезпечують найбільш сприятливі умови протікання ТП механічної обробки (одержання максимальної стійкості інструменту, мінімальної шорсткості обробленої поверхні, мінімальних енерговитрат, мінімальних вібрацій, оптимальної температури заготовки та ін.).

До МОТС відносяться: мастильно-охолодні рідини (МОР), стиснене повітря, інертні гази. МОР складає близько 97% всього об'єму застосовуваних у промисловості МОТС.

МОР застосовують, головним чином, для відведення тепла з зони різання з метою зниження температури і підвищення стійкості різа-

льного інструменту. При чистовій і напівчистовій обробці МОР застосовують з метою забезпечення мінімальної шорсткості обробленої поверхні. Крім цього МОР захищають різальний інструмент і оброблені деталі від корозії. Методи підведення МОР у зону різання: полив, подача під тиском з боку задньої поверхні інструменту, розпилення (аерозольне або туманом).

Нині широке застосування знаходять інструменти зі швидкорізальної сталі зі зносостійкими покриттями. Наприклад, зносостійкість швидкорізального інструменту з покриттям з нітриду титану збільшується в 2–5 разів. Застосування покриттів особливо ефективно для інструментів, що заточуються тільки по передній поверхні (фасонні та черв'ячні фрези). У цьому разі навіть після наступних переточувань зносостійкі покриття зберігають свій позитивний вплив на працездатність інструменту.

Стійкість твердосплавного інструменту підвищується в 5–6 разів при нанесенні на його поверхню зносостійких шарів товщиною 5...15 мкм із карбідів титану, ніобію, боридів, нітридів.

Подальше поліпшення досягнуто розподілом зазначеної товщини покриття на окремі шари. Кожен шар виконує певну задачу щодо різних видів спрацювання, міцності зчеплення і термічного розширення.

Наприклад, фірма «Сандвик» (Німеччина) рекомендує таке тришарове покриття товщиною 1...3 мкм:

- *внутрішній шар* – з карбиду титану, що забезпечує високу зносостійкість і добру адгезію покриття з твердим сплавом;
- *проміжний шар* – з оксиду алюмінію, що надає необхідної стійкості проти теплового впливу;
- *зовнішній шар* – з нітриду титану, що зменшує тертя по передній поверхні.

Нанесення покриттів на пластинки твердих сплавів виконується газофазним і термодифузійним методами.

Процеси механічної обробки високохромистих сталей, сплавів на основі нікелю і кобальту, корозійностійких сталей характеризуються дуже низькою продуктивністю і значним спрацюванням різального інструменту.

Відомим способом інтенсифікації процесів різання важкооброблюваних матеріалів є застосування попереднього нагрівання матеріалу шару, що зрізається, за допомогою індуктивного, електродугового, електроконтактного, газополунового, плазмового нагрівання.

При нагріванні поліпшується оброблюваність унаслідок змінення механічних характеристик матеріалу в зоні стружкоутворення, збільшення його пластичності, зниження міцності й жорсткості.

Змінення механічних характеристик матеріалу знижує зусилля різання, спрацювання різального інструменту дозволяє підвищити швидкість різання.

Істотне зниження напруженості процесу різання можна досягти

зміненням фізико-механічних властивостей матеріалу шару, що зрізується, шляхом його випереджувального пластичного деформування. Унаслідок цього вичерпується запас пластичності оброблюваного матеріалу, підвищується його крихкість і, отже, поліпшується оброблюваність.

Випереджувальне пластичне деформування оброблюваної поверхні з зусиллям здійснює накатний ролик, розташований перед різцем. Ролик і різець переміщуються уздовж осі деталі з постійною поздовжньою подачею. Наступний за роликом різець знімає попередньо ослаблений шар матеріалу.

Проникнення в тіло заготовки клиноподібного ролика дозволяє створити в поверхневому шарі матеріалу сітку мікротріщин, що значною мірою поліпшує оброблюваність і збільшує стійкість твердосплавного інструменту.

Одним із шляхів інтенсифікації процесів обробки високоміцних матеріалів є застосування вібраційного різання. Суть його полягає в тому, що на прийнятну кінематичну схему обробки накладається додатковий коливальний рух інструменту.

У практиці механічної обробки додаткові вібрації накладаються в напрямках подачі або перпендикулярно до поверхні заготовки. Найчастіше при різанні використовують вібрації синусоїдальної форми.

Застосування різання з осьовими коливаннями дозволяє забезпечити надійне дроблення стружки, що важливо при обробці в'язких матеріалів на верстатах з ЧПК.

При різанні з вібраціями поліпшується оброблюваність високоміцних сталей за рахунок зменшення інтенсивності спрацювання інструменту, опору рухові різання, зниження температури в зоні обробки.

Процес різання з вібраціями підвищує ефективність дії МОР шляхом більш надійного періодичного омивання клина різального інструменту.

12. ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ [38, 53, 54, 60]

Існують два види поверхневого зміцнення деталей:

– значна пластична деформація поверхневого шару без знімання металу (досягається за допомогою вібронаклепу, пневмодинамічного, віброударного, гідродробоструминного наклепу);

– невелика пластична деформація зі зніманням металу глибиною 0,01...0,3 мм при малій глибині наклепаного шару (досягається за допомогою вібро- і гідроабразивного шліфування і полірування).

Вид зміцнення вибирають залежно від форми і розмірів деталі, умов її роботи і стану поверхневого шару, технологічних можливостей, а також економічної доцільності.

Чим нижче шорсткість поверхні деталей перед зміцненням, тим ефективніше процес зміцнення. Місця концентраторів напруг мусять

мати таку шорсткість поверхні: для сталевих деталей – не нижче $R=1,6$ мкм, для деталей з алюмінієвих сплавів – не нижче $R=6,3...3,2$ мкм.

12.1. Технологічні особливості віброзміцнення [38, с. 33-39; 54, с. 48-54; 60, с. 198]

Суть процесу віброзміцнення полягає в такому. Робоче середовище у вигляді абразивних або металевих частинок (гранули, кульки) і оброблювані деталі, поміщені в контейнер віброустановки, одержують механічні коливання з прискореннями 10...15 g. Під дією цих коливань частинки робочого середовища одержують енергію, достатню для здійснення пластичної деформації поверхневого шару деталі.

За способом завантаження розрізняють віброзміцнення з вільним розташуванням деталей, віброзміцнення з закріпленням деталей на рухомій частині віброустановки або в резервуарі і з закріпленням деталей на опорі, ізольованій від нерухомої частини машини.

Основні параметри віброзміцнення: характеристики робочого середовища (матеріал, діаметр кульок; матеріал, зернистість і форма абразивного наповнювача); амплітуда і частота коливань, що задають швидкість і прискорення віброуючим частинкам; тривалість процесу зміцнення.

Віброзміцнення залежно від застосовуваного робочого середовища може виконуватися як операція віброшліфування або віброполірування.

Віброшліфування виконується абразивними гранулами з зерном більш 50 мкм, призначено для зняття з поверхні деталей дефектних шарів і забезпечення шорсткості $R=1,6$ мкм. У поверхневому шарі деталей з високоміцних сталей створюються високі залишкові напруги стиску, але незначної глибини (до 80 мкм).

Віброполірування виконується абразивними гранулами з зерном дрібніше 50 мкм, призначено для забезпечення шорсткості поверхні деталей $R=0,1$ мкм і вище, у поверхневому шарі виникають залишкові напруги стиску $(0,2...0,4)\sigma_s$ з малою глибиною поширення (до 50 мкм).

Залишкові напруги стиску, що утворюються при поліруванні сталевими кульками, порівняно з залишковими напругами, що утворюються при віброшліфуванні, трохи менше за значенням, але поширюються на значно велику глибину (понад 200 мкм).

Розмір частинок робочого середовища також впливає на параметри наклепу і залишкові напруги в поверхневому шарі деталей. Зі зменшенням розміру частинок зменшуються наклеп і залишкові напруги.

Віброзміцнення сталевими кульками дає найвищі результати пластичної деформації, називається вібронаклепом і позначається ВН.

Віброзміцнення в наповнювачі з абразивних частинок забезпечує велике знімання металу при невеликому підвищенні його утоми міцності, називається віброшліфуванням і позначається ВШ.

Шорсткість поверхні перед зміцненням має бути не нижче: сталевих деталей – $R = 3,2$ мкм; деталей, що підлягають після зміцнення хромуванню, – $R = 0,8$ мкм; деталей з алюмінієвих сплавів – $R = 6,3$ мкм.

Поверхні деталей з шорсткістю $R = 6,3$ мкм, виготовлені точним литтям, піддаються вібронаклепу без попередньої їхньої підготовки.

Вібронаклеп тонкостінних деталей (циліндрів, стояків шасі та ін.) рекомендується виконувати перед остаточним шліфуванням класних отворів, які у цьому випадку мають припуск, що дозволяє при шліфуванні усунути жолоблення (еліпсність), якщо воно виникло при обробці.

Вібронаклеп внутрішніх порожнин деталей виконується роздільно або одночасно з обробкою зовнішніх поверхонь. Для цього внутрішня порожнина заповнюється робочим середовищем на 70...80 % об'єму і закривається заглушками. Віброзміцнення в одному контейнері деталей, що різко відрізняються механічними властивостями матеріалу, формою і масою, неприпустиме.

При вібронаклепі як робоче середовище використовують сталеві кульки діаметром 4...6 мм, що мають бути полірованими, чистими, без дефектів на поверхні. У процесі експлуатації кульки необхідно регулярно промивати в гасі, сортувати через 150–200 ч і відбракувати.

Інтенсивність і якість процесів зміцнення контролюються визначенням деформації зразків-свідків.

Зразки-свідки для всіх зміцнюваних сталевих деталей виготовляють зі сталі 30ХГСА з границею міцності $\sigma_s = 1,2 \pm 0,1$ ГПа або зі сталі 30ХГСНА з границею міцності $\sigma_s = 1,6 \pm 0,1$ ГПа й обов'язково шліфуються. Зразки-свідки деталей з алюмінієвих сплавів виконуються з матеріалу, аналогічного матеріалу деталей.

Прогин зразків-свідків при односторонній їхній обробці має складати при зміцненні віброшліфуванням 0,4 мм, а при зміцненні вібронаклепом – 1,6...3,0 мм.

Якщо прийняти продуктивність віброобразивної обробки сталі 45 за одиницю, то знімання металу за інших рівних умов буде приблизно складати: алюмінієвих сплавів – 1,6; незагартованих вуглецевих і легованих сталей – 1,0; загартованих легованих сталей – 0,9...0,8; корозійностійких сталей і жароміцних сплавів – 0,8...0,7; титанових сплавів – 0,6.

12.2. Пневмодинамічний спосіб зміцнення [38, с. 25-33; 54, с. 60-65; 60, с. 198-200]

Пневмодинамічний спосіб зміцнення оснований на використанні кінетичної енергії сталевих кульок, яка надається їм струменем повітря, що подається в робочу камеру під тиском 0,3...0,6 МПа.

Основні параметри пневмодинамічного способу зміцнення: тиск повітря; матеріал і діаметр кульок, їхня жорсткість; відстань щілини сопла від оброблюваної поверхні; питоме завантаження кульок; час обробки.

Дробоструминний метод застосовується для обробки деталей

типу обшивок і монолітних ребристих панелей з необмеженими габаритними розмірами в плані та товщиною полотна 1,0...15 мм.

Нині дробоструминна зміцнювальна обробка довгомірних деталей типу панелей і лонжеронів без формоутворення виконується в установках, що мають вигляд великих камер.

Зміцнення поверхонь здійснюється при вертикальному положенні панелі. Відстань сопла до оброблюваної поверхні – 200...350 мм, переміщення сопла виконується поперек ребер жорсткості. Кількість основних ходів визначається дослідним шляхом. Швидкість переміщення – 0,5...0,9 м/хв.

Пневмодинамічному зміцненню піддаються деталі з певною жорсткістю, наприклад, деталі з товщиною стінок не менш 4 мм з алюмінієвих сплавів і 2,5 мм зі сталі. Для зміцнення деталей з алюмінієвих сплавів використовуються сталеві поліровані кульки діаметром 4 мм, а для деталей зі сталі – діаметром 3 мм.

Ручні пневматичні головки дозволяють виконувати місцеве зміцнення поверхні деталей практично необмеженої довжини.

Віброударне зміцнення довгомірних деталей. Суть способу віброударного зміцнення полягає в деформації поверхневого шару металу в результаті співудару деталі з насипаними на її поверхню сталевими кульками.

За цим способом зміцнення виконується на спеціальній вібраційній установці. Установка призначена для обробки одночасно зовнішніх і внутрішніх поверхонь довгомірних деталей типу лонжеронів, лопатей гвинтів вертольотів та ін. Вона складається з жорсткої платформи, до якої кріпляться регульовані дебалансні вібратори. За допомогою пружних підвісок платформа встановлюється на рамі, закріпленої на фундаменті.

Деталь поміщають у спеціальний контейнер; на оброблювані поверхні насипають сталеві кульки. Торці контейнера, щоб кульки не висипалися, закривають заглушками. Контейнер з деталлю і кульками прикріплюють до платформи спеціальними шпильками. Вібратори синхронно приводяться в обертання електродвигуном постійного струму з регульованою частотою збудження в інтервалі 20...40 Гц.

Процес зміцнення здійснюється за кілька переходів (мінімум за два). Віброударне зміцнення дозволяє довести глибину шару наклепу як по зовнішній, так і внутрішній поверхнях до 0,6 мм.

12.3. Гідроабразивна обробка [54, с. 212-214; 60, с. 141]

Гідроабразивна обробка поверхонь основана на використанні кінетичної енергії абразивних частинок, завислих у струмені рідини, що під тиском 0,4...0,6 МПа подаються на поверхню оброблюваної деталі. При цьому, як і при віброшліфуванні, знімається тонкий шар металу і згладжуються мікронерівності поверхні.

Цим методом можна обробляти деталі з фасонними поверхнями,

наприклад стрингерні та вафельні панелі шириною до 1800 мм. Довжина деталі при цьому не обмежується.

Основні параметри гідроабразивної обробки: склад робочого середовища; кут, під яким струмінь робочої суміші спрямований на деталь; тиск рідини; тривалість процесу.

Склад гідроабразивної суміші та режими обробки деталі визначаються дослідним шляхом. Наприклад, при обробці сталевих деталей рекомендуються такі умови: використання як абразиву кварцового або корундового піску зернистістю 53...80; робочий тиск у форсунках – 0,3...0,5 МПа; час обробки – 0,5–1,5 хв.

12.4. Обробка накочуванням роликками [38, с. 40-52; 53, с. 383-396; 60, с. 195-197]

Накочування роликками полягає в обкатуванні зовнішніх і розкочуванні внутрішніх поверхонь деталей. Накочування порівняно з іншими методами зміцнювально-обробної обробки поверхонь дозволяє одержати найбільшу глибину наклепу і найбільш високу якість оброблюваної поверхні. Обкатування і розкочування супроводжуються зміненням діаметрів оброблюваної деталі в межах 0,005...0,03 мм.

Накатка здійснюється на універсальному устаткуванні типу токарних, свердлильних і фрезерних верстатів за допомогою спеціального інструменту. Режим розкочування поверхонь отворів у деталях зі сталей ВНС5: швидкість розкочування – 60...90 мм/хв, подача на оборот ролика – 0,15...0,2 мм.

Основними параметрами, що характеризують процес обробки роликком, є: радіальне зусилля, поздовжня подача, колова швидкість, діаметр ролика і радіус його профілю. Кількість переходів при обробці роликками має бути не більше двох.

Як інструмент при розкочуванні внутрішніх циліндричних поверхонь застосовуються жорсткі регульовані розкатники, що допускають змінення їхнього робочого розміру у визначених межах.

Як МОР при накочуванні застосовується тільки індустріальне масло. Змазування має бути рясним.

Недотримання оптимальних режимів обробки, перевищення оптимальної кількості переходів при обробці роликками можуть призвести до лущення оброблюваної поверхні, виникнення перенаклепу і тріщин на поверхневому шарі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Автоматизация процессов подготовки авиационного производства на базе ЭВМ и оборудования с ЧПУ / В.А. Вайсбург, Б.А. Медведев, А.Н. Бакумский и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. – М.: Машиностроение, 1982.- Т.1. - 593 с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. – М.: Машиностроение, 1982.- Т.2. - 584 с.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. – М.: Машиностроение, 1982.- Т.3. - 557 с.
5. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
6. Гибкие производственные системы в авиастроении: Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию /В.С. Кривцов, С.Г. Васильченко, Ю.В. Дьяченко, В.Е. Зайцев. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 98 с.
7. Гидропластическая обработка металлов / К.Н. Богоявленский, В.А. Вагин, А.Н. Кобышев, Г.К. Петков и др. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. – София: Техника, 1988. – 256 с.
8. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1970. - 351 с.
9. ГОСТ 14.004–83. ЕСТПП. Термины и определения основных понятий. – Введ. 01.07.83. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
10. ГОСТ 14.301–83. ЕСТПП. Общие правила разработки технологических процессов. – Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
11. ГОСТ 14.303–73. ЕСТПП. Правила разработки и применения типовых технологических процессов. – Введ. 01.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
12. ГОСТ 14.316–75. ЕСТПП. Правила разработки групповых технологических процессов. – Введ. 01.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
13. ГОСТ 17420–72. ЕСТПП. Операции механической обработки резанием. Термины и определения. – Введ. 01.01.73. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 8 с.
14. ГОСТ 18970–84. Обработка металлов давлением. Операцииковки и штамповки. Термины и определения. – Введ. 01.07.85. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 25 с.
15. ГОСТ 21495–76. ЕСТД. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 36 с.
16. ГОСТ 25751–83. ЕСТД. Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий. – Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 24 с.
17. ГОСТ 25762–83. ЕСТД. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. – Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во

стандартов, 1985. – 42 с.

18. ГОСТ 3.1129–93. МГС. Общие правила записи технологической информации в технологических документах на технологические процессы и операции. – Введ. 01.01.97. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 30 с.

19. ГОСТ 3.1201–85. ЕСТД. Система обозначения технологической документации. – Введ. 01.07.87. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.

20. ГОСТ 3.1404–86. ЕСТД. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием. – Введ. 01.07.87. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 56 с.

21. ГОСТ 3.1702-79. ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием. - Введ. 01.01.81. - М.: Изд-во стандартов, 1982. – 32 с.

22. ГОСТ 15830–84. Обработка металлов давлением. Штампы. Термины и определения. - Введ. 01.05.85. - М.: Изд-во стандартов, 1986. – 22 с.

23. Грошиков А.И., Малафеев В.А. Заготовительно-штамповочные работы в самолетостроении. - М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.

24. Дерябин А.Л., Эстерзон М.А. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.

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

26. Еленев С.А. Холодная штамповка. - М.: Высш. шк., 1988. - 270 с.

27. Ершов В.И., Гладков В.И., Каширин М.Ф. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.

28. Заготівельно-обробні технології у виробництві аерокосмічних літальних апаратів: Навч. посібник / Г.Ф. Арістов, О.В. Гайдачук, В.М. Кобрін та ін.; За ред. д-ра техн. наук, проф. В.М. Кобріна. – Х. – К.: Держ. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», Укр. НДІ авіаційної технології, 1999. – 220 с.

29. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с.

30. Исаченков Е.И., Исаченков В.Е. Штамповка эластичной и жидкостной средами. – М.: Машиностроение, 1976. – 266 с.

31. Дьяченко Ю.В., Коллеров В.В. Использование контрольно-измерительных систем в технологической подготовке производства: Учеб. пособие. - Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 58 с.

32. Использование сверхпластичности в обработке металлов давлением / Г.Б. Строганов, И.И. Новиков, В.В. Бойцов, В.Ф. Пширков. - М.: Машиностроение, 1987. – 108 с.

33. Камалов В.С. Производство космических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.

34. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства. – К.: КВІЦ, 1997. - 459 с.

35. Крысин В.Н. Технологическая подготовка авиационного про-

изводства. - М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.

36. Лещенко В.А., Богданов Н.А. Станки с числовым программным управлением. – М.: Машиностроение, 1988. – 568 с.

37. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1969. – 568 с.

38. Кушнарченко С.Г., Цыганов В.П., Сикульский В.Т. Методы и оснащение для упрочнения элементов самолетных конструкций поверхностным пластическим деформированием. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 55 с.

39. Мещерин В.Т. Атлас схем. Листовая штамповка. – М.: Машиностроение, 1975. - 226 с.

40. Набатов А.С. Проектирование технологических процессов в производстве летательных аппаратов и двигателей: Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 98 с.

41. ОСТ 3-4838-80. Штамповка листовая холодная на штампах с полиуретаном. Типовой технологический процесс. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 117 с.

42. Боборыкин Ю.А., Дьяченко Ю.В., Пьянков А.В. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования. – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2000. – 100 с.

43. Дьяченко Ю.В., Зайцев В.Е., Павленко А.А., Пьянков А.В. Проектирование постпроцессоров для оборудования гибких производственных систем: Учеб. пособие. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2001. – 100 с.

44. Божко В.П. Проектування технологічних процесів обробки деталей на верстатах з ЧПК: Навч. посібник. – Х.: Харк. авіац. ін-т, 1997. – 131 с.

45. Морголенко А.С., Данченко В.Г., Пономарев Ю.А. Раскрой листового материала при изготовлении деталей в заготовительных цехах авиационных заводов: Учеб. пособие. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2001. – 59 с.

46. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / Под ред. д-ра эконом. наук, проф. К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1975. - 432 с.

47. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1971. – 782 с.

48. Скворцов Б.Н. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1972. – 387 с.

49. Современные технологии авиастроения / Коллектив авторов; Под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. - М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.

50. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 495 с.

51. Справочник кузнеца-штамповщика /В.И. Ершов, В.В. Уваров, А.С. Чумадин и др. – М.: Машиностроение, 1996.– 352 с.

52. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред.

- А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.
53. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
54. Строганов Г.Б., Роик Ю.Г. Технологическое обеспечение авиационного производства. – М.: Машиностроение, 1991. – 368 с.
55. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др.; Под. общ. ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
56. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов: Учеб. пособие по лаб. практикуму: В 2 ч. / Данченко В.Г., Коллеров В.В., Мещеряков А.Н., Миронова С.Ю., Морголенко А.С., Планковский С.И. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2002. – Ч.1. – 117 с.
57. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов: Учеб. пособие по лаб. практикуму: В 2 ч. / Данченко В.Г., Коллеров В.В., Мещеряков А.Н., Миронова С.Ю., Морголенко А.С., Планковский С.И. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2002. – Ч.2. – 69 с.
58. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов: Учеб. пособие / В.Е. Гайдачук, В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин, Г.А. Молодцов. - Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 332 с.
59. Технология производства летательных аппаратов: Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Под ред. В.Г. Кононенко. – К.: Вища школа, 1974. - 221 с.
60. Технология самолетостроения / А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
61. Типаж кузнечно-прессового оборудования на 1986-1990 гг. – М.: ЭНИКМАШ, 1986. – 300 с.
62. Штамповка, сварка, пайка и термообработка титана и его сплавов в авиастроении / А.Г. Братухин, Ю.Л. Иванов, Б.И. Марьин и др. – М.: Машиностроение, 1997. - 600 с.
63. Экономика предприятия: Сборник задач / А.И. Бабушкин, А.Н. Березюк, В.Н. Гавва и др. - Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2001. – 188 с.
64. Сафронов Я.В., Гавва В.Н., Пильщиков В.А. Экономическое обоснование бизнес-проектов в машиностроении: Учеб. пособие по курсовому проектированию для студентов факультета заочного обучения. - Х.: Гос. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2000. - 57 с.

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	3
ВСТУП.....	4
ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ З ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ АКТ.....	5
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАГОТІВЕЛЬНО-ШТАМПУВАЛЬНИХ РОБІТ У ВИРОБНИЦТВІ ДЕТАЛЕЙ АКТ.....	11
1.1. Загальна характеристика та особливості заготівельно-штампувальних робіт.....	11
1.2. Основні технологічні операції.....	13
1.3. Застосовувані матеріали.....	14
1.4. Технологічне устаткування та автоматизація ЗШР.....	15
2. РОЗПОДІЛ НАПІВФАБРИКАТІВ РІЗНИХ ФОРМ ПЕРЕРІЗУ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛОСКИХ ЗАГОТОВОК І ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТА.....	18
2.1. Загальна характеристика плоских деталей та їх класифікація.....	18
2.2. Системи розкрою листів.....	19
2.3. Одержання деталей першої технологічної групи.....	20
2.4. Одержання деталей другої технологічної групи.....	21
2.5. Одержання деталей третьої технологічної групи.....	22
2.6. Особливості розподілу профілів і труб.....	23
3. ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОСТОРОВОЇ ФОРМИ З ЛИСТОВИХ, ПРОФІЛЬНИХ І ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК ГНУТТЯМ.....	24
3.1. Отримання деталей просторової форми з листових заготовок гнуттям.....	24
3.2. Отримання деталей АКТ з профілів.....	29
3.3. Виготовлення деталей з трубних заготовок.....	32
4. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АКТ ВИТЯЖКОЮ І ОБТЯЖКОЮ З ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК.....	34
4.1. Витяжка з листового матеріалу деталей АКТ.....	34
4.2. Проста обтяжка обшивок з листового матеріалу.....	38
4.3. Обтяжка з розтягненням.....	40
4.4. Кільцева обтяжка.....	41
5. СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ФОРМОУТВОРЕННЯ (ШТАМПУВАННЯ) ДЕТАЛЕЙ АКТ.....	42
5.1. Штампування на листоштампувальних (падаючих) молотах.....	42
5.2. Штампування еластичними середовищами.....	43
5.3. Надпластичне формування (НПФ) з використанням явища надпластичності металу.....	44
5.4. Високоенергетичні способи штампування.....	45
5.5. Виготовлення деталей АКТ з неметалічних матеріалів.....	47
6. ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ У ЗАГОТІВЕЛЬНО-ШТАМПУВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	49
6.1. Показники ефективності процесів заготівельно-штампувального виробництва.....	49
6.2. Склад технологічної собівартості виготовлення деталей ЗШР.....	50
7. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ.....	52
7.1. Типові групи деталей планера, оброблювані різанням.....	52
7.2. Операційні припуски і методика розрахунку розмірів заготовок.....	52
7.3. Точність процесів розмірної обробки деталей планера.....	53
7.4. Режими різання для операцій розмірної обробки.....	53
8. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ.....	54
8.1. Підготовчі операції розмірної обробки різанням.....	54

8.2. Обробка деталей на верстатах токарної групи	56
8.3. Процеси обробки отворів	57
8.4. Технологічні особливості обробки отворів свердлінням, зенкуванням, розгортанням.....	57
8.5. Методи нарізування різі.....	58
8.6. Види координатної обробки фрезеруванням.....	61
8.7. Види фрезерної обробки.....	61
8.8. Типові траєкторії інструменту при фрезеруванні	62
8.9. Багатокоординатна об'ємна обробка	63
8.10. Електрофізичні методи розмірної обробки	63
8.11. Види шліфування.....	66
8.12. Обробні методи абразивної обробки.....	67
8.13. Контроль точності розмірної обробки на базі координатно- вимірювальних машин	70
9. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ.....	71
9.1. Базування заготовок при розмірній обробці	71
9.2. Основні схеми базування монолітних заготовок	72
9.3. Похибка базування	74
9.4. Структура спеціальних верстатних пристроїв	74
9.5. Універсально-складальні пристрої	76
10. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ АКТ.....	77
10.1. Етапи проектування технології розмірної обробки.....	77
10.2. Одиничні, типові та групові ТП розмірної обробки	78
10.3. Аналіз креслення деталі і можливого ТП обробки	79
10.4. Вибір верстатів для обробки деталей різних груп.....	80
10.5. Особливості процесів обробки на багатоцільових верстатах	81
10.6. Методика оцінки економічної ефективності технологічних процесів виготовлення деталей розмірною обробкою.....	82
11. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ	83
11.1. Технологічні особливості різання композиційних матеріалів	83
11.2. Технологічні особливості різання титанових сплавів	84
11.3. Технологічні особливості різання високоміцних сталей	84
11.4. Основні особливості різання жароміцних і нержавіючих сталей.....	85
11.5. Технологічні особливості високошвидкісного фрезерування.....	86
11.6. Технологічні методи підвищення стійкості різального інструменту	87
12. ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	89
12.1. Технологічні особливості віброзміцнення	90
12.2. Пневмодинамічний спосіб зміцнення	91
12.3. Гідроабразивна обробка.....	92
12.4. Обробка накочуванням роликками.....	93
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	94

Данченко В'ячеслав Григорович
Дяченко Юрій Веніамінович
Воронько Віталій Володимирович

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Редактор Н.М. Сікульська

Зв. план, 2005

Підписано до друку 03.10.2005

Формат 60×84 ¹/₁₆. Папір офс. № 2. Офс. друк.

Ум. друк. арк. 5,6. Обл.-вид. арк. 6,25. Наклад 300 прим.

Замовлення 464. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu