

**Є. Ю. НІКОЛЕНКО,  
Ю. В. ТКАЧОВ**

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИРОБНИЦТВА  
РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ  
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

**2006**

Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет

---

Є. Ю. НИКОЛЕНКО, Ю. В. ТКАЧОВ

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА  
РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*Ухвалено вченою радою університету  
як навчальний посібник*

Дніпропетровськ  
РВВ ДНУ  
2006

УДК 621.76.002 (075.8)  
Н 62

**Рецензенти:** голов. технолог ДП «ВО Південний машинобудівний завод» **В. О. Туров**, канд. техн. наук, доц. **І. М. Єрмолаєв**

Н 62 **Ніколенко Є. Ю.**

Основи технології виробництва ракетно-космічних літальних апаратів: Навч. посіб. /Є. Ю. Ніколенко, Ю. В. Ткачов. – Д.: РВВ ДНУ, 2006. – 116 с.

Наведені загальні дані про методи організації виробництва, методи проектування технологічних процесів обробки, складання й випробувань, а також засоби забезпечення точності та стабільності процесів виробництва. Подані конструкції, характеристики матеріалів і розглянуті технологічні процеси та методи виробництва основних елементів конструкції паливної системи рідинних ракет, корпусів сухих відсіків клепаної конструкції, рідинних двигунів; приділено увагу основним методам захисту конструкцій і технологіям виробництва захисних багатофункціональних покриттів.

Навчальний посібник укладений відповідно до «Методичних рекомендацій щодо структури, змісту та обсягів підручників і навчальних посібників для вищих навчальних закладів» (лист від 01.08.2005 р. №1/9-398).

Для студентів усіх ракетних спеціальностей фізико-технічного факультету ДНУ.

## ВСТУП

У природі існує дуже мала кількість предметів, які людина може використовувати безпосередньо без перетворення. Тому людство завжди прагне до пристосовування предметів природи для задоволення своїх потреб. Сучасна людина бажає швидко перетворювати предмети природи за допомогою машин. Суспільство постійно має потребу в нових видах продукції або в скороченні видатків при виготовленні освоєної продукції. Ці потреби можуть бути задоволені за допомогою нових технологічних процесів і машин. Таким чином, стимулом створення **нової машини** завжди є **новий технологічний процес**. Машина є корисною лише тоді, коли вона здатна задовольняти потреби людей з належним рівнем якості.

**Технологія машинобудування**, частиною якої є технологія виробництва літальних апаратів та енергетичних двигунних установок, – це наука про процеси виробництва машин, взаємини, залежності та закони розвитку цих процесів. Технологія машинобудування вивчає процеси підготовки виробництва, виготовлення, складання та випробування машин, виявляє об'єктивні закони цих процесів, взаємозв'язки, розвиток та їх взаємодія з конструкцією машин із метою побудови найбільш раціональних, економічних та ефективних процесів виготовлення, складання та випробування.

**Процес створення машини** складається з двох етапів – проектування й виготовлення. Результатом проектування є креслення машини, а результатом виготовлення за допомогою виробничого процесу – машина. Науково-обґрунтована реалізація другого етапу – це головне **завдання технології машинобудування**.

**Виробництво** – кінцева стадія матеріального процесу виготовлення, тому технологія суттєво впливає на вимоги до конструкцій машин. Тобто можна говорити про конструктивно-технологічне формування машин як про єдиний процес їх створення. Ця єдність конструкції та технології виявляється в спільному розвитку – нові конструкції стимулюють появу нових методів виробництва, а саме нових технологій, а нові технологічні можливості сприяють виникненню нових, більш прогресивних конструкцій, які, у свою чергу, стимулюють розвиток більш досконалих технологій.

Технологія машинобудування має два завдання: розробка теорії проектування прогресивних, науково-обґрунтованих технологічних процесів, методів та засобів створення машин; розробка вимог до тех-

нологічності при створенні машин, які забезпечать можливість застосування на виробництві найбільш ефективних й економічних технологічних процесів.

Розробка технологічного процесу ведеться на основі двох принципів – технічного й економічного. Технічним принципом є абсолютне виконання усіх вимог креслення й технічних умов на виготовлення виробу. Економічним принципом є виготовлення виробу з мінімальними затратами праці та видатками виробництва. Іншими словами, найбільш раціональним варіантом розробленої технології буде такий, що забезпечує необхідний рівень якості продукції та характеризується найбільшою продуктивністю й економічністю.

Вивчення закономірностей, що мають місце в процесі переробки початкових матеріалів, удосконалення конструкцій інструментів, пристроїв та верстатів є дуже необхідним як для раціонального керування виробництвом, так і для розробки та впровадження більш досконалих технологічних процесів виготовлення деталей машин, апаратів і приладів.

**Технологія виробництва літальних апаратів**, на відміну від інших напрямків технології машинобудування, посідає особливе місце та є найбільш розвинутою й прогресивною галуззю загальної технології. Це пов'язано, по-перше, зі складністю та новизною об'єктів виробництва, тобто ракет, по-друге – з широким використанням нових конструкційних матеріалів, застосуванням методів та форм виробництва, для яких властива оснащеність найбільш прогресивними й новими засобами виробництва.

# Частина I ЗАГАЛЬНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

## Розділ 1 ОСОБЛИВОСТІ Й ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВИРОБІВ РАКЕТНО- КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

### 1.1. ВИРОБНИЧИЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕСИ

**Виробничий процес** – це сукупність усіх етапів, що проходять початкові матеріали на шляху перетворення на готову машину, тобто: одержання заготовок; механічна обробка; термічна обробка; хіміко-термічна обробка; контроль і випробування, складання, транспортування, зберігання і т. ін.

За впливом на об'єкт виробництва різні етапи виробничого процесу можна розділити на дві групи. Перша група процесів змінює якісний стан, тобто форму, розміри, структуру, хімічний склад, зовнішній вигляд об'єкта; друга група процесів не має якісного впливу, але необхідна для реалізації виробничого процесу – це контроль, випробування, накопичення, транспортування, зберігання тощо.

Сукупність дій усіх людей, а також засобів виробництва, необхідних для виробництва ракетних систем, і періодичної планової заміни певних складальних одиниць із метою подальшої експлуатації цих систем протягом установленого терміну, називається **виробничим процесом космічного заводу**. Виробничий процес має такі складники: технологічна підготовка виробництва; матеріальне забезпечення; одержання заготовок; обробка деталей; складання; контроль і випробування; транспортування; зберігання; періодичне планове виготовлення й заміна певних складальних одиниць та агрегатів. Можна говорити про виробничий процес не тільки заводу, а й цеху, ділянки, якщо передбачені різні етапи виготовлення виробу.

Виробничий процес виготовлення основної продукції заводу є **основним процесом**. Усі інші процеси, які забезпечують основний, називаються допоміжними. **Допоміжними є процеси** виготовлення загото-

вок, приладь, інструментів, а також транспортування, забезпечення матеріалами тощо.

Етапи виробничого процесу, протягом яких відбуваються якісні зміни об'єкта виробництва, називаються **технологічними процесами**. Наприклад, технологічний процес виготовлення деталей, термообробки, складання, фарбування та ін. Технологічний процес є основною частиною виробничого процесу. Він містить дії, спрямовані на змінювання й подальше визначення стану об'єкта виробництва, тобто – це процес перетворення початкових матеріалів у вигляді заготовок і напівфабрикатів на готові деталі або вироби з безперервним контролем на всіх етапах. Технологічний процес має подвійний, комплексний характер. З одного боку, це фізико-хімічний процес, а з іншого – процес праці людини.

Загальний технологічний процес складається з певних частин, тобто окремих технологічних процесів виготовлення певних деталей, складання окремих вузлів, агрегатів і виробу в цілому, а також процесів контролю та випробувань. Технологічний процес складання літального апарата включає технологічні процеси виготовлення шпангоутів, панелей, днищ, складання баків, відсіків, агрегатів, форсункових головок, камер згоряння, двигунів тощо й загальне складання, що є кінцевим етапом виготовлення виробу. Воно має вирішальне значення для всього виробництва заводу.

Технологічний процес виконується робітниками на робочих місцях за допомогою технологічного устаткування, інструментів та приладь, розміщених у приміщенні. **Робоче місце** – частина простору цеху або ділянки, призначена для виконання операції одним робочим чи групою робітників, у якому розміщене устаткування, інструменти та приладдя. Технологічний процес має певну структуру й окремі структурні елементи, кожний із яких характеризується єдністю низки факторів.

**Технологічна операція** – важливий елемент технологічного процесу, його закінчена частина, виконувана на одному робочому місці. Операція має відповідати трьом незмінним ознакам: одне робоче місце, одна заготовка (або декілька деталей при складанні) та один робітник (або бригада). Зміна однієї з ознак визначає нову операцію. Операція є найменшою частиною технологічного процесу, для якої розробляється технологічна документація та за якою здійснюється планування й облік. Необхідність поділу технологічного процесу на операції обґрунтовується двома причинами: фізичними, тому що неможливо обробити заготовку одразу з усіх боків, також необхідно застосовувати різне об-

ладнання для чистової та чорнової обробки; економічними, за якими можна оцінити доцільність або недоцільність створення спеціального устаткування для комплексної обробки. Операції можуть бути основними та допоміжними. Вони складаються з таких елементів, як перехід, прохід, прийом, установлення й позиція.

**Основні операції** змінюють геометричну форму й розміри, внутрішню структуру або властивості оброблюваних об'єктів, а також положення одних деталей відносно інших при складальних роботах. До основних операцій, також належать термообробка, фарбування, сушіння, старіння матеріалу та ін. **Допоміжними операціями** є операції контролю якості, комплектування, маркірування, таврування, складування, транспортування та ін.

**Перехід** – це закінчена частина операції, яка характеризується постійністю поверхонь та інструмента, що використовується під час обробки, або з'єднання деталей під час складання. Він виконується при незмінних режимах обробки й постійному закріпленні заготовки. При механічній обробці перехід супроводжується одержанням нової поверхні. Переходи можуть бути **основними**, безпосередньо пов'язаними зі здійсненням технологічного впливу, та **допоміжними**, які складаються з послідовності дій робітника й механізмів, необхідних для виконання основного переходу. Наприклад, обробка отвору може виконуватися декількома інструментами: свердлом, зенкером, розгорткою. У цьому випадку необхідні три основних переходи. Допоміжні переходи – це установлення й фіксація заготовки, заміна приладдя або інструмента, підведення та відведення інструмента тощо.

**Прохід (робочий хід)** є частиною переходу, при обробці – це однократний відносний рух заготовки з приладдям й інструмента, результатом якого є видалення з поверхні заготовки одного шару матеріалу, товщина якого дорівнює глибині різання.

**Прийом** – це закінчена сукупність дій робітника, об'єднаних одним цільовим призначенням та спрямованих на виконання переходу чи його частини при незмінності матеріальних факторів. Наприклад, перехід «установити заготовку» містить послідовність дій (прийомів): «узяти заготовку з тари», «перемістити заготовку до приладдя», «установити й закріпити заготовку в приладді»; або перехід «установити інструмент» містить такі прийоми: «узяти інструмент», «установити інструмент на верстат», «закріпити інструмент».

**Установлення** – це процес надання необхідного положення заготовці та її закріплення. Установлення є частиною операції, яка виконується

при незмінному закріпленні заготовок під час обробки. Для повної обробки заготовки зазвичай потрібно декілька установлень.

**Позиція** – це кожне нове фіксоване положення заготовки разом із приладдям відносно інструмента (робочих органів верстата) або нерухомої частини устаткування для виконання певної частини операції.

## 1.2. ОСОБЛИВОСТІ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ Й ЕНЕРГЕТИЧНИХ ДВИГУННИХ УСТАНОВОК ЯК ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА

До особливостей виробів ракетно-космічної техніки як об'єктів виробництва належать, по-перше, складність конструкції, по-друге – специфічний характер виробництва. Докладніше їх можна сформулювати так.

1. Елементи конструкції сучасних ракет мають витримувати напружені, навіть екстремальні, режими роботи, а саме: високу температуру в камерах згоряння двигунів та на поверхнях головних частин або спускних апаратів, високу швидкість і тиск течії гарячих газів із камер згоряння, які суттєво впливають на елементи конструкції, спричиняючи ерозію, а також корозію деталей баків та елементів конструкції рідинних двигунів, які працюють у середовищі активних компонентів палива. Напружений режим роботи двигуна та інших вузлів викликає **необхідність застосування нових матеріалів із спеціальними властивостями**, а саме: високою міцністю, корозійною стійкістю, ерозійною стійкістю, жароміцністю тощо [2]. Таким матеріалам зазвичай властива висока вартість та низька оброблюваність.

2. Сучасні ракети та космічні апарати мають надзвичайну складність і велику кількість деталей. Наприклад, у виробів середньої складності кількість деталей становить близько десяти тисяч найменувань. Агрегати, вузли та прилади мають велику різноманітність. Зважаючи на технологічні та організаційні властивості виробництва, його неможливо організувати на одному заводі. Тому **при виробництві використовується широка кооперація**.

3. Процеси розвитку сучасної техніки й оновлення об'єктів виробництва все більш прискорюються, тому виробництво повинно швидко освоювати й випускати необхідну кількість видозмінених елементів конструкції. Це спричиняє необхідність **легкого переналагодження виробництва**, тобто використання швидкопереналагоджуваного обладнання, нормалізованої оснастки, типових технологічних процесів та групових методів обробки. Для скорочення термінів технологічна під-

готівка виробництва має здійснюватися паралельно з проектуванням виробу.

4. Конструкції літальних апаратів постійно вдосконалюють за масовими характеристиками й запасами міцності. При цьому вони повинні мати жорстку конструкцію, яка при великих габаритних розмірах складається з нежорстких елементів зі складними поверхнями. При широкій кооперації це вимагає від різних заводів і цехів **високої точності й взаємозамінності**, тому при виготовленні та складанні вузлів літальних апаратів застосовують плазо-шаблонний метод.

5. Використання листових елементів у конструкціях виробів визначає розвиток технології листового холодного та гарячого об'ємного штампування, а також удосконалення складання клепаанням, методів зварювання та склеювання, що значно впливає на **рівень оснащення цехів**.

6. Літальні апарати повинні мати високу надійність, рівень якої не може бути перевірений запуском. Тому надійність забезпечується системою імітаційних випробувань на спеціальних стендах, на яких перевіряються всі прилади та вузли в автономному й комплексному режимах. У процесі виробництва зазначені **випробування займають до 40% від загального часу виробництва**.

7. Висока наповненість внутрішнього простору літального апарата приладами й обладнанням та їх мініатюризація вимагає **використання при складальних роботах макетів вузлів** для попереднього випробування посадкових місць. Це підвищує трудомісткість та збільшує кінцеву вартість виробу.

### 1.3. ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

Основною метою технологічної підготовки виробництва є забезпечення за мінімальний термін та з мінімальними фізичними й матеріальними видатками повної готовності виробництва будь-якого типу до випуску виробів заданої якості.

Технологічна підготовка виробництва регламентується «Єдиною системою технологічної підготовки виробництва» (ЄСТПВ). Головна особливість ЄСТПВ полягає в тому, що вона забезпечує високу мобільність виробництва, яке здатне перейти на випуск необхідної номенклатури виробів. ЄСТПВ дає можливість безперервно вдосконалювати виробництво шляхом планомірного впровадження нових досягнень науки й техніки. Основним призначенням ЄСТПВ є забезпечення уніфікова-

ного підходу для всіх підприємств у застосуванні правил, методів і засобів підготовки виробництва. До технологічної підготовки виробництва також належать науково-дослідні, конструкторські та експериментальні роботи з упровадження нових технологій, матеріалів, обладнання, приладів та пристроїв. Технологічна підготовка виробництва складається з таких видів робіт:

- відпрацювання конструкцій, які плануються до освоєння та випуску, на технологічність;
- розробка нових і вдосконалення існуючих технологічних процесів;
- проектування й виготовлення технологічної оснастки, нестандартного обладнання, пристроїв та приладів;
- перевірка й корегування розроблених технологічних процесів, оснащення, пристроїв, приладів і нестандартного обладнання.

Основними завданнями відпрацювання конструкції на технологічність є вибір раціонального принципу дії, скорочення довжини кінематичних ланцюгів, раціональне розділення й компонування конструкції, застосування вже використовуваних конструкційних матеріалів.

Під час розробки технологічного процесу вирішуються питання:

- раціонального використання коопераційних поставок;
- упровадження ефективних заготівельних операцій з метою зменшення матеріальних й енергетичних видатків, а також трудомісткості механічної обробки, забезпечення економічно-обґрунтованого рівня механізації виробництва, застосування прогресивних технологічних процесів обробки (електрофізичних, електрохімічних, ультразвукових та ін.);
- розробки технічного забезпечення якості виробу з урахуванням його особливостей.

Існує два **методи переходу підприємства до випуску нових виробів**, а саме: з тимчасовим припиненням випуску продукції, переплануванням цехів, переналагодженням існуючого й установленням нового обладнання; без припинення виробництва, коли під час випуску старого виробу виконуються всі роботи з підготовки й освоєння виробництва нового виробу.

Підвищення рівня новизни й складності виробу спричиняє підвищення обсягу робіт, щодо перебудови виробничого й технологічного процесів. Відповідно до розроблених технологічних процесів і на підставі конструкторської документації на виріб конструкторські бюро, головні служби технолога, механіка, металурга та інших підрозділів

проектують спеціальне й нестандартне оснащення, яке буде застосовуватись у технологічних і контрольних операціях.

Технологічним службам підприємства підпорядковуються такі цілі: інструментальний, нестандартного обладнання, механізації, автоматизації та відпрацювання нових технологій, у яких виготовляється нове технологічне оснащення й відпрацьовуються нові технології.

Існує два **методи технологічної підготовки виробництва**. За першим методом підготовка виробництва проводиться після повної розробки технічної документації на новий виріб, за другим – паралельно, під час розробки технічної документації. При паралельному методі служби головного технолога, металурга та інші надсилають до конструкторського бюро, що розробило виріб, досвідчених фахівців, які безпосередньо з конструкторами вирішують питання технологічності конструкції. Це дозволяє скоротити термін підготовки виробництва.

**Видатки на підготовку виробництва**, у тому числі на проектування оснащення, не повинні перевищувати економію на технологічній собівартості операцій основного процесу виробництва. Існує граничне значення програми випуску, нижче якого необхідно відкидати більш вартісні варіанти переоснащення.

## Розділ 2 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ

### 2.1. ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ПОРЯДОК РОЗРОБКИ, СТАДІЇ ТА ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

**Завдання на проектування** технологічного процесу є офіційним документом для його створення. Одним із головних завдань технології машинобудування є створення наукових основ для проектування оптимальних технологічних процесів обробки деталей і складання виробів. Проектування технологічних процесів характеризується, по-перше, багатоваріантністю можливих рішень, кожне з яких може забезпечити задані кресленням вимоги, технічні умови й програму випуску. На окремих етапах проектування приймається єдине рішення, наприклад, при виборі заготовки, баз, операцій обробки деталей та при розрахунках режимів обробки. По-друге, всі операції та етапи проектування технологічних процесів мають бути взаємозалежними. Це спричиняє послідовні наближення (ітерації) при проектуванні та сприяє одержанню раціонального рішення, тобто на кожному новому етапі проектування уточнюються дані попередніх варіантів технологічних процесів. **При проектуванні технологічних процесів необхідно виділити такі стадії:**

- уточнення початкових даних, аналіз критеріїв та підготовка до проектування технологічного процесу;
- аналіз виробничої програми та вибір типу виробництва;
- аналіз початкових даних і вибір заготовки;
- розробка маршрутної технології – схеми або плану технологічного процесу;
- розробка окремих операцій – операційної технології;
- розрахунки загальних показників технологічного процесу, техніко-економічний аналіз і вибір найбільш раціонального варіанта.

У свою чергу, ці **стадії складаються з послідовних етапів**, наприклад для механічної обробки вони будуть такими:

- призначення й уточнення початкових даних для проектування та встановлення критеріїв вибору варіанта технологічного процесу, що проектується;



- вивчення й аналіз креслення деталі або виробу, призначення технічних умов і заданої програми;
- вибір типу виробництва;
- вивчення властивостей матеріалу й конфігурації деталі, вибір заготовки та методу її одержання;
- вибір методів та їх кількості для обробки кожної поверхні, попереднє визначення операцій;
- розробка маршрутної технології, визначення кількості й порядку операцій, призначення обладнання;
- аналіз точності обробки та вибір методів контролю;
- визначення стратегії контролю в маршрутній технології;
- розрахунок припусків і проміжних розмірів на механічну обробку, розробка креслення заготовки;
- проектування операційної технології, тобто уточнення маршрутної технології та розробка переходів усіх операцій технологічного процесу;
- призначення установлювальних і вимірювальних баз та проектування технологічного приладдя;
- вибір та розрахунки режимів різання, призначення й розрахунок кількості різального інструменту;
- остаточний вибір устаткування й уточнення режимів обробки;
- нормування операцій, розрахунок кількості основних робітників, визначення коефіцієнта завантаження робочих місць;
- визначення кваліфікації, розряду та спеціальності основних робітників;
- розрахунок організаційно-технічних заходів і постачання робочих місць;
- розрахунок техніко-економічних показників та вибір остаточного варіанта технологічного процесу;
- завершальне уточнення технологічного процесу, перевірка його стабільності та впровадження у виробництво.

## 2.2. ПОЧАТКОВІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Початковими даними для проектування технологічного процесу є складальне креслення, робоче креслення, технічні умови, виробнича програма, креслення заготовки, відомості про обладнання, нормативні й інструктивні матеріали, особливі вимоги та критерії оптимізації.

**Робоче креслення** – це основний документ на деталь, що містить необхідну кількість проєкцій, розмірів, перерізів та розрізів, який дозволяє уявити конфігурацію деталі. **Складальне креслення** дозволяє представити конкретні умови роботи вузла, розташування та поєднання деталей у складальній одиниці. Воно необхідне для вибору оптимального варіанта виготовлення й складання. **Технічні умови** на виготовлення деталей, вузлів та агрегатів указують на методи виготовлення або складання, методи контролю й зберігання, вимоги до тари, транспортування, таврування тощо. **Креслення заготовки** безпосередньо не належить до початкових даних. В окремих випадках заготовки можуть бути задані як початкові з вимогами щодо надійного й точного виготовлення певних відповідальних поверхонь.

**Виробнича програма** або обсяг випуску дозволяє визначити тип виробництва (масове, серійне або одиничне), який впливає на методи одержання заготовок, ступінь концентрації та механізації операцій, вибір обладнання, нормування, визначення кількості робочих та ін. Виходячи з річної програми випуску однієї деталі та кількості запасних деталей для забезпечення безперервної роботи з урахуванням браку, розраховують виробничу програму (програма запуску) у відсотках від річної програми за формулою

$$P_3 = P_p m \left( 1 + \frac{\beta}{100} \right) \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right),$$

де  $P_3$  – програма запуску, шт.;  $P_p$  – річна програма випуску однієї деталі, шт.;  $m$  – кількість найменувань деталей;  $\beta$  – відсоток запасних деталей, 1–3%;  $\alpha$  – передбачений відсоток браку, %.

**Дані про обладнання** дають можливість вибирати методи обробки, технологічну оснастку, режими різання тощо. **Нормативні й інструктивні матеріали** допомагають прийняти конкретні рішення на основі попереднього виробничого досвіду. До них належать ДСТУ, ГОСТ, СТП, нормалі, нормативи, альбоми типових процесів, інструкції, каталоги обладнання й інструменту та ін.

**Критеріями оптимізації** технологічних процесів є забезпечення: мінімальної собівартості виготовлення деталі, мінімальної кількості основних робочих, максимальної продуктивності технологічного процесу, використання мінімальної виробничої площі та ін. Наприклад, забезпечення мінімальної собівартості при заданій продуктивності й надійності або забезпечення максимальної продуктивності при заданій собівартості й використанні певної кількості основних робітників.

Ступінь детальності опрацювання технологічного процесу залежить від виробничої програми й такту випуску, тобто від заданого типу виробництва. Відповідність розробленого технологічного процесу заданій програмі забезпечується співвідношенням між тактом виробництва й часом операцій. **Тактом виробництва**  $\tau$  називається відрізок часу, протягом якого виготовляється деталь або виріб. Він розраховується за заданою програмою та визначається відношенням дійсного фонду часу роботи обладнання до річної програми випуску:

$$\tau = \frac{\Phi_D}{P_p} = \frac{60}{P_p} N_p K_3 T_3 \left(1 - \frac{\gamma}{100}\right),$$

де  $\Phi_D$  – дійсний фонд часу роботи обладнання, год;  $P_p$  – річна програма випуску, шт.;  $N_p$  – кількість робочих днів на рік;  $K_3$  – кількість змін на добу;  $T_3$  – кількість годин у зміні;  $\gamma$  – втрати номінального фонду часу роботи обладнання, %. При  $\tau \leq 5$  хв – виробництво масове, при  $\tau > 5$  хв – виробництво серійне. Такт виробництва також може бути визначений за відношенням штучно-калькуляційного часу  $T_{шт.к.}$ , що характеризує продуктивність технологічного процесу, до кількості однакових робочих місць  $M$ , на яких виконується одна операція:

$$\tau = \frac{T_{шт.к.}}{M}.$$

Виходячи з виробничого досвіду, максимальне значення  $M$  не повинно перевищувати 3, таким чином  $T_{шт.к.} \leq 3\tau$ . У випадках, коли  $T_{шт.к.} > 3\tau$ , технологічний процес не може забезпечити виконання програми. Розрахунки необхідно проводити за максимальним  $T_{шт.к.}^{max}$ , тому що він визначає випуск виробів.

Умову  $T_{шт.к.} \leq 3\tau$  можна забезпечити такими шляхами:

- у випадку, коли час найбільш тривалої операції значно менший такту, необхідно об'єднати операції в одну;
- у випадку, коли час найбільш тривалої операції перевищує три такти, її необхідно розділити на декілька операцій або підвищити її продуктивність;
- зменшення часу операції може бути здійснене підвищенням режимів різання або скороченням допоміжного часу шляхом її автоматизації;
- для забезпечення випуску виробів, який повинен дорівнювати заданій програмі, необхідно, щоб такт виробництва дорівнював часу операцій.

## 2.3. ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТОВОК

Вартість заготовки залежить від вартості використовуваного матеріалу та методу її виготовлення. Підвищення точності заготовки збільшує час її одержання, але скорочує час виготовлення деталі. У кожному конкретному випадку здійснюється оптимізація цих параметрів. Конструктор призначає марку матеріалу, точність, шорсткість поверхонь і геометричні розміри деталі. Керуючись цим, а також програмою випуску й можливостями виробництва, технолог визначає метод одержання заготовки.

**Основні види заготовок** такі: ливарні з чорних і кольорових металів, ковани, пресовані, штамповані, прокатні, листові, металокерамічні, із неметалевих матеріалів. Головним показником для вибору заготовки є коефіцієнт використання матеріалу, який визначається відношенням маси деталі до маси заготовки:

$$K = \frac{m_o}{m_3} \geq 0,6,$$

де  $K$  – коефіцієнт використання матеріалу;  $m_o$  – маса деталі;  $m_3$  – маса заготовки.

Основними **методами одержання ливарних заготовок** є лиття в землю, коркове, у кокіль, під тиском, за виплавними моделями та відцентрове.

**Лиття в землю** здійснюється в піщані форми, що утворюються за допомогою моделі заготовки або її самої. Після виймання моделі з форми крізь ливарні отвори заливається метал. Цей метод застосовується для одержання грубих заготовок великої маси. Він дешевий та найпростіший, але низькоточний і збільшує відходи матеріалу під час подальшої обробки.

**Коркове лиття** здійснюється в оболонкову форму. Воно забезпечує одержання заготовки високої точності з тонкими стінками. Цей метод є відносно вартісним за рахунок високої трудомісткості та вартості виготовлення оболонкових форм.

**Кокільне лиття** виконується в металеві форми – кокілі, які можна використовувати багато разів. Цей метод забезпечує високу точність заготовки, яка залежить від точності кокілю. Зазвичай його застосовують в умовах масового виробництва для одержання заготовок масою від 0,5 до 5000 кг.

**Лиття під тиском** здійснюється в металеві форми та застосовується

ся для одержання заготовок складної конфігурації. Цей метод використовується для матеріалів, заготовки з яких не можна одержати іншими ливарними методами. Він забезпечує високу продуктивність, точність, міцність відливок та чистоту поверхні. Заготовки зі сталі можна одержувати з мінімальною товщиною стінки близько 0,6 мм. Недоліком методу є малі габарити заготовок.

**Лиття за виплавними моделями** здійснюється у форми, які виготовляються за допомогою воскової моделі заготовки. Модель покривається піском із клеєм у декілька шарів, кожний шар послідовно висушується. Після цього готова форма відпалюється. Під час відпалювання віск витікає. В одержану форму заливається матеріал. Після остигання відливка форма руйнується. Цей метод забезпечує високу точність, чистоту поверхні й продуктивність. Вага заготовки може становити від декількох грамів до 10 кг. Коефіцієнт використання матеріалу досягає 0,96. Мінімальна товщина стінки заготовки для алюмінію та його сплавів становить 0,8 мм.

**Відцентрове лиття** застосовується для деталей, які мають форму обертання. Метал заливається в циліндричну або іншу форму. Під час обертання під дією відцентрових сил він розтікається по формі. Цим методом також можна одержувати безшовні трубчасті заготовки з матеріалів, що важко деформуються.

У ракетно-космічній та авіаційній промисловості набули поширення **методи, основані на процесах пластичного деформування матеріалів** для формоутворення заготовок для тонкостінних оболонкових конструкцій та елементів конструкції складної форми. Це методи кування, штампування, прокатування та пресування.

Під час **кування** метал, що знаходиться між плоскими бойками, розтікається в різні сторони. Під час **штампування** він розтікається по матриці або формі. При **об'ємному штампуванні** метал деформується в об'ємних штампах. Штампи виробляються з високоміцних сталей типу 9ХС, ХВГ, тому що вони мають витримувати ударні й температурні навантаження.

**Листове штампування** застосовується для одержання об'ємних тонкостінних заготовок будь-якої конфігурації з листового матеріалу. **Метод холодного штампування** забезпечує високу точність. Відходи матеріалу не перевищують 15%. У ракетно-космічній техніці цим методом одержують деталі з листових заготовок товщиною 0,5–6 мм. Листи виготовляються з алюмінієвих і титанових сплавів. **Методом гарячого штампування** одержують заготовки з листового матеріалу товщиною

6–20 мм, наприклад півсфери для балонів високого тиску. Штампування здійснюється після нагрівання заготовки на гідропресах зусиллям до 200 МН.

**Методи прокатування** застосовуються для одержання профілів з різною формою перерізу, холоднокатаних й гарячекатаних листів товщиною 0,2–4 мм розміром 600×3500 мм, або товщиною 40–120 мм розміром 600×3000 мм, а також нержавіючих труб і труб із кольорових металів, куль та гнутих профілів із складною формою перерізу.

**Пресовані профілі й тонкостінні оребрені панелі** з алюмінієвих сплавів є металургійними напівфабрикатами, які найбільш широко використовуються для виготовлення поздовжньо-поперечного силового набору й несучої силової оболонки виробів. Застосування **пресування** (видавлювання) як основного способу одержання профілів, труб і панелей з алюмінієвих сплавів для нових галузей техніки пояснюється: частотою зміною об'єктів виробництва, що зумовлює дрібносерійність виготовлення профілів; частотою зміною інструменту, що просто здійснити при пресуванні; складністю конфігурації поперечного перерізу; порівняно низькою в'язкістю алюмінієвих сплавів при підвищених температурах, що зменшує зусилля пресування.

Пресуванням можуть бути одержані заготовки досить точних розмірів практично будь-якої форми, які відрізняються високою якістю поверхні. Пресовані профілі з алюмінієвих сплавів, особливо високоміцних, мають кращі характеристики міцності, ніж одержані іншими методами. Крім того, при пресуванні значно нижча вартість інструменту й простіша його зміна. Тому при використанні таких профілів не має суттєвого значення розмір замовлення, який є головним лімітувальним показником при сортовому прокаті й штампуванні. Пресування виробів досить складної форми дозволяє значно зменшити обсяг механічної обробки, а також підвищити експлуатаційні характеристики деталей, особливо з різкими переходами, тому що при їх механічній обробці перерізається волокно металу, що послаблює деталі.

**Промисловий сортамент пресованих профілів** з алюмінієвих сплавів досить різноманітний, він нараховує понад 9 тис. типорозмірів [6]. Усі профілі, що використовуються в техніці, можна поділити на 4 види: профілі суцільного, постійного за довжиною перерізу; профілі із закінцівками; порожнисті профілі; панелі.

Серед профілів першого виду (суцільного перерізу, постійного за довжиною профілю) виділяють прямокутні, косокутні, радіуснодугові та бульбопрофілі. За точністю геометрії (допуски на розміри, кути між

полицями, поперечна кривизна, хвилястість) профілі постійного за довжиною суцільного перерізу поділяються на дві групи: нормальної й підвищеної точності.

Профілі ступінчастозмінного перерізу класифікуються за конфігурацією профільної частини. За цією ознакою вони поділяються на таврові, двотаврові, швелерні з відбортовкою, зетові й профілі довільного перерізу. Конфігурація закінчувальної частини може бути різною. Закінчівка являє собою моноліт, площа поперечного перерізу якого в 3–10 разів, а інколи й більше перевищує площу поперечного перерізу профільної частини.

Порожнисті профілі поділяються на такі групи: з одним круглим отвором, з одним квадратним отвором, із двома чи більше отворами довільної форми.

Промисловістю освоєний випуск понад 200 видів **пресованих панелей** з алюмінієвих сплавів. Класифікація таких панелей, як правило, проводиться за конфігурацією перерізу, способом виробництва та зміною перерізу за довжиною панелі. Оскільки конфігурація полотна панелей не вносить вагомих змін у технологію пресування й подальшої обробки, в основу класифікації панелей за конфігурацією перерізу покладена форма стрингерів. Виготовляють панелі з такими формами стрингерів: прямокутною, трикутною, трапецеїдалною, Г-подібною, тавроподібною (Т-подібною), хрестоподібною, довільною.

За способом виробництва виділяють панелі, які пресуються з плоского контейнера, та панелі, заготовки для яких пресуються з круглого контейнера у вигляді ребристих труб. Промисловістю освоєно виробництво панелей з плоского контейнера шириною до 530 мм на пресі зусиллям 50 МН, до 830 мм – на пресі зусиллям 120 МН і до 1000 мм – на пресі зусиллям 200 МН.

За зміною перерізу за довжиною панелі їх поділяють на панелі постійного перерізу та панелі періодично змінного перерізу (в основному із закінчівками).

## 2.4. ПРОЕКТУВАННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Вивчення початкових даних і вибір заготовки виконуються на підставі характеристик деталі, а саме: форми, розмірів, точності й шорсткості поверхонь, властивостей матеріалу, методу виготовлення та обсягу виробництва. Виходячи з цих даних, за наявності обладнання та можливості виготовлення оснастки й інструменту, визначають кількість

обробок (обдирання, чорнова та чистова обробки, остаточна обробка, оздоблення і т. ін.) та намічають настановні та вимірювальні бази. Після цього проектують маршрутну технологію.

**Маршрутною технологією** називається перелік скороченого змісту всіх операцій технологічного процесу в порядку їх виконання із зазначенням обладнання, приладдя та інструменту. Головною задачею розробки маршрутної технології є визначення кількості та послідовності операцій. Кількість операцій залежить від форми заготовки, форми деталі та програми випуску. Вона визначається методом концентрації або диференціації. Вибір того чи іншого методу здійснюється на підставі техніко-економічних розрахунків.

**Метод концентрації** передбачає невелику кількість складних операцій, які мають велику кількість переходів. До переваг цього методу належать такі: більш висока точність, яка досягається зменшенням кількості переустановлень деталі, підвищення продуктивності, зменшення кількості операцій, робітників та верстатів, скорочення циклу обробки завдяки зменшенню допоміжного часу. Усе це вимагає висококваліфікованих робітників, складного обладнання та спричиняє збільшення часу налагодження операцій.

**Метод диференціації** операцій оснований на принципі, згідно з яким процес виготовлення складається з великої кількості простих операцій, навіть з одним переходом. До переваг цього методу належать: можливість застосування простого обладнання, можливість механізації та автоматизації операцій, скорочення часу налагодження обладнання та низька кваліфікація робочих. Основними недоліками цього методу є збільшення кількості робочих, обладнання, виробничої площі, циклу обробки, допоміжного часу та зниження, як правило, точності обробки.

**Маршрутний технологічний процес** оформлюється на маршрутних картах, послідовність операцій будується за такими критеріями:

- необхідно призначати технологічними базами конструкторські бази, які забезпечують високу точність та мінімальну кількість обробок поверхні;
- кожна попередня операція повинна утворювати поверхні, які були базами для наступних операцій;
- установлювальна база під час обробки певної поверхні повинна використовуватися тільки один раз;
- операції свердління, утворення місцевих ускладнень форми й термообробки мають здійснюватися наприкінці технологічного процесу;
- контрольні операції повинні виконуватись одразу після основних.

## 2.5. РОЗРАХУНКИ Й ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКІВ ТА ПРОМІЖНИХ РОЗМІРІВ

**Припуском** називається шар матеріалу, що зрізається під час обробки заготовки й утворення поверхонь деталі. Припуски поділяють на операційні та проміжні. **Операційний припуск** – це шар матеріалу, який зрізається під час виконання однієї технологічної операції. **Проміжний припуск** – шар матеріалу, який зрізається під час виконання переходу. Для припусків установлюється допуск на розмір, який являє собою різницю між найбільшим і найменшим його значенням. Значення припусків та допусків визначають операційні та проміжні розміри. Збільшення припусків призводить до збільшення розходу матеріалу, а зменшення – не дає можливості зрізати дефектний шар із поверхні. Призначення припусків на обробку супроводжується розв'язанням двох задач, а саме:

- визначення проміжних міжопераційних припусків і загального операційного припуску;
- визначення проміжних розмірів із допусками.

Перша задача вирішується двома методами – розрахунково-аналітичним і дослідно-статистичним.

Згідно з **розрахунково-аналітичним методом** мінімальний припуск при послідовній обробці протилежних поверхонь (однобічний припуск) для переходу обчислюється за формулою

$$Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_i;$$

при паралельній обробці протилежних поверхонь (двобічний припуск) для переходу обчислюється зі співвідношення

$$2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_i);$$

мінімальний припуск на механічну обробку зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання (двобічний припуск) для переходу обчислюється за формулою

$$2Z_{i \min} = 2\left(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}\right),$$

де  $Z_{i \min}$  – припуск на обробку для  $i$ -го переходу;  $R_{Z_{i-1}}$  – висота мікронерівностей, що залишилися після попереднього переходу або після одержання заготовки;  $h_{i-1}$  – глибина дефектного шару матеріалу після попереднього переходу;  $\Delta_{i-1}$  – просторові відхилення після попереднього переходу;  $\varepsilon_i$  – похибки встановлення заготовки для  $i$ -го переходу. Індекс  $i$  належить до переходу, що розглядається,  $i-1$  – до попереднього пере-

ходу. Просторові відхилення визначають як суму векторних відхилень

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_i.$$

Похибки встановлення розраховують за формулою

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_{\varepsilon},$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  – похибки базування;  $\varepsilon_{\varepsilon}$  – похибки закріплення.

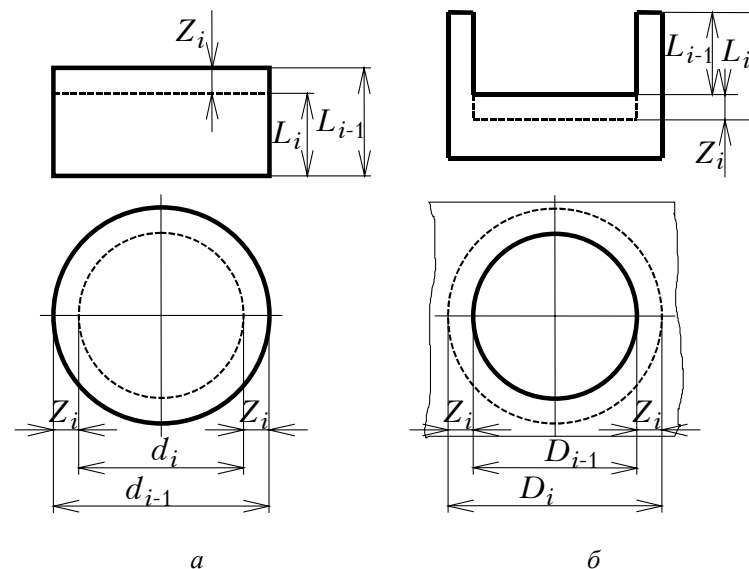
Загальні значення  $\Delta$  та  $\varepsilon$  розраховують за правилом квадратного кореня

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}, \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{\varepsilon}^2}.$$

Усі зазначені параметри можна знайти в технологічних довідниках.

**Дослідно-статистичний метод** дає послідовність значень припусків, які можна визначати за таблицями в технологічних довідниках.

Визначення проміжних розмірів із допусками виконується послідовно, починаючи з розміру й допусків готової деталі (рис. 2.1).



**Рис. 2.1. Схема визначення проміжних розмірів:**  
а – для зовнішньої поверхні; б – для внутрішньої поверхні

Для зовнішньої поверхні заготовки (рис. 2.1, а) припуски визначають за формулами

$$Z_i = L_{i-1} - L_i,$$

$$2Z_i = d_{i-1} - d_i,$$

а для внутрішньої поверхні заготовки (рис. 2.1, б) виходячи зі співвідношень

$$Z_i = L_i - L_{i-1},$$

$$2Z_i = D_i - D_{i-1}.$$

У випадку декількох переходів загальний припуск обчислюється як сума проміжних припусків за формулою

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Z_i,$$

де  $n$  – кількість переходів;  $Z_i$  – припуск  $i$ -го переходу.

Після обчислення проміжних і загальних припусків розробляють креслення заготовки, метод одержання якої був визначений раніше.

## 2.6. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ БАЗ

Після вирішення питань про кількість і порядок операцій та обчислення припусків, проміжних та граничних розмірів переходять до детальної розробки операцій. Кожну операцію ділять на переходи, проходи та прийоми. Далі уточнюють маршрут обробки, розподіляють припуски між переходами, уточнюють вибір обладнання, приладдя, інструменту, точності та шорсткості поверхонь, призначають бази, розраховують або призначають режими різання й нормують операції.

Надання заготовці необхідного положення в обраній системі координат здійснюється шляхом зіткнення поверхонь заготовки з поверхнями, на які її встановлюють чи з якими з'єднують. Фіксація досягнутого положення й постійність контакту забезпечується силами тяжіння та тертя. У загальному випадку базування деталі здійснюється за допомогою декількох її поверхонь, що виконують функцію баз.

Для базування заготовки зазвичай потрібно декілька баз, що утворюють систему координат. Сукупність трьох баз, що утворюють систему координат заготовки (виробу, деталі), називають **комплектом баз**.

Вибір баз і засобів базування для обробки й складання впливає на точність. Технологічний процес із погляду базування – це певний порядок зміни баз, при якому кожна попередня обробка повинна створювати

базу для наступної операції. Він впливає не тільки на точність, але й на маршрут обробки.

**Базою** називають поверхню чи сукупність поверхонь, ліній або точок, що безпосередньо належать до заготовки чи деталі й використовуються для базування. **Базуванням** називають надання заготовці або деталі необхідного положення відносно вибраної системи координат. Бази бувають конструкторськими й технологічними. **Конструкторські бази** – це поверхні, лінії або точки на деталі, відносно яких визначається положення інших поверхонь. **Технологічні бази** використовуються під час виготовлення. Вони поділяються на установлювальні й вимірювальні та застосовуються для базування деталі під час виготовлення й вимірювання її розмірів. Існує **принцип єдності баз**. У випадку, коли він не виконується, необхідно зменшити допуски на розміри, що, у свою чергу, може призвести до зниження продуктивності й підвищення вартості виготовлення.

Для базування заготовки або деталі її необхідно позбавити шести ступенів свободи. Якщо кожному опору уявити у вигляді точки, то вони у трьох площинах координат будуть розподілені таким чином: у першій площині – три, але не на одній лінії, у другій – дві, у третій – одна. Це правило називається **правилом шести точок**.

У реальних умовах важко дотримуватись принципу єдності баз, наприклад унаслідок невдалого вибору конструкторської бази. Тому технологічність конструкції, точність, надійність та якість виробу визначають розставленням розмірів.

Вибір обладнання, пристроїв, інструменту й режимів різання здійснюється для кожної операції. При виборі певного типу верстата необхідно враховувати вид обробки, точність, жорсткість, потужність, технологічні можливості та вартість верстата, його габаритні розміри та розміри заготовки.

## 2.7. ЗАГАЛЬНА СХЕМА ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

При призначенні елементів режиму різання необхідно враховувати характер обробки, тип і розміри інструменту, матеріал його різальної частини, матеріал та стан заготовки, тип та стан устаткування. Елементи режиму різання встановлюють у нижчезазначеній послідовності [7].

**Глибина різання  $t$** . Для чорнкової (попередньої) обробки призначають, якщо це можливо, максимальну глибину різання, яка дорівнює

значенню загального припуску на обробку або більшій його частині. Для чистової (остаточної) обробки її призначають залежно від вимог до точності розмірів та кінцевої шорсткості оброблюваної поверхні.

**Подача  $S$ .** Для чорнової обробки вибирають максимально можливу подачу на підставі характеристик жорсткості та міцності технологічної системи «верстат – приладдя – інструмент – деталь» (ВПД), потужності приводу верстата, міцності твердосплавної пластини різця та інших обмежуючих факторів. Для чистової обробки її вибирають залежно від необхідного ступеня кінцевої точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

**Швидкість різання  $V$ .** Швидкість різання обчислюють за емпіричними формулами, встановленими для кожного виду обробки. Вони мають такий загальний вигляд:

$$V_{\text{таб}} = \frac{C_V}{T^m t^X S^Y},$$

де  $V_{\text{таб}}$  – швидкість різання, обчислена за табличними даними;  $T$  – період стійкості інструменту;  $m$  – показник відносної стійкості, що залежить від матеріалу оброблюваної деталі та інструменту, товщини зрізу, виду й умов обробки;  $t$  – глибина різання;  $S$  – подача;  $C_V$ ,  $X$ ,  $Y$  – коефіцієнти, що враховують властивості оброблюваного матеріалу, матеріалу різального інструменту та інші фактори.

Значення коефіцієнта  $C_V$  та показників степеня, що входять до складу цих формул, також як і періоду стійкості різального інструменту, що використовується для певного виду обробки, наведені в таблицях технологічних довідників для кожного її виду. Швидкість різання, обчислена за табличними даними, враховує конкретні значення глибини різання, подачі та стійкості й дійсна при певних табличних значеннях ряду інших факторів. Тому для отримання реального значення швидкості різання  $V$  з урахуванням конкретних значень вказаних параметрів необхідно ввести поправковий коефіцієнт  $K_V$ . Дістанемо

$$V = K_V V_{\text{таб}},$$

де  $K_V$  – добуток ряду коефіцієнтів. Три найважливіші з них є спільними для різних видів обробки. Таким чином,

$$K_V = K_{m_V} K_{n_V} K_{i_V},$$

де  $K_{m_V}$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу та вплив його фізико-механічних властивостей на швидкість різання;  $K_{n_V}$  – коефіцієнт, що характеризує стан поверхні заготовки;

$K_{i_V}$  – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту.

**Стійкість інструменту  $T$ .** Стійкість – це період роботи інструменту до затуплення, визначений для різних видів обробки й відповідаючий умовам одноінструментальної обробки. При багатоінструментальній обробці період стійкості слід збільшувати, тому що він залежить, насамперед, від кількості одночасно працюючих інструментів, відношення часу різання до часу робочого ходу, матеріалу інструменту, а також виду устаткування. При багатOVERSTATному обслуговуванні при зростанні кількості верстатів, що обслуговуються, період стійкості також необхідно збільшувати. Його збільшення здійснюється з метою запобігання зростанню часу простою верстата через часті переналагодження, викликані зміною інструменту, що затупився. У загальному випадку розрахунок значення періоду стійкості досить складний.

**Сила різання  $P$ .** Під силою різання зазвичай мають на увазі її головну складову  $P_Z$ , що при різанні визначає ефективну потужність різання та крутний момент на шпинделі верстата. Сили різання розраховуються за емпіричними формулами залежно від виду обробки. Значення коефіцієнтів та показників степеня, у цих формулах наведені у відповідних таблицях технологічних довідників. Для точіння сили різання визначаються зі співвідношення

$$P_{x,y,z} = 10 C_P t^X S^Y V^n K_P,$$

де  $V$  – швидкість різання;  $t$  – глибина різання;  $S$  – подача;  $C_P$ ,  $X$ ,  $Y$  – коефіцієнти, що враховують властивості оброблюваного матеріалу, матеріалу різального інструменту та інші фактори. Значення сили різання, обчислені з використанням табличних даних, ураховують конкретні технологічні параметри, такі як глибина різання, подача, ширина фрезерування тощо, та дійсні при певних значеннях ряду інших факторів. Тому для отримання реального значення сили різання, що відповідає фактичним умовам різання, необхідно ввести поправковий коефіцієнт  $K_P$  – загальний поправковий коефіцієнт, що враховує відмінність реальних умов різання від табличних умов та являє собою добуток ряду коефіцієнтів. Далі визначається **ефективна потужність різання  $N_e$**  та **крутний момент  $M$**  на шпинделі верстата. Ці параметри необхідні для правильного вибору устаткування. Наприкінці обчислюють **основний технологічний час  $T_o$** . Формули для його визначення наведені в технологічних довідниках для різних видів обробки.

## 2.8. НОРМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

**Нормуванням операцій** називають розрахунок часу, необхідного для їх виконання. За цими нормами розраховують продуктивність і заробітну плату робітника. **Норма часу на обробку** обчислюється за такою схемою:

- на підставі розрахунків режимів різання обчислюється основний технологічний час;
- визначаються за таблицями нормативи допоміжного часу, а також часу на технічне й організаційне обслуговування, відпочинок та персональні потреби;
- розраховується штучний час.

Як було зазначено вище, **основний технологічний час  $T_o$**  розраховується за формулами, наведеними в технологічних довідниках. Наприклад, для токарної обробки при обточуванні, розточуванні, підрізанні й відрізанні, прохідному обточуванні й розточуванні він обчислюється зі співвідношень:

$$T_o = \frac{l+l_1+l_2}{Sn} i; \quad l_1 = \frac{t}{\text{tg}\varphi} + (0,5\dots 0,2); \quad l_2 = 1,0\dots 5,0,$$

де  $l$  – довжина оброблюваної поверхні, мм;  $l_1$  – глибина врізання, мм;  $l_2$  – довжина перебігу інструмента, мм;  $S$  – подача на один оберт заготовки або інструмента, мм/об;  $i$  – кількість робочих ходів;  $n$  – кількість подвійних ходів або частота обертання інструмента чи заготовки, об/хв;  $t$  – глибина різання, мм;  $\varphi$  – головний кут різця у плані, °.

Для однієї операції **штучний час  $T_{ум}$**  становить

$$T_{ум} = T_o + T_{доп} + T_{обс} + T_{орг} + T_{відп},$$

де  $T_o$  – основний технологічний час;  $T_{доп}$  – допоміжний час на встановлення, закріплення й знімання заготовки, підведення й відведення інструмента, вимірювання та управління верстатом;  $T_{обс}$  – час на технічне обслуговування (змащення, видалення стружки, заміну інструменту);  $T_{орг}$  – час на організаційне обслуговування (підготування або прибирання верстата та робочого місця);  $T_{відп}$  – час на відпочинок і персональні потреби. Для спрощення розрахунків час на обслуговування та час на відпочинок визначають у відсотках від операційного часу. Тоді

$$T_{опер} = T_o + T_{доп},$$

$$T_{ум} = T_{опер} \left( 1 + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{100\%} \right),$$

де  $\alpha, \beta, \gamma$  – відсотки від  $T_{опер}$  для  $T_{обс}, T_{орг}, T_{відп}$  відповідно. Зазвичай вони становлять:  $\alpha=1-3,5\%$ ,  $\beta=0,8-2,5\%$ ,  $\alpha+\beta=2-4\%$ ; для серійного виробництва  $\gamma=4-6\%$ , для масового –  $\gamma=5-8\%$ . Значення коефіцієнтів  $\alpha, \beta, \gamma$  вибирають за таблицями технологічних довідників відповідно до нормативів часу для певного верстата й типу виробництва.

Після нормування всіх операцій розраховується відсоток завантаження кожної операції за відношенням штучно-калькуляційного часу до такту виробництва. За цим критерієм уточнюється маршрутна технологія або вживаються заходи з довантаження робочих місць. Одночасно з нормуванням визначається розряд робітника за тарифно-кваліфікаційними довідниками. Виходячи з технологічного процесу та розряду, визначається кількість основних робітників на робочому місці.

## 2.9. ЗАКЛЮЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Після розробки операційної технології розраховують кількість потрібної електроенергії, стисненого повітря, заготовок, інструменту, допоміжних робітників тощо, а також виконують техніко-економічне обґрунтування розробленого технологічного процесу. Для ракетно-космічної галузі додатково використовують спеціальні критерії оптимізації технології поряд із загальномашинобудівними критеріями.

**Сумарний основний технологічний час за всіма  $n$  операціями**

$$T_{\Sigma o} = \sum_{i=1}^n T_{oi}.$$

**Трудомісткість обробки за всіма  $n$  операціями**

$$T_{\Sigma ум} = \sum_{i=1}^n T_{умi} \quad \text{або} \quad T_{\Sigma ум} = \sum_{i=1}^n T_{умi}.$$

**Собівартість обробки деталі за всіма операціями**

$$C_o = 3 + H,$$

де  $3$  – заробітна плата основних робітників,  $H$  – цехові накладні витрати.

**Собівартість деталі**

$$C_o = 3 + H + M,$$

де  $M$  – вартість заготовки без відходів матеріалу.

**Собівартість виробу**

$$C = \sum_{i=1}^p M_i + \sum_{i=1}^n \left( O_i + P_i + I_i + 3_i \left( 1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) \right),$$



де видатки на амортизацію, обслуговування й експлуатацію, які припадають на один виріб, відповідно:  $O_i$  – устаткування,  $P_i$  – приладь,  $I_i$  – інструменту;  $M_i$  – видатки на матеріали, які припадають на один виріб за винятком вартості відходів;  $a_1$  – нарахування на видатки по зарплаті на соціальні потреби, %;  $a_2$  – накладні витрати, що нараховуються на витрати по зарплаті, %;  $p$  – номенклатура різних марок матеріалів на один виріб;  $n$  – кількість операцій, що проходить виріб при виготовленні;  $Z_i$  – видатки на заробітну плату, які припадають на один виріб.

**Коефіцієнт використання обладнання за основним технологічним часом**

$$\eta = \frac{T_{\Sigma o}}{T_{\Sigma mt}}, \quad \eta_{\text{шк}} = \frac{T_{\Sigma o}}{T_{\Sigma \text{шк}}}.$$

**Коефіцієнт використання матеріалу**

$$\eta_m = \frac{m_o}{m_z},$$

де  $m_o$  – маса деталі;  $m_z$  – маса заготовки.

**Коефіцієнт завантаження обладнання**

$$\eta_z = \frac{K_p}{K_n},$$

де  $K_p$  і  $K_n$  – відповідно розрахована й прийнята кількість верстатів.

**Продуктивність технологічного процесу**

$$Q = \frac{\Phi_d}{\tau},$$

де  $\Phi_d$  – дійсний фонд часу роботи обладнання;  $\tau$  – такт випуску, що визначається штучно-калькуляційним часом найбільш тривалої операції.

Для перевірки правильності й стабільності технологічного процесу за ним виготовляється партія деталей, яка проходить спеціальні випробування. За результатами випробувань приймається рішення про його впровадження у виробництво або доопрацювання.

Розробка технологічного процесу завершується його документальним оформленням у вигляді маршрутних та операційних карток, ескізів, специфікацій, інструкцій, відомостей про інструмент та оснастку, вимог до техніки безпеки й технічних вимог. Усе це підписується й затверджується керівником виробництва.

## Розділ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ СПОСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ І ДВИГУННИХ УСТАНОВОК. НАДІЙНІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ ВИРОБІВ

### 3.1. Якість виробу, похибки та їх причини

**Якість** – це сукупність властивостей, які визначають відповідність виробу технічним вимогам, зумовленим призначенням й умовами виробництва. Рівень цієї відповідності визначається двома основними показниками якості. Перший показник – **надійність**, він охоплює такі властивості якості виробу, як безвідмовність, довговічність, збережність та ремонтпридатність. Другий показник – **технічна досконалість**, він характеризує такі властивості: рівень параметрів і функціональних характеристик; оптимальність конструктивної схеми та рівня міцності; виробничу й експлуатаційну технологічність; економічність виробництва й експлуатації; естетичність; пристосованість до використання за призначенням. Зазначені властивості якості мають певні **кількісні характеристики**, які можуть бути одиничними, комплексними й питомими. Наприклад, кількісні характеристики: точність, шорсткість поверхні, ступінь взаємозамінності тощо.

**Точність** – це ступінь відповідності дійсних значень геометричних, фізичних, хімічних, механічних та інших властивостей реальної деталі значенням, які регламентуються технічними умовами та кресленням.

Питання забезпечення точності займає вирішальне місце в технології виробництва літальних апаратів і двигунних установок. З одного боку, деталі або вузли мають бути виготовлені з високим ступенем точності, з іншого – заданий високий ступінь надійності й точності, а також унікальність матеріалів зумовлюють високу вартість таких виробів. Наприклад, точність кутових розмірів при складанні вузлів повинна становити близько однієї мінуті; розміри стикувальних елементів мають бути найвищого квалітету точності; відхилення вихідних параметрів приладів не повинні перевищувати  $\pm(0,01-0,05)\%$  від заданих номінальних значень.

В умовах виробництва вирішення проблеми **забезпечення точності обробки** здійснюється шляхом розв'язання ряду технологічних задач,

пов'язаних із різними категоріями точності, а саме:

- призначення методів контролю, які дозволять встановити відповідність деталі кресленню й технічним вимогам;
- прогнозування точності, тобто розрахунок очікуваної точності;
- контроль точності та керування нею в процесі виробництва, це пов'язано з різними методами визначення миттєвої точності обробки;
- обчислення розрахункових меж допусків на розміри.

Різниця між дійсними значеннями параметрів реальної деталі та номінальними значеннями, заданими кресленням і технічними вимогами, називається **похибкою  $\Delta$** :

$$\Delta = A_o - A_n,$$

де  $A_o$  – дійсне значення параметра;  $A_n$  – задане номінальне значення параметра. Положення про те, що технологія має забезпечувати ступінь точності, заданий конструктором, є основним. Тому технологічний процес, що проектується, повинен мати необхідну кількість методів обробки кожної поверхні. Сенс і мета послідовної обробки полягають у поступовому уточненні кожної поверхні. **Уточнення  $\varepsilon$**  визначається за відношенням значень похибки заготовки до похибки деталі або відношенням попередньої похибки до наступної при обробці за декілька переходів:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_z}{\Delta_o},$$

де  $\varepsilon$  – уточнення;  $\Delta_z$  – похибка заготовки;  $\Delta_o$  – похибка деталі. Кожна наступна обробка поверхні повинна забезпечувати уточнення, що перевищує одиницю. При проектуванні технологічного процесу, визначенні методів та кількості обробок для кожної поверхні деталі доцільно користуватися таблицею економічної точності й шорсткості поверхні, розробленою на підставі виробничого досвіду та науково-дослідних робіт. Ця таблиця містить тільки середні показники, тому основний її недолік – відсутність умов обробки, які є вирішальними для досягнення заданої точності.

Початкові та кінцеві **операційні похибки** можуть бути випадковими й систематичними. Виникнення **випадкової похибки** є результатом дії великої кількості важкопередбачуваних факторів. Випадкові похибки розраховуються методами теорії ймовірності.

**Систематичні похибки** поділяються на постійні та непостійні. Вони визначаються розрахунково-аналітичним методом. **Постійні** похибки зберігаються та не змінюються протягом обробки, **непостій-**

**ні** – змінюються за певними законами. Для механічної обробки як найбільш поширеного методу утворення поверхонь виникнення систематичних операційних похибок зумовлюється такими основними факторами:

- похибки верстата;
- похибки виготовлення інструментів і приладдя;
- знос інструментів;
- неточність налагодження верстата та встановлення інструменту;
- деформації технологічної системи «верстат – приладдя – інструмент – деталь» (ВПД);
- теплові деформації верстата, інструменту й заготовки;
- деформації під дією внутрішніх напружень в оброблюваному матеріалі;
- похибки вимірювального інструменту та процесу вимірювання;
- похибки базування та закріплення;
- помилки робітника, який виконує обробку.

### 3.2. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ СТАБІЛЬНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Стабільністю технологічного процесу** або технологічної операції називають здатність до збереження початкової точності, яка була визначена в процесі налагодження, протягом певного часу.

На сьогодні для контролю стабільності технологічних процесів обробки застосовуються такі методи: вибірково-статистичний, точкових діаграм, прямого та непрямого активного контролю.

**Метод вибірково-статистичного контролю** застосовується для періодичної перевірки частини виготовлених деталей з партії. Відібрані деталі обмірюють, а результати обмірювання опрацьовують статистичними методами з метою визначення ряду кількісних характеристик, а саме: середнього значення дійсних розмірів деталей, найбільшого й найменшого розмірів, середнього значення цих розмірів, похибок, а також відносних коефіцієнтів точності й стабільності технологічного процесу, що визначаються за співвідношеннями дійсних і номінальних параметрів, для яких задані граничні значення відхилень.

Для контролю стабільності технологічного процесу **методом точкових діаграм** на горизонтальній осі діаграмної стрічки розставляють номери деталей, відповідно до черговості обробки, а у вертикальному напрямку точками відмічають значення вимірюваного розміру. Заздале-

гідь на діаграмі проставляють граничні значення відхилень розмірів. За розташуванням точок вимірювань відносно поля допусків визначають якість та стабільність налагодження обладнання.

**Метод прямого активного контролю** застосовується для постійного контролю розмірів під час обробки.

**Метод непрямого активного контролю** застосовується для перевірки контрольованого параметра за допомогою одного з факторів, який його визначає. Наприклад, глибина різання визначається розташуванням різального інструменту відносно базових поверхонь заготовки.

### 3.3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТА СКЛАДАННЯ

**Кінцева точність обробки** досягається застосуванням технологічних процесів двох типів. Технологічні процеси першого типу забезпечують кінцеву точність на останній операції, а на попередніх операціях здійснюється проміжне уточнення. Технологічні процеси другого типу накопичують проміжні похибки попередніх операцій до кінцевої. Завдяки тому, що оброблювана поверхня попередньої операції є базою для наступної операції, кінцева точність забезпечується розрахунками розмірних ланцюгів. Розмірні ланцюги віддзеркалюють об'єктивні розмірні зв'язки в конструкції машини, технологічних процесах виготовлення та складання, а також при вимірюваннях.

**Розмірний ланцюг** – це сукупність розмірів, що безпосередньо застосовуються при розв'язанні поставленої задачі й утворюють замкнутий контур. Позначаються розмірні ланцюги прописними літерами кирилиці від *A* до *Я* для лінійних розмірів та малими літерами грецького алфавіту для кутових розмірів, окрім  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\omega$ ,  $\xi$ .

Розміри, що утворюють розмірний ланцюг, називають **ланками** розмірного ланцюга. Одна ланка розмірного ланцюга є замикальною (вихідною), а інші ланки – складові.

**Замикальною ланкою** розмірного ланцюга називають таку, що утворюється останньою або першою при побудові ланцюга. Замикальна ланка позначається індексом  $\Delta$ , наприклад  $A_{\Delta}$ . **Складовими ланками** розмірного ланцюга називають такі, що функціонально пов'язані із замикальною ланкою.

Складові ланки, залежно від їх впливу на замикальну ланку, бувають збільшувальні та зменшувальні. Якщо при збільшенні складової ланки, замикальна ланка збільшується, то її називають **збільшувальною**, позначається така ланка стрілкою праворуч над літерою, напри-

клад  $\vec{A}_2$ . Якщо при збільшенні складової ланки, замикальна ланка зменшується, то її називають **зменшувальною** і позначають як  $\vec{A}_1$ . За рахунок змінювання величини **компенсувальної** ланки досягається необхідна точність замикальної ланки, така ланка позначається прямокутником, наприклад  $\boxed{\vec{A}_3}$ . Ланку, яка належить одночасно декільком ланцюгам, називають **спільною**, у її позначенні використовується стільки літер, скільки ланцюгам вона належить, наприклад  $A_1 = B_3 = B_6$ .

Розмірні ланцюги зручно **класифікувати** за характером розв'язуваної задачі, змістом, характером ланок, геометричним зображенням, видом зв'язків та стадією виробництва.

**За характером розв'язуваної задачі** розмірні ланцюги поділяють на конструкторські, технологічні й вимірювальні. **Конструкторський** розмірний ланцюг визначає відстань або відносний поворот поверхонь (осей) у деталях. **Технологічний** розмірний ланцюг забезпечує необхідну відстань або відносний поворот поверхонь деталі в процесі її виготовлення. Такий ланцюг може бути першого й другого роду. До першого роду відносять технологічні системи, що пов'язують між собою устаткування (верстат), приладдя, інструмент і деталь (ВПД). До другого роду відносять ланцюги, що зв'язують окремі операції або переходи ланцюга першого роду. **Вимірювальний** розмірний ланцюг забезпечує процес вимірювання відносного повороту, відстані, поверхонь оброблюваної заготовки.

**За змістом** розмірні ланцюги поділяють на основні й похідні. **Основний** розмірний ланцюг забезпечує кінцевий результат розв'язуваної задачі, тобто задане значення замикальної ланки. **Похідний** розмірний ланцюг розкриває зміст складової ланки основного ланцюга.

**За характером ланок** розмірні ланцюги класифікують як лінійні і кутові. **Лінійний** розмірний ланцюг складається тільки з лінійних розмірів, **кутовий** – тільки з кутових.

**За геометричним зображенням** ланцюги поділяють на плоскі й просторові. Ланки **плоского** розмірного ланцюга розташовані в одній чи декількох паралельних площинах, ланки **просторового** – у непаралельних площинах.

**За видом зв'язків** розмірні ланцюги класифікують як зв'язані паралельно або послідовно, а також комбіновані. **Паралельно зв'язані** ланцюги мають одне чи декілька загальних ланок. У **послідовно зв'язаних ланцюгах** кожний наступний ланцюг має одну загальну базу з

попереднім ланцюгом. **Комбіновані** розмірні ланцюги мають обидва види зв'язків.

**За стадією виробництва** розмірні ланцюги класифікують як операційні, складальні й повні. **Операційні ланцюги** розраховують окремо для кожної деталі, **складальні** – для сукупності всіх деталей однієї складальної одиниці, **повні** – з'єднують між собою операційні й складальні.

Розмірні ланцюги на різних стадіях виробництва розраховують прямим або зворотним методами, користуючись значеннями допусків на обробку. Прямим методом допуск на замикальну ланку розраховують за допусками основних ланок. Для цього найбільш часто користуються методом «максимуму – мінімуму», яким визначають граничні відхилення. Зворотним методом допуски всіх основних ланок обчислюють за значенням допуску на замикальну ланку.

Підвищення кінцевої точності технологічних процесів другого типу здійснюється зменшенням складових частин операційних похибок, вибором замикальної ланки з великим полем допуску, зменшенням кількості ланок розмірного ланцюга.

Для забезпечення **точності процесів складання** застосовують різні методи: з повною, неповною, груповою взаємозамінністю, із підгонкою, із регулюванням та використанням компенсаторів.

**Складання з повною взаємозамінністю** забезпечує потрібну точність замикальної ланки в усіх випадках безпосереднім з'єднанням деталей і частин виробу без їх вибору, добору, зміни параметрів та будь-яких додаткових робіт. При цьому у 100% об'єктів, що складаються, автоматично забезпечується потрібна точність замикальних ланок.

**Складання з неповною взаємозамінністю** дає можливість розширити допуски на розміри деталей, що з'єднуються. Потрібна точність замикальної ланки досягається не для всіх об'єктів, що складаються. Але відсоток таких виробів зазвичай невеликий. Додаткові витрати на виправлення цих виробів незначні порівняно з економією праці та коштів при виготовленні деталей з більш широкими допусками.

**Складання з груповою взаємозамінністю** (селективне складання) застосовують у тих випадках, коли технологічні допуски перебільшують конструктивні. Деталі з'єднують після безпосереднього підбору або попереднього сортування на розмірні групи.

**Складання з підгонкою** дає можливість отримати задану точність з'єднання деталей шляхом індивідуальної підгонки однієї деталі до іншої. Тобто точність досягається зміною розміру компенсувальної ланки

видаленням із неї необхідного шару матеріалу.

**Складання шляхом регулювання та з компенсаторами** полягає в тому, що на розміри деталей призначають достатньо широкі допуски, а потрібну посадку або необхідну точність замикальної ланки розмірного ланцюга забезпечують введенням у нього додаткового компенсатора. Принципово ці методи є схожими за суттю з методом підгонки, але відмінність між ними полягає в способі зміни розміру компенсувальної ланки. Регулювання зазвичай здійснюється із застосуванням рухомого або нерухомого компенсатора без додаткової обробки.

### 3.4. НАДІЙНІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ ВИРОБІВ

Проблема надійності є однією з найважливіших у галузі виробництва виробів авіаційної та космічної техніки. Будь-який агрегат або елемент конструкції ракетної системи являє собою спеціальний комплексний виріб, який має бути виготовлений із заданою якістю, тобто сукупністю властивостей, що забезпечують його працездатність за призначенням. **Працездатність** характеризує стан виробу, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, встановленими технічними умовами. Як уже зазначалося, найбільш характерними властивостями, що складають якість, є надійність і технічна досконалість.

Основними показниками, якими оперує теорія надійності, є відмова й пошкодження. **Відмовою** називається подія, при якій порушується працездатність виробу. **Пошкодження** – це подія, що призводить до поломки виробу або його елементів під впливом зовнішніх факторів, рівень яких виходить за межі, встановлені технічними умовами експлуатації.

Термін **надійність** зазвичай застосовується у вузькому значенні, як синонім безвідмовності, що означає здатність виробу виконувати функції, зберігаючи задані значення параметрів протягом певного часу або часу наробітку (ГОСТ 13377–75). У широкому значенні поняття надійність (загальна надійність) окрім властивості безвідмовності включає також довговічність, ремонтпридатність і збережність. Надійність закладається при проектуванні, але забезпечується тільки на етапі виробництва. Це зумовлює її безумовну залежність від технології виробництва. Як показує досвід та наукові дослідження надійність складних виробів значною мірою визначається зносостійкістю його складових частин і надійністю технологічних процесів.

**Безвідмовність** – це властивість виробу безперервно зберігати працездатність протягом певного часу.

**Довговічність** називають властивість виробу зберігати працездатність до граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування й ремонтів. Показниками довговічності є ресурс і термін служби. **Ресурс** характеризує тривалість роботи виробу (**наробіток**) до граничного стану, він зазвичай указаний у технічній документації. **Термін служби** – календарний термін експлуатації виробу до граничного стану чи списання. Ресурс і термін служби встановлюються заводом-виробником як час гарантованої безаварійної роботи.

**Ремонтопридатність** – це наявність можливості попередження, виявлення й усунення несправностей шляхом ремонту й технічного обслуговування.

**Збережність** – властивість виробу зберігати встановлені експлуатаційні показники, що відповідають налагодженому та робочому стану, протягом терміну зберігання, після зберігання й транспортування.

Окрім загальних існують також **комплексні показники** – це коефіцієнти готовності, технічного використання, оперативної готовності, середньої сумарної трудомісткості ремонту та ін. Існує безліч **класифікацій надійності** виробів за різними ознаками, наприклад за крайнім станом, назвою досліджуваного об'єкта, повнотою відмови, **причинами й стадіями виникненням відмов**. Остання класифікація є найбільш відомою. Згідно з нею надійність може бути проектною, технологічною й експлуатаційною.

**Проектна надійність** визначається розрахунками на етапі проектування з урахуванням прийнятих конструктивних схем, технологій та умов експлуатації. **Технологічна надійність** визначається відмінностями між реальним технологічним процесом та моделлю, яка застосовувалась під час його проектування. Справа в тому, що сучасні літальні апарати складаються з  $10^4$ – $10^6$  деталей, які, у свою чергу, повинні бути виготовлені з відповідною точністю, складені в заданому положенні, а також відповідати встановленим технічним вимогам. Так, кількість відхилень реальної конструкції від спроектованої під час виробництва може перебільшувати 1000. **Експлуатаційна надійність** враховує відхилення реальних умов експлуатації від умов експлуатації моделі, яка була використана під час проектування. При проектуванні виробу необхідно враховувати можливості виробництва, а його конструкція повинна мати високу технологічність.

При виробництві надійність виробів повинна забезпечуватись чіт-

ким додержанням технології, а при експлуатації виконанням усіх правил та умов експлуатації. Але при виготовленні виробів не можна уникнути відхилень, тому для підвищення надійності необхідно розробляти більш якісну технологію та впроваджувати нові більш ефективні методи виробництва.

Ефективним шляхом підвищення надійності при проектуванні виробів є резервування. **Резервування** – передбачення в конструкції додаткових елементів, що починають виконувати функції основних елементів одразу після відмови останніх. Головною проблемою, що виникає через підвищення надійності виробів, є збільшення їх вартості. Тому на етапі проектування необхідно визначити оптимальне співвідношення між надійністю й вартістю.

## Розділ 4 ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

### 4.1. МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ

**Взаємозамінністю** називають властивість ідентичних складальних одиниць замінювати одна одну без додаткової обробки, а також однаково виконувати функції, передбачені конструкцією. Взаємозамінність може бути фізичною й геометричною. **Фізична** взаємозамінність передбачає однаковість фізичних властивостей, наприклад маси, міцності, аеродинамічних характеристик, центрування тощо. При виробництві вона забезпечується системою випробувань і контролем фізичних параметрів. **Геометрична** взаємозамінність – це ідентичність геометричних розмірів і форм. Зазвичай вона забезпечується двома методами: незалежного й залежного виготовлення. Вибір методу на практиці визначається залежно від жорсткості конструкції та ступеня складності з'єднаних поверхонь складальних одиниць.

**Метод незалежного виготовлення** забезпечує взаємозамінність деталей та вузлів, що мають жорстку конструкцію, здатну зберігати розміри й форму, які не змінюються під дією власної маси, а також не являють собою зовнішні аеродинамічні контури виробу. Цей метод є узвичаєним у загальному машинобудуванні, він оснований на «Єдиній системі допусків і посадок».

**Метод залежного (зв'язаного) виготовлення** забезпечує взаємозамінність деталей, які мають малу просторову жорсткість, великі габаритні розміри та складні аеродинамічні контури. Також цей метод застосовується у випадках, коли взаємозамінність не може бути забезпечена незалежним виготовленням. Наприклад, забезпечення взаємозамінності деталей, виробництво яких ускладнене кооперуванням, може бути досягнуте тільки методом зв'язаного виготовлення. При цьому для деталей, що з'єднуються при складанні, використовуються спеціальні засоби узгодження розмірів, тому що їх пряме перенесення з креслення на заготовку зумовлює великий рівень похибок.

У системі зв'язаного виготовлення для узгодження розмірів застосовується **плазо-шаблонний метод**. Сутність цього методу полягає в тому, що розміри з креслення переносяться на заготовки, інструмент і приладдя за допомогою жорстких (плоских або просторових) носіїв форми й розмірів, які називаються **шаблонами**. Кресленням у даному випадку служить не папір, а плаз. **Плазом** називається креслення виробу дійсного розміру на металевому листі або плівці, яка не змінює своїх характеристик протягом тривалого часу. Плази виготовляють для виробів, а також окремих вузлів, агрегатів і деталей, використовуючи теоретичне креслення на папері й таблиці координат теоретичного контуру виробу.

#### **4.2. ПЛАЗО-ШАБЛОННИЙ МЕТОД УВ'ЯЗУВАННЯ ФОРМ І РОЗМІРІВ ВИРОБІВ**

Загальна сутність цього методу полягає у використанні єдиної системи жорстких носіїв форм і розмірів взаємосполучуваних елементів конструкції для виготовлення й геометричного ув'язування цих елементів між собою. Основою цієї системи є теоретичний плаз виробу, вузла або окремого агрегату. Для зменшення помилок під час виготовлення плазу додержуються таких вимог: симетричні обводи зображуються їхньою половиною, кожний розмір на вимірювальному інструменті встановлюється тільки один раз та відкладається на всіх проекціях, теоретичні обводи креслять у трьох проекціях, проекції обводів ув'язують. Плазо-шаблонний метод використовує спеціальну термінологію з нарисної геометрії. За своїм призначенням плази поділяються на теоретичні та конструктивні.

**Теоретичний плаз** – це креслення, на якому зображені координатні й конструктивні осі та контур виробу в дійсному розмірі. За його допомогою виконується ув'язування теоретичних обводів виробу в різних

проекціях на основі геометричних побудов. За теоретичним плазом виготовляються **основні шаблони**, що є носіями всієї необхідної інформації для виготовлення **виробничих шаблонів**, за якими створюються приладдя. Останні безпосередньо застосовуються для виробництва деталей та складання виробів. Виробничі шаблони містять усю необхідну інформацію для виготовлення та складання. Шаблони виробляють із листів якісної конструкційної вуглецевої сталі Ст10 або Ст20 товщиною 1–3 мм у дійсних розмірах за конструктивними плазами або теоретичними таблицями.

**Конструктивний плаз** – це креслення, на якому зображені координатні й конструктивні осі, теоретичний контур виробу або вузла та його конструктивний вид з усіма деталями, які до нього входять. Конструктивний плаз застосовується для геометричного й конструктивного ув'язування деталей, із яких складається вузол або виріб, а також для виробництва шаблонів і контролю обводів.

Основні **етапи виготовлення шаблонів** такі: розмічування заготовки, розкроювання, механічна обробка фрезеруванням, свердлінням та ручною доводкою, нанесення інформації, маркірування (таврування), контроль, фарбування. Розмічення може виконуватись такими методами: за табличними даними на вертикальному розмічувальному стенді за допомогою штангенрейсмуса; за копірами або пантографами; за допомогою кальки або світлокопій; прямим фотографуванням; фото-контрактним методом у випадках, коли конструкторський плаз прозорий, а поверхня заготовки покрита світлочутливим шаром; за люмінофорним методом, при якому лінії плазу заповнюються люмінофорною сумішшю, а поверхня шаблону покривається світлочутливим шаром; за допомогою копіювально-фрезерних автоматів з одночасним фрезеруванням контуру.

Залежно від призначення застосовується три види шаблонів – основні, виробничі й еталонні. **Основні шаблони** застосовуються для виготовлення, технічного ув'язування й контролю виробничих шаблонів, **виробничі** – для виготовлення й контролю заготовок, деталей та технологічного оснащення, **еталонні** – для виготовлення й контролю шаблонів та деталей, що виготовляються на суміжних підприємствах. Усі шаблони виготовляються тільки в одному екземплярі. Основними шаблонами є такі: ШКК – шаблон контрольно-контурний; ОК – відбиток контрольний; КП – конструктивний плаз. Виробничі шаблони такі: ШК – шаблон контуру; ШРД – шаблон розгортки деталі; ШВК – шаблон внутрішнього контуру; ШОК – шаблон обрізання контуру й конду-

ктор для свердління; ШКС – шаблон контуру перерізу; ШМФ – шаблон монтажно-фіксуєючий; КП – кондукторні плити для свердління отворів у шпангоутах; ПС – плити стикування відсіків, які фіксують шпангоути при складанні технологічними болтами; ПРС – плити оброблювальних стендів, які використовуються для розсвердлювання отворів. У шаблонах зазвичай свердлять отвори діаметром 5–8 мм, які використовуються для базування на плазі, при виготовленні деталей та оснащення, а також при складанні, як базові або напрямні.

#### 4.3. НЕЗАЛЕЖНЕ УВ'ЯЗУВАННЯ ФОРМ І РОЗМІРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Плазо-шаблонному методу притаманні два суттєвих недоліки: 1) висока трудомісткість і недостатня точність виготовлення складального приладдя, у тому числі просторової оснастки; 2) довготривалий цикл виробництва складального та заготівельного оснащення внаслідок необхідності виготовлення плазів і шаблонів, за якими виготовляється оснастка. Плазо-шаблонний метод і його різноманітні варіанти мали велике значення в забезпеченні виробництва взаємозамінних деталей, вузлів й агрегатів не тільки ракетних систем, а й літаків та гелікоптерів.

Стрімкий розвиток обчислювальної техніки, поява обладнання з цифровими системами числового програмного управління (ЧПУ), досягнення в галузі прикладної математики та інформаційних технологій створили умови для виникнення нових методів ув'язування розмірів виробів із складними формами та великими розмірами. У зв'язку з цим набули поширення безплазові методи ув'язування, які базуються на принципах незалежного утворення форм і розмірів, сполучуваних елементів конструкції. Сучасні об'єктно-орієнтовані **системи параметричного та твердотілого автоматизованого проектування** (САПР – *CAD/CAM/CAE/PDM*), які охоплюють усі етапи створення виробів, спільно з алгоритмами розв'язання конструкторських і технологічних задач дозволяють аналітичними методами виконати ув'язування форм і розмірів шляхом прямого програмування оброблювального обладнання з ЧПУ, а також цілком автоматизувати процес задавання, ув'язування та відтворення поверхонь.

На сьогодні плази все більше перетворюються на засоби візуального контролю аналітичних рішень. Можна вважати, що в цій ролі вони збережуться ще досить довгий час.

## Розділ 5 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ

### 5.1. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ЯК ЕКОНОМІЧНЕ ПОНЯТТЯ

Технологічність характеризує можливість виготовлення певного варіанта конструкції з меншою собівартістю порівняно з іншим варіантом. Тому технологічність є економічним поняттям. При проведенні аналізу технологічності конструкції необхідно дотримуватись таких обмежень:

- можна порівнювати варіанти конструкції тільки однакового призначення;

- порівнювані технологічні варіанти повинні мати однакові або покращенні, перший відносно другого, параметри конструкції та ремонтпридатності;

- варіанти можна порівнювати тільки при однаковій програмі випуску, тому що собівартість залежить від типу виробництва.

Таким чином, **технологічність певного варіанта конструкції** являє собою комплекс властивостей, аналіз яких дозволить виготовити порівнюваний варіант конструкції з меншими виробничими видатками відносно іншого її варіанта при однаковій програмі випуску, а також з однаковими або вдосконаленими експлуатаційними характеристиками та ремонтпридатністю. Для створення технологічних конструкцій при конструюванні необхідно керуватися такими правилами:

- не допускати необгрунтованого підвищення вимог до точності розмірів і чистоти та шорсткості поверхонь;

- застосовувати компенсатори у випадках, коли вартість забезпечення точності розмірів та складання методом повної взаємозамінності на стадії виробництва є дуже високою;

- уникати необгрунтованого застосування в конструкції поверхонь подвійної або знакозмінної кривизни, тому що вартість виготовлення плоских, циліндричних і конічних поверхонь є значно меншою;

- широко використовувати в конструкції нормалізовані та стандартизовані елементи, а також елементи, виробництво яких уже освоєне;

- передбачити виробництво ненавантажених елементів конструкції з листових заготовок, що підвищить масову досконалість конструкції й зменшить вартість виготовлення;

– використовувати можливість зниження вартості виготовлення завдяки раціональному поділу виробу на вузли, агрегати, складальні одиниці, деталі тощо;

– при визначенні виробничих видатків враховувати витрати на матеріали та напівфабрикати, тому що вони впливають на вартість виробу, масові й геометричні параметри конструкції, а також на такі характеристики, як корозійна стійкість, зварюваність та ін., а застосування нових матеріалів пов'язане зі значними тимчасовими витратами на переналагодження виробництва.

## 5.2. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ЯК СУКУПНІСТЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ

**Технологічність конструкції** виробу можна розглядати як сукупність властивостей конструкції, які визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат під час виробництва, експлуатації та ремонту, об'єму випуску й умов виконання робіт.

Технологічність виробу поділяють на виробничу, експлуатаційну й ремонтну. **Виробнича технологічність** забезпечує зменшення вартості та скорочення термінів конструкторської й технологічної підготовки виробництва, процесів виготовлення на підприємстві й монтажу за його межами, **експлуатаційна** – зменшення вартості та термінів підготовки виробу до експлуатації, обслуговування, поточного ремонту й утилізації, **ремонтна** – вартості та термінів усіх видів ремонту, крім поточного. Вимоги до технологічності визначають два основних фактори: 1) тип виробу, який характеризує головні конструкторські й технологічні ознаки; 2) програма випуску й тип виробництва, які визначають ступінь технічного оснащення, механізації та автоматизації технологічних процесів.

Технологічність конструкції оцінюється якісно й кількісно. **Якісна оцінка** визначається на підставі порівняння варіантів конструкції досвідченими фахівцями або безпосередніми виконавцями. **Кількісна оцінка** технологічності дається на підставі системи показників, перелік яких визначений державними стандартами. До основних показників можна віднести трудомісткість, собівартість, матеріаломісткість й енергомісткість виробу.

**Трудомісткість виготовлення виробу** визначається сумою абсолютних витрат часу в нормо-годинах на виготовлення, монтаж за межами підприємства, технічне й технологічне обслуговування та ремонт:

$$T = \sum_i T_i,$$

де  $T$  – абсолютна трудомісткість виготовлення виробу;  $T_i$  – складові частини трудомісткості.

**Рівень технологічності за трудомісткістю** визначається відношенням абсолютної трудомісткості нового варіанта виготовлення до трудомісткості базового варіанта:

$$K_{pm} = \frac{T_n}{T_b} < 1.$$

**Технологічна собівартість** складається з вартості використаних матеріалів, нарахованої заробітної плати основних робітників та накладних витрат, що складаються з витрат на енергію, ремонт й амортизацію обладнання, інструменту та пристроїв:

$$C = C_m + C_{zn} + C_{nv}.$$

**Рівень технологічності за собівартістю** визначається відношенням технологічної собівартості нового варіанта виготовлення до собівартості базового варіанта:

$$K_{pc} = \frac{C_n}{C_b} < 1.$$

**Матеріаломісткість виробу** визначається обсягом використаних матеріалів при його виробництві й експлуатації.

**Рівень технологічності за матеріаломісткістю** встановлюється за відношенням сухої маси виробу до певного технологічного параметра, наприклад до продуктивності:

$$K_{pm} = \frac{M_{сyx}}{Q}.$$

**Енергомісткість виробу** визначається обсягом паливно-енергетичних ресурсів, витрачених при його виробництві, монтажі за межами підприємства, обслуговуванні, ремонті й утилізації.

Додатково в ракетобудуванні для кількісної оцінки технологічності виробу можна використовувати інші показники.

**Коефіцієнт застосування немодифікованих деталей** (із попередньої моделі виробу) визначається відношенням кількості деталей та вузлів зі старого варіанта конструкції виробу, застосованих у новому варіанті конструкції, до загальної кількості деталей:

$$K_{co} = \frac{N_{co}}{N_3}.$$



**Коефіцієнт застосування нормалізованих деталей** встановлюється за відношенням кількості нормалізованих деталей до загальної кількості деталей у новому варіанті виробу:

$$K_{но} = \frac{N_{но}}{N_3}$$

**Коефіцієнт панелювання** визначається відношенням площі зовнішньої поверхні виробу панельної конструкції до загальної площі зовнішньої поверхні виробу:

$$K_n = \frac{S_n}{S_3}$$

**Коефіцієнт різноманітності використаних матеріалів** встановлюється за відношенням кількості найменувань спеціальних матеріалів до загальної кількості найменувань застосованих матеріалів:

$$K_{см} = \frac{N_{см}}{N_{зм}}$$

**Загальним показником технологічності процесу** виготовлення й складання виробу є відношення трудомісткості виготовлення до добутку максимальної дальності й вантажопідйомності:

$$K = \frac{T}{LG}$$

де  $T$  – трудомісткість, год;  $L$  – максимальна дальність польоту, км;  $G$  – вантажопідйомність, т.

### 5.3. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ

Технологічність – це сукупність властивостей конструкції, які забезпечують виготовлення деталей та проведення їхнього складання з мінімальними витратами часу, матеріалів, а також трудовитратами на виготовлення одного виробу. **Метою аналізу технологічності** конструкції є виявлення її недоліків за кресленням і технічними вимогами. Цей аналіз полягає в технологічному контролі креслення й аналізі самої конструкції.

**Технологічний контроль креслення** виконують, керуючись такими принципами: 1) робоче креслення повинно містити відомості про метод одержання заготовки; 2) воно має давати повне уявлення про деталь, вузол або виріб, тобто містити необхідні проекції, розрізи, перерізи, види, розміри, допуски й посадки, класи шорсткості поверхонь,

припустимі відхилення від геометричних форм тощо.

**Аналіз технологічності конструкції** зводиться до таких етапів:

- аналіз умов роботи конструкції та розгляд шляхів її спрощення й можливості заміни застосованих матеріалів;
  - дослідження можливості застосування високопродуктивних методів обробки;
  - визначення кількості й протяжності оброблюваних поверхонь, аналіз доцільності їхньої обробки та визначення важкооброблюваних ділянок;
  - вивчення технологічного погодження розмірів і допусків на них, аналіз необхідності введення додаткових операцій для отримання заданої точності обробки;
  - аналіз можливості безпосереднього вимірювання розмірів, що задані кресленням;
  - визначення поверхонь, що можуть бути використані як базові;
  - аналіз необхідності передбачення та застосування технологічних пристроїв із метою запобігання викривленню форми й поверхонь конструкції в процесі виготовлення;
  - оцінювання зручності поділу виробу на складальні одиниці, для яких виготовлення, складання, контроль і випробування можуть бути незалежними;
  - виділення в складальних одиницях базової деталі, тобто основи для приєднання інших деталей при складанні.
- Висока технологічність окремих складальних одиниць полегшує їхнє складання в єдиний виріб. Конструкції високотехнологічних виробів повинні містити велику кількість стандартизованих, уніфікованих та нормалізованих складових частин.

## Частина II СКЛАДАННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ РАКЕТНИХ СИСТЕМ

### Розділ 6 ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОЇ ТА ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМ

#### 6.1. ВИРОБНИЦТВО ПАЛИВНИХ БАКІВ

Баки паливних відсіків зазвичай являють собою тіла обертання й найчастіше мають циліндричну форму (рис. 6.1). Залежно від призначення, компоувальної схеми та щільності компоування корпусу ракети вони також можуть бути конусними, сферичними, торовими та комбінованої форми. **Основними елементами конструкції** бака є корпус та днища. Днища найчастіше мають еліптичну форму, рідше – сферичну, комбіновану або іншу. Торцевий шпангоут з'єднує днища з корпусом і являє собою силовий елемент конструкції та застосовується для стикування й з'єднання відсіків при складанні.

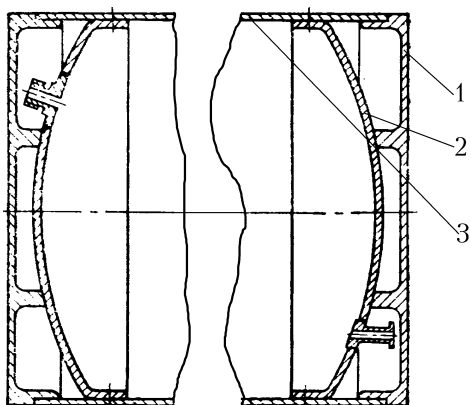


Рис. 6.1. Конструкція паливного бака циліндричної форми:  
1 – торцевий (стикувальний) шпангоут; 2 – днище; 3 – корпус

**Основним матеріалом** для виробництва всіх основних конструктивних елементів баків служить алюмінієвий сплав АМг6 та його нагартвані (зміцнені холодним пластичним деформуванням) модифікації АМг6Н та АМг6НН. Рідше застосовуються магнієві (МА1, МА8) й титанові (ВТ6, ОТ4) сплави, дуже рідко – нержавіючі сталі типу 12Х18Н10Т, 12Х21Н5Т та ін.

**Додатковими елементами конструкцій** паливних баків є тунельні та магістральні трубопроводи, арматура – датчики тиску й рівня палива, заправні та інші клапани, патрубки, фланці, кронштейни, технологічні люки-лази й т. ін.

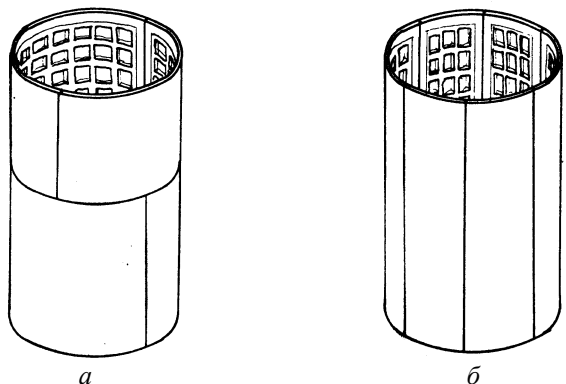
**Основні технічні вимоги** до паливних баків будуть такими: простота й технологічність конструкції; мінімальна маса; висока міцність; точність геометричних розмірів і форми; герметичність зварних швів й елементів обшивки; стійкість до агресивного середовища; збереження експлуатаційних властивостей в умовах експлуатації та під час польоту; на зовнішній і внутрішній поверхнях не повинно бути подряпин, гострих кромек, задирок та інших пошкоджень; усередині бака не повинно бути стружки, пилу та будь-яких сторонніх речей, що можуть порушити роботу клапанів, форсунок, мембран та інших елементів паливної або пневмогідравлічної системи.

**Основні етапи технологічного процесу складання** паливного відсіку будуть такими: виготовлення корпусу; виготовлення шпангоутів та днищ; виробництво трубопроводів й арматури; загальне складання бака; випробування на міцність; тарування об'єму; контроль геометричних параметрів; мийка та сушка; випробування на герметичність; монтажні та оздоблювальні роботи. Перші три етапи можна виконувати паралельно. Основним способом з'єднання елементів конструкції є аргонодугове зварювання.

#### 6.1.1. Виготовлення корпусу бака

У більшості випадків корпус паливного бака є несучим елементом конструкції. У такому разі він підкріплюється поздовжнім силовим набором – **стрингерами**, або поздовжньо-поперечним силовим набором. За конструкцією оболонка корпусу бака може бути **обичайковою** або **панельною** (рис. 6.2). Кожна обичайка складається з двох чи більше **обшивок**. Силовий набір виконується спільно з елементами оболонки чи виготовляється окремо та з'єднується з нею зварюванням і клепаанням. Обичайку чи панель, що виготовляється спільно з поздовжньо-

поперечним силовим набором називають **вафельною конструкцією**. У разі, коли корпус бака не є несучим елементом, він сприймає лише розтяжні навантаження та може бути виконаний із гладкими стінками або тільки з поперечним силовим набором – **шпангоутами**.



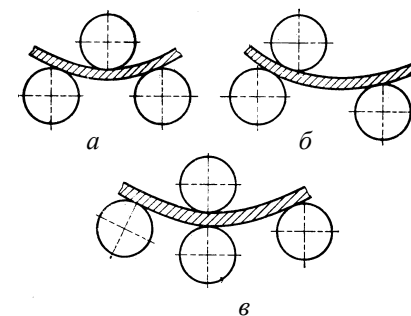
**Рис. 6.2. Конструкції корпусу бака:**  
а – обичайкова; б – панельна

**Основні етапи технологічного процесу складання** корпусу паливного бака обичайкової конструкції будуть такими: розкроювання листових заготовок; згинання обшивок; механічна обробка кромek обшивок (підготовка до зварювання); складання обичайок, тобто зварювання обшивок поздовжніми швами; механічна обробка зварних швів; вирізання отворів; уварювання фланців; складання корпусу бака (складання-зварювання обичайок поперечними зварними швами); торцювання корпусу; контроль якості зварювання; контроль геометричних параметрів; розмічування; установка арматури. Етапи технологічного процесу складання корпусу бака панельної конструкції будуть такими ж, за винятком етапу складання-зварювання обичайок.

Вирізання або розкроювання тонких листових заготовок здійснюється гільютинними ножицями. Товсті листи з титану, високоміцних сплавів або крихких матеріалів перед розкроюванням розігрівають до температури 600–700<sup>0</sup>С. З метою забезпечення високих вимог до точності контурів великогабаритних обшивок розкроювання здійснюється на фрезерних верстатах за накресленим контуром або шаблоном. Кри-

волініні контури утворюються криволінійними ножицями, стрічковими пилами або в штампах.

Основним способом формоутворення циліндричних обшивок із листових заготовок є згинання шляхом прокатування в тривалкових або у чотиривалкових згинальних станках (рис. 6.3).

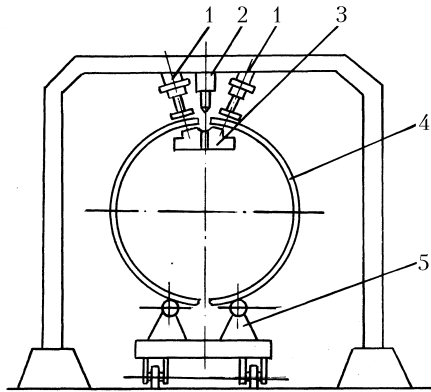


**Рис. 6.3. Схеми формоутворення обшивок:**  
а – тривалкова симетрична; б – тривалкова несиметрична;  
в – чотиривалкова

Для утворення обшивок кінчної форми згинальні валки розташовують під кутом до опорних. Обшивки подвійної та складної кривизни одержують витягуванням на пресах, вибиванням на пневматичних молотах, а також гідравлічним формуванням.

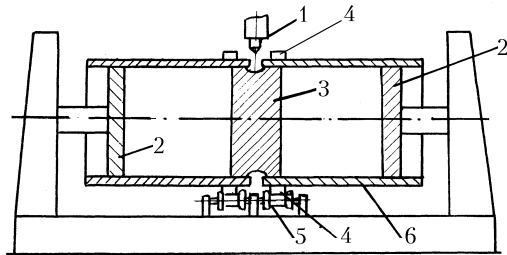
Складання-зварювання обшивок та панелей виконують у зварювальному стапелі порталного типу (рис 6.4). Складання здійснюється за допомогою торцевих технологічних кілець. Після цього зібрані елементи прихвачують ручним зварюванням. Остаточне зварювання виконується в автоматичному режимі. Після зварювання шви зачищають. Якість зварювання контролюють рентгеном.

Складання-зварювання обичайок виконують на зварювальному стапелі токарного типу (рис. 6.5). Стикування обичайок здійснюють за допомогою бандажів та розтискних кілець. Після цього зібрані елементи прихвачують ручним зварюванням. Остаточне зварювання виконується в автоматичному режимі. Після зварювання шви зачищають та здійснюють рентгеноконтроль. Якщо корпус складається з декількох обичайок, то складання з подальшим зварюванням здійснюється послідовно для кожного поперечного шва.



**Рис. 6.4. Зварювання обшивок і панелей у стапелі порталного типу:**

1 – гідравлічні притискачі; 2 – зварювальна головка;  
3 – притискна шина; 4 – обшивки; 5 – візки



**Рис. 6.5. Зварювання обшивок у стапелі токарного типу:**

1 – зварювальна головка; 2, 3 – розтискні кільця;  
4 – бандажі; 5 – візки; 6 – обшивки

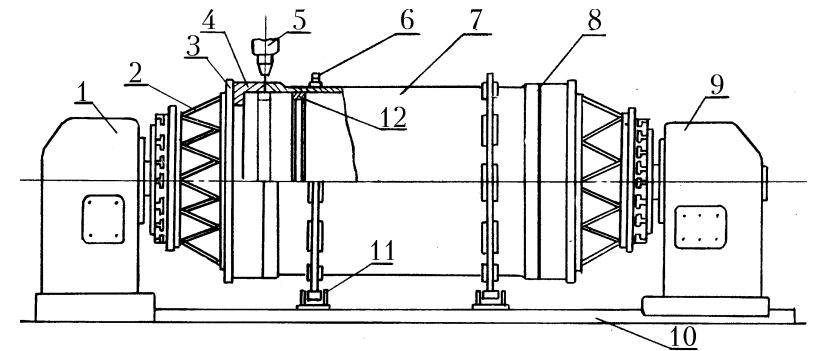
### 6.1.2. Виготовлення днищ

Основні етапи технологічного процесу складання днищ паливних баків такі: розкроювання та формоутворення оболонок; механічна обробка кромки; виготовлення шпангоутів; виготовлення патрубків, фланців й арматури; складання-зварювання днища; механічна обробка зварних швів; мийка та сушка; випробування на міцність та герметичність; контроль геометричних параметрів.

Розкроювання листових заготовок виконують гільйотинними ножицями за картами розкрою. Формоутворення сферичної частини днищ здійснюють витягуванням, штампуванням, обкатуванням або вибухом. Для формоутворення здебільшого використовують метод холодного листового штампування, яке виконується за декілька переходів прямим або реверсивним методом. Магнієві, титанові й високоміцні сплави штамнують у гарячому стані. Після формування оболонок виконують підрізання кромки та контроль геометричних параметрів. Шпангоути виготовляють із профільних заготовок згинанням та стиковим зварюванням із подальшою механічною обробкою. Згинання шпангоутів здійснюється на пресах у згинальних штампах або на профілезгинальних станках. Механічну обробку проводять після зварювання на токарно-карусельних верстатах. Торцевий шпангоут зі сферою складають і зварюють у стапелі токарного типу. Перед складанням розтискні кільця стапеля замінюють корзинами.

### 6.1.3. Загальне складання й випробування бака

Загальне складання-зварювання паливних баків виконують на автоматизованому зварювальному стапелі (рис. 6.6).



**Рис. 6.6. Загальне складання бака:**

1 – нерухома бабка; 2 – корзина; 3 – технологічне кільце;  
4 – торцевий шпангоут переднього днища; 5 – зварювальна головка;  
6 – бандаж; 7 – корпус; 8 – зварний шов; 9 – рухома бабка; 10 – напрямні;  
11 – ролики; 12 – розтискне кільце

### Основні етапи технологічного процесу загального складання.

Торцевий шпангоут переднього днища бака з'єднують болтами з кільцем корзини нерухокої бабки стапеля. Поруч із торцями в корпус установлюють два розтискних кільця. На зовнішню поверхню корпусу монтують бандажі. Корпус бандажами встановлюють на ролики стапеля та стикують із переднім днищем. Перше внутрішнє кільце розтискають. На рухому бабку встановлюють заднє днище та стикують із корпусом. Розтискають друге внутрішнє кільце. Стики прихвачують ручним зварюванням. Контролюють монтажні неточності в стиках і збіг площин стабілізації. Далі виконують автоматичне аргонодугове зварювання. Після зварювання шви зачищають і контролюють рентгеном.

**Випробування бака.** Перед випробуваннями бак миють, знежирюють і сушать. Проводять випробування на міцність з одночасним визначенням об'єму (тарування), а також випробування на герметичність.

Перевірка міцності складається з гідравлічних та пневматичних випробувань. Перед випробуваннями на всі фланці й патрубки встановлюють технологічні заглушки. Гідравлічні випробування бака здійснюються водою під тиском, що на 30–40% перевищує робочий, протягом 10–15 хв. Під час випробувань спад тиску не дозволяється та контролюється за манометром. Пневматичні випробування через небезпеку вибуху проводять у спеціальному боксі. Бак окислювача наповнюють повітрям, а бак пального – сумішшю аргону з гелієм.

На герметичність бак випробовується мас-спектрометричним методом визначення сумарної негерметичності у вакуумній камері із застосуванням 10% повітряно-гелієвої суміші. Суміш подається під тиском, що на 20% перевищує робочий, а в камері створюється вакуум. Час випробувань становить близько 60 хв. Цими випробуваннями контролюють сумарну негерметичність бака гелієвим течешукачем, установленим на виході вакуумного насоса.

Після випробувань бак вимірюють на стенді. Визначають непаралельність і неплоскостність стиковальних шпангоутів, відхилення обшивки бака від теоретичної лінії, діаметр, а також довжину бака й координати врізаної арматури. На другому стенді визначають вагу бака. Наприкінці бак консервують технологічними кришками.

## 6.2. ВИГОТОВЛЕННЯ Й ВИПРОБУВАННЯ ТРУБОПРОВІДІВ

Залежно від призначення, способу монтажу та умов експлуатації **конструкції трубопроводів** розрізняються за формою, розмірами й способами виготовлення кінцевих частин. Кінцеві частини можуть мати такі конструкції: різьбову, із фланцями, із муфтами або під зварювання, іноді їх необхідно додатково розвальцювати, звузити або сплющити. У конструкціях ракет на рідкому паливі трубопроводи займають значне місце у паливних, пневматичних, гідравлічних та інших системах. Трубопроводи **виготовляються** з алюмінієвих і титанових сплавів, нержавіючих та жаростійких сталей, а у деяких випадках – із нікелевих, магнієвих та мідних сплавів.

**Основні вимоги** до трубопроводів такі: міцність, жорсткість та герметичність конструкції, корозійна стійкість, стійкість до наднизьких температур, надійність, геометрична точність, задана шорсткість поверхні тощо.

### 6.2.1. Виробництво гладких трубопроводів

Загальна схема виготовлення трубопроводу залежить від вибору заготовки. Широко застосовують заготовки з безшовної стандартної труби або листів металу. Якщо заготовкою є стандартна безшовна труба, то **схема виготовлення трубопроводу** буде такою: відрізання заготовки заданої довжини; видалення задилок й очищення труби; додання заданої форми згинанням; виготовлення кінцевих частин; з'єднання труби з кінцевими частинами зварюванням чи паянням; обробка зварних або паяних з'єднань; рентгеноконтроль з'єднань; контроль геометрії труби; випробування на міцність і герметичність; промивання внутрішнього тракту й сушіння; консервування труби.

Відрізання труби виконують дисковими пилами, на токарному верстаті, а також абразивними кругами. Видалення задилок здійснюється здебільшого ручним способом. Поверхню труб очищують знежирюванням, травленням у лужній або кислотній ванні, рідинно-абразивним чи ультразвуковим методом.

Згинання труб виконують на згинальному обладнанні з використанням просторових шаблонів. Режим згинання вибирають емпірично або за таблицями залежно від властивостей матеріалу, розмірів трубопроводу й радіуса згинання. Порушення режимів згинання труби призводить до зменшення товщини стінки, що розтягається, та збільшення

товщини стінки, що стискається, або до появи гофрів, які для труб великого тиску є неприпустимими. Деформація матеріалу труб визначається відносним радіусом згинання за формулою

$$\rho = \frac{R}{d_c},$$

де  $\rho$  – відносний радіус згинання, який зазвичай становить не менше 2,5–3;  $R$  – радіус згинання нейтрального шару;  $d_c$  – середній діаметр труби. Для уникнення типових дефектів при згинанні труб великого діаметра на малий радіус згинання їх згинають із наповнювачем.

Зазвичай для алюмінієвих труб наповнювачем є кварцовий пісок із піщинками розміром не більше 3 мм, замерзла вода й парафін. Для сталевих і титанових труб як наповнювач застосовують сплав «Церробенд», до складу якого входять вісмут, свинець, олово та кадмій. У деяких випадках труби згинають за допомогою згинальних пристроїв у вигляді окремих шайб або кульок із мастилом, а також у пристроях під тиском одного мастила. Труби з надтвердих і непластичних матеріалів згинають із місцевим нагріванням. Підвищення температури здійснюється звичайним нагрівальним пристроєм або кільцевим індуктором високої частоти.

Контроль точності геометричних контурів труб після згинання виконується за шаблонами, макетами або еталонами за дотиканням контрольних поверхонь.

З'єднання трубопроводів з арматурою здійснюється аргонодуговим зварюванням або паянням. Арматурою є ніпелі, штуцери, патрубки, фланці й т. ін. Перед зварюванням арматуру й трубопровід складають у технологічному пристрої, який забезпечує технічні вимоги щодо необхідних розмірів зазорів, перекосу та зміщення осей. Спочатку арматуру прихвачують до трубопроводу ручним зварюванням у декількох точках. Далі зварювання виконується в автоматичному режимі у зварювальному пристрої. Після цього з'єднання зачищають, при необхідності проводять їхню термообробку та здійснюють рентгеноконтроль.

Геометричні параметри трубопроводів контролюють за діаметром прохідного перерізу калібрами кулями. Випробування на міцність здійснюють внутрішнім тиском, герметичність перевіряють методом акваріума чи мас-спектрометричним. Наприкінці труби миють, сушать, закривають з обох боків технологічними кришками та пломбують.

### 6.2.2. Виробництво трубопроводів складної форми

У різних системах ракети значного поширення набули трубопроводи тонкостінної конструкції, складної форми й великих розмірів (рис. 6.7), їх виготовляють із листових заготовок.

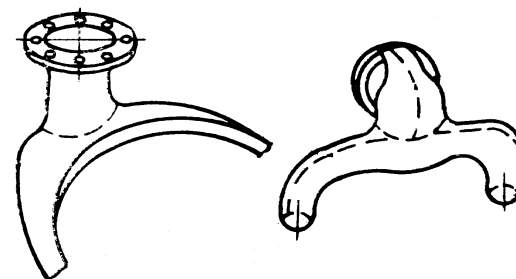


Рис. 6.7. Трубопроводи складної форми

Загальна схема виготовлення буде такою: розкроювання листових заготовок за картами розкрою або вирубання у штампах; формоутворення штампуванням, витягуванням, вальцюванням або розкочуванням; механічна обробка кромки перед зварюванням; складання та зварювання; обробка зварних швів; контроль зварювання; механічна доробка; промивання внутрішнього тракту; сушіння; контроль геометричних параметрів; випробування на міцність і герметичність.

### 6.2.3. Виробництво тунельних трубопроводів

Тунельні трубопроводи в паливних відсіках відокремлюють магистральний трубопровід окислювача від бака пального (рис. 6.8). Головна конструктивна особливість тунельних трубопроводів – наявність ряду кільцевих рифтів. Рифти виконують функції поперечного силового набору для підсилення конструкції трубопроводу, який стискається надлишковим тиском наддування бака пального. Кількість та крок рифтів розраховуються за критерієм стійкості. Заготовками для виробництва тунельних трубопроводів можуть бути листи або безшовні труби.

Основні етапи технологічного процесу виробництва тунельних трубопроводів із листових заготовок такі: розкроювання заготовки з листового матеріалу за шаблоном; згинання заготовки з одночасним

утворенням рифтів; механічна обробка кромки для зварювання; стикування кромки; зварювання; зачищення зварного шва; механічна обробка зварних швів та торців; контроль геометричних параметрів та якості зварювання; випробування на герметичність та міцність.



Рис. 6.8. Конструкція тунельного трубопроводу

Згинання листової заготовки в трубу здійснюється за декілька переходів. Після кожного переходу заготовку відпалюють.

Перед зварюванням бокові поздовжні кромки труби стикують, підгинаючи до заданого діаметра спеціальним пристроєм. Тунельні трубопроводи з тонкими стінками можна одержувати також із гладких безшовних труб вибухом.

Останнім часом застосовують тришарові магістральні трубопроводи окислювача, що поєднують функції магістрального й тунельного трубопроводів. Вони виготовляються з тришарових листів, одержаних прокатуванням. Зовнішні шари виготовляють зі сплаву алюмінію АМгб, проміжний шар – з алюмінію марки АД1 або АД0. Таке технологічне рішення дозволяє істотно підвищити масову досконалість та технологічність конструкції. Надійність і герметичність трубопроводу гарантується достатньо малою ймовірністю збігу дефектів шарів в одному місці поверхні.

#### 6.2.4. Виробництво сільфонів

**Сільфони** – це гнучкі гофровані трубопроводи, що мають тонкостінну металеву конструкцію циліндричної або конічної форми з поперечними хвиловими ребрами (рис. 6.9). Вони дозволяють компенсувати зміщення як уздовж труби, так і в поперечному та кутовому напрямках, а також при температурних і вібраційних навантаженнях або при складанні.

Заготовками для сільфонів є безшовні труби, що виготовляються багатоперехідним глибинним витягуванням стакана з металевих листів з його подальшим протягуванням для зменшення товщини стінок.

Конструкція сільфона характеризується двома коефіцієнтами:

$$K_1 = \frac{D_3}{D_6}, K_2 = \frac{L}{D_3},$$

де  $D_3$  і  $D_6$  – відповідно зовнішній та внутрішній діаметр сільфона;  $L$  – загальна довжина сільфона.

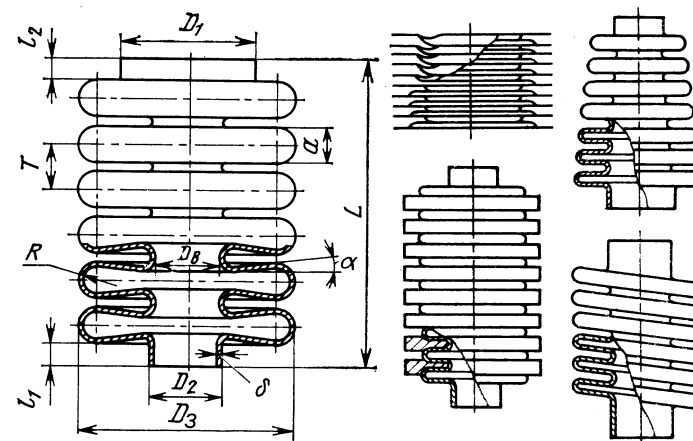


Рис. 6.9. Конструкції та геометричні параметри сільфонів:

$L$  – загальна довжина;  $D_3$  – зовнішній діаметр;  $D_6$  – внутрішній діаметр;  $D_1, D_2$  – діаметри стикувальних частин;  $l_1, l_2$  – довжини стикувальних частин;  $R$  – радіус заокруглення гофрів;  $T$  – крок гофрів;  $\alpha$  – кут ушілення;  $\delta$  – товщина стінки;  $a$  – товщина гофрів

Методи виготовлення сільфонів пов'язані зі способом утворення гофрів. Основними з них є механічний та гідромеханічний методи.

**Формування гофрів механічним методом** виконують за дві операції. При обох операціях заготовка обертається від шпинделя верстата. За першу операцію по довжині труби розмічають крок кільцевих рифтів на спеціальному верстаті, за другу – гофри формують металевими роликками, які поступово пересуваються вздовж осі сільфона. Утворення гофрів виконується за декілька переходів. Після кожного переходу з метою зменшення наклепу здійснюють термічну обробку заготовки. Подальше формування гофрів виконують роликками більшого діаметра, при цьому відстань між ними зменшують. Цим методом на одному вер-

статі можна виготовляти сильфони з різними діаметрами, навіть зі зварних труб. Основними недоліками методу є велика трудомісткість та небажане зменшення (на 40–50%) товщини стінок гофрів на вершинах.

**Формування гофрів гідромеханічним методом** виконується також за дві операції. За першу операцію роликами здійснюють накатку початкових кільцевих гофрів за оправкою, яка має кільцеві канавки й установлюється всередину заготовки. За другу – заготовку в спеціальному пристрої заповнюють рідиною під тиском. На її поверхні встановлюють формуючі диски, що використовуються, як матриця. Під дією внутрішнього тиску рідини, сили осьового стискання заготовки, що виникає від пересування торцевої колодки, та опору формуючих дисків створюються гофри. Після утворення гофрів здійснюють термічну обробку сильфону. Потім від нього відрізають припуски з торців, миють, сушать, за спеціальною технологією видаляють хімічний бруд, закривають з обох боків кришками та пломбують. Цей метод дозволяє зменшити час виготовлення сильфонів та майже уникнути зменшення товщини стінок гофрів.

Складання та з'єднання сильфонів із трубами або арматурою здійснюють у технологічному приладді зварюванням або паянням. Якість зварних або паяних швів перевіряють рентгеноконтролем та випробуваннями на міцність і герметичність.

### 6.2.5. Контроль якості та випробування трубопроводів і сильфонів

Усі трубопроводи або сильфони після виготовлення контролюють візуально на відсутність механічних пошкоджень. Геометричні параметри перевіряють на відповідність технічним умовам за допомогою шаблонів та спеціального приладдя. Внутрішній діаметр трубопроводу контролюють кульками, що проходять крізь нього з малим зазором. Також перевіряють чистоту внутрішньої поверхні трубопроводу, вимірюють його об'єм, проливають внутрішній тракт із метою виявлення рідинних утрат і випробують на міцність. Зазвичай випробування на міцність поділяються на статичні та динамічні.

**Випробування на статичну міцність** виконують гідравлічним методом, аналогічно до випробування баків. Трубопровід заповнюють рідиною під тиском, що у два чи більше рази перевищує робочий, та витримують певний час. У випадку, коли не спостерігається спаду тиску або руйнування, трубопровід вважається придатним до експлуатації.

**Динамічні випробування** складаються з таких: вібраційні випробування в трьох площинах із заданим перевантаженням (до 60–70g) на різних частотах (5–100 Гц); на гідроудар; на повторні ударні навантаження до 10–15 разів із перевантаженням до 100g; циклічні випробування знакозмінним навантаженням до 1500 циклів.

Частина трубопроводів від партії випробується **на повне руйнування** з метою вивчення механічних характеристик та визначення довговічності. Після таких випробувань проводять металографічні дослідження, при яких вивчається структура й властивості матеріалу.

**Випробування на герметичність** здійснюють методом акваріума або мас-спектрометричним методом.

Після випробувань труби й сильфони очищують від бруду, миють, знежирюють, сушать і консервують. При необхідності, згідно з технічними умовами, поверхня труб фарбується емаліями.

Додатково до цих випробувань на спеціальному обладнанні визначається жорсткість сильфонів. За результатами випробувань будують графік кривої жорсткості сильфону.

## 6.3. ВИГОТОВЛЕННЯ КУЛЕБАЛОНІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

Кулебалони високого тиску виробляються з титанових сплавів, наприклад, ВТ6С, межа міцності якого  $\sigma_s=1000-1100$  МПа. Вони складаються з двох півсферичних оболонок, що мають гладку поверхню як усередині, так і зовні. Усі операції складання-зварювання виконуються за спеціальною технологією. Ця технологія ґрунтується на «шкідливій» здатності титанових сплавів до поглинання атмосферних газів під час плавлення, а особливо водню, яка є часом причиною наскрізне шпаротворення та розгерметизацію зварних швів або колошовної зони.

**Основні етапи технологічного процесу** виробництва кулебалонів такі: виготовлення півсфер; виготовлення штуцерів; зварювання штуцерів із півсферами; термообробка зварних швів; зварювання півсфер; термообробка зварних швів; рентгеноконтроль швів; випробування на міцність та герметичність.

**Виготовлення півсфер.** Заготовки для півсфер одержують вирубкою з листового матеріалу. Півсфери виготовляють методом гарячого штампування чи пресування з листових заготовок товщиною до 20 мм. Перед формоутворенням заготовку розігрівають у печі до температури близько 900°C. Якщо заготовка має товщину не більше 10 мм, то пресу-



вання виконується за один перехід. Товсті заготовки пресують за декілька переходів, після кожного переходу виконують термообробку.

Після формоутворення виконують механічну обробку, яка складається з двох етапів: 1) відрізання припусків та обробка кромки; 2) зрізання поверхневого шару матеріалу як із зовнішнього, так і внутрішнього боку. Механічна обробка зумовлена тим, що в процесі нагрівання матеріал активно вбирає з навколишнього середовища кисень, водень та інші гази. Цей процес призводить до того, що поверхневий шар стає крихким. Поверхневі шари зрізають на токарному верстаті за копиром до заданих розмірів. Далі півсфери підганяють одну до одної, зазор між торцями не повинен перебільшувати 0,2 мм. Ширину зазору контролюють щупом. Дві підігнані півсфери, не розпаровуючи, передають до наступної операції.

**Виготовлення штуцерів.** Штуцери виготовляють механічною обробкою з нержавіючої сталі типу 12Х18Н10Т. Для з'єднання штуцера з півсферою використовується біметалевий перехідник зі сплавів ніобію та міді. Мідна частина перехідника з'єднується з ніобієвою частиною дифузійним зварюванням. Мідна частина зі сталевим штуцером зварюється тертям, а ніобієва з титановою півсферою – аргонодуговим зварюванням.

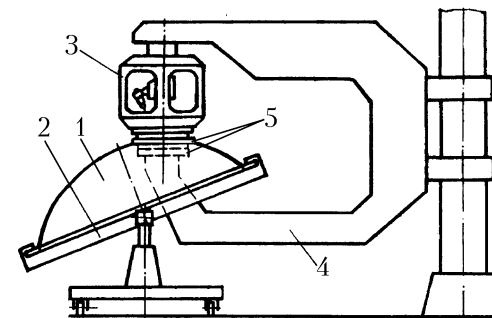
**Загальний технологічний процес складання-зварювання штуцерів із півсферами** (рис. 6.10) буде таким:

1) підготовчі операції: перевірка розмірів штуцера, його різьби, посадочних місць, відповідності штуцера півсфері, комплектності півсфер і наявності двох зразків-свідків, які повинні бути однієї плавки з півсферами; знежирення зварюваних кромки штуцера й півсфери;

2) операції складання-зварювання: складання деталей у пристрої та прихвачення; установлення складених деталей і зразків-свідків у зварювальну камеру на маніпулятор, нанесення на зварювані кромки тонкого шару спеціального реагенту на ширину 5–6 мм з обох боків; установлення зварювальної головки перпендикулярно поверхні балона від центра стику та зачинення камери; утворення в камері вакууму з подальшим заповненням аргоном до атмосферного тиску; зварювання штуцера з півсферою першим проходом без присадкового дроту; зварювання другим проходом із присадковим дротом;

3) завершальні операції: вивантаження вузла з камери й перевірка розмірів зварного шва (підсилення шва повинно бути не меншим 10% від товщини зварювальних кромки, але не більше 5 мм, ширина шва не повинна перевищувати 23 мм); установлення на штуцер технологічної

заглушки; рентгеноконтроль зварного шва; піскоструминна обробка й травлення внутрішніх поверхонь півсфер та зразків-свідків для видалення бруду.



**Рис. 6.10. Схема зварювання штуцера з півсферою:**

1 – півсфера; 2 – маніпулятор; 3 – вакуумна камера з автоматичною обертовою зварювальною головкою; 4 – поворотний пристрій; 5 – ущільнювальні фланці

**Загальний технологічний процес складання-зварювання півсфер** буде таким:

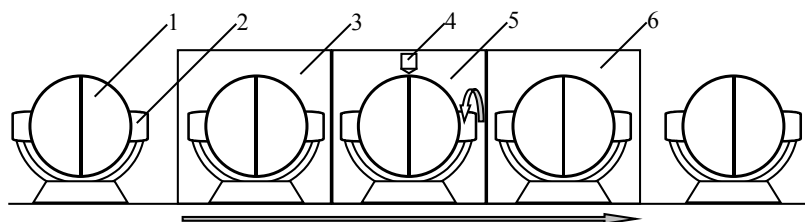
1) підготовчі операції: складання зразків-свідків із зазором у шві не більшим 0,5 мм та зміщенням до 0,2 мм; прихвачення вивідних пластин до зразків-свідків; складання й прихвачення півсфер із зазором у шві не більшим 0,5 мм та зміщенням до 0,2 мм;

2) операції складання-зварювання: установлення півсфер і зразків-свідків у камеру на маніпулятор і нанесення реагенту на зварювані кромки; підготовка камери до зварювання, тобто утворення в ній вакууму з подальшим заповненням аргоном до атмосферного тиску; зварювання зразків-свідків першим і другим проходами, другий прохід здійснюють із присадковим дротом; зварювання другої пари зразків-свідків; зварювання півсфер обома проходами за режимами зварювання зразків-свідків і перевірка розмірів швів так само, як для штуцерів;

3) завершальні операції: термообробка балона й зразків-свідків, термообробка здійснюється в індукційній печі при температурі  $700 \pm 10^{\circ}\text{C}$  протягом 10 хв; рентгеноконтроль зварних швів балона й зразків-свідків; перевірка механічних властивостей зразків-свідків; піскоструминна обробка зовнішньої поверхні балона; рентгеноконтроль ба-

лона; мийка та сушіння; нанесення захисного покриття на зовнішню поверхню; випробування балона при криогенній температурі на міцність протягом 10 хв із тиском, що перевищує робочий на 40%, та перевірка на герметичність мас-спектрометричним методом.

**Схема зварювання кулебалона в камері** (рис. 6.11). Кулебалон на маніпуляторі встановлюють у завантажувальну камеру. У другій камері в цей час виконують зварювання. Одночасно у завантажувальній камері створюють вакуум із залишковим тиском близько 0,13 Па, потім її заповнюють аргоном під атмосферним тиском.



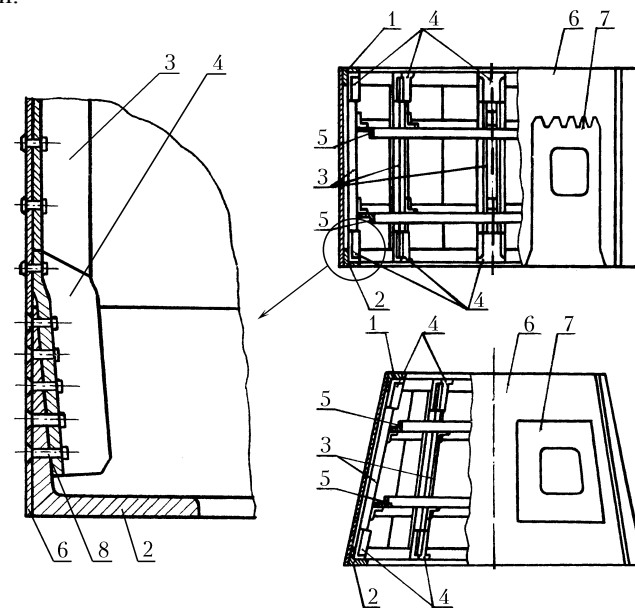
**Рис. 6.11. Схема зварювання кулебалона:**

- 1 – кулебалон; 2 – маніпулятор; 3 – завантажувальна перехідна камера;
- 4 – зварювальна головка; 5 – зварювальна камера;
- 6 – вивантажувальна перехідна камера

Закінчивши зварювання, кулебалон переміщують із другої камери у вивантажувальну камеру, також заповнену аргоном. Далі відчиняють люк між завантажувальною та зварювальною камерами. Наступний кулебалон передають до зварювання. Люк зачиняють. Водночас із вивантажувальної камери відкачують аргон та заповнюють її повітрям, потім виймають зварений кулебалон. Після цього вивантажувальну камеру готують для переміщення в неї наступного кулебалона.

## Розділ 7 ВИГОТОВЛЕННЯ Й СКЛАДАННЯ КОРПУСІВ СУХИХ ВІДСІКІВ РІДИННИХ РАКЕТ

**Сухими відсіками** (рис 7.1) називають такі, що не містять компонентів палива: хвостовий двигунний відсік; перехідні відсіки; міжступеневі відсіки, які є двигунними відсіками другого та вищих ступенів; приладовий відсік; аеродинамічний обтічник, який є відсіком головної частини.



**Рис. 7.1. Конструктивні елементи клепаного сухого відсіку:**

- 1 – верхній шпангоут; 2 – нижній шпангоут; 3 – стрингери; 4 – фітинги;
- 5 – проміжні шпангоути; 6 – обшивки; 7 – окантовки; 8 – заклепки

**Основні конструктивні елементи** сухих відсіків виготовляють пресуванням із подальшим згинанням та механічною обробкою з термічно зміцнених алюмінієвих сплавів типу Д16, Д19, В95, легованих міддю. Такі матеріали мають задовільні пластичні властивості після загартування протягом 2–6 годин, а також незадовільну зварюваність. З

огляду на це основним способом з'єднання деталей із таких матеріалів при складанні є клепа́ння. Тобто переважна більшість сухих відсіків мають клепа́ну конструкцію. Деякі складні та матеріалоемісні елементи конструкції (наприклад, фітінги) виготовляють гарячим штампуванням з алюмінієвих сплавів типу АК-4 із подальшою механічною обробкою. З'єднувальні елементи – заклепки виробляють із пластичних сплавів В94, В65, Д18П, або менш пластичних Д19П, В95. Усі без винятку конструктивні елементи захищають від корозії анодованим покриттям.

**Свердління отворів** під заклепки виконують пневматичними дрелями, на універсальних свердильних станках та станках-автоматах. **Методи клепа́ння** такі: пресове клепа́ння стаціонарними пресами, переносними прес-скобами або клепа́льними автоматами; ударне клепа́ння пневматичними ударними молотками прямим чи зворотнім способом; клепа́ння розкочуванням.

У виняткових випадках сухі відсіки можуть бути зварної конструкції з термічно незміцнюваних алюмінієвих сплавів типу АМг6Н, АМг6НН. У такому разі застосовуються технології складання-зварювання, аналогічні технологіям складання корпусів паливних відсіків. Наприклад, такої конструкції може бути хвостовий двигунний відсік (піддон) ракети, яка реалізує мінометний старт із контейнера. Одразу після старту він скидається. Також сухі відсіки можуть виготовлятися з композиційних матеріалів намотуванням за оправкою або гідровакуумним формуванням. Такої конструкції можуть бути аеродинамічні обтічники або їх наконечники.

**Основні етапи технологічного процесу** складання-клепа́ння сухих відсіків такі: виготовлення обшивок; виготовлення елементів силового набору; установка деталей у складальне положення та їх фіксація; свердління отворів під заклепки; клепа́ння; контроль якості з'єднання; герметизація та опоряджувальні роботи.

## 7.1. ВИГОТОВЛЕННЯ ОБШИВОК

**Обшивкою** називають зовнішній листовий елемент конструкції корпусу виробу, який є несучим елементом конструкції, що працює в умовах комбінованого навантаження різними силами. Обшивки повинні відповідати високим вимогам щодо якості поверхні листів, а також точності геометричних розмірів і форми зовнішніх обводів.

**Основні етапи технологічного процесу** виготовлення обшивок такі: розмічування й розкроювання плоских листових заготовок відпо-

відно до заданих геометричних розмірів та зачищення кромки; формоутворення об'ємної заготовки з плоскої; вирізання вікон, свердління отворів, формування рифтів, підсічок та інших підсилюючих елементів; заключне калібрування форми; остаточне обрізання кромки за розмірами та їхня обробка; контроль геометричних розмірів і форми; нанесення покриття.

Для найбільшої ефективності процесів формоутворення конструкції обшивок повинні відповідати таким технологічним вимогам: необхідно, щоб кут між нормалями до двох довільних точок поверхні обшивки був більшим 180°; обшивки не мали виштампувань або вікон до формоутворення; габаритні розміри обшивок повинні відповідати можливостям формоутворювального обладнання.

## 7.2. ВИГОТОВЛЕННЯ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Оболонкові корпуси літальних апаратів, головним чином, сприймають стискальні осьові навантаження. Їхня конструкція за певними критеріями повинна забезпечувати задану стійкість. Узвичаєним конструктивним методом забезпечення стійкості оболонкових корпусів є застосування в їх конструкції додаткових поздовжніх та поперечних підсилюючих елементів. Вони називаються стрингерами й шпангоутами. З'єднання підсилюючих елементів з оболонкою виконується за допомогою кутників, фітінгів, накладок, кронштейнів та інших з'єднувальних елементів, що мають жорстку конструкцію.

Оболонка корпусу й усі елементи силового набору виготовляються з одного матеріалу з метою уникнення додаткових термічних напружень під час аеродинамічного нагрівання конструкції. Зазвичай такі напруження виникають через відмінність коефіцієнтів термічного розширення для різних матеріалів, але в деяких випадках силові елементи можуть виготовлятися з високоміцних сплавів 30ХГСА, ЭИ435А, ВТ5.

**Стрингери** приймають поздовжні стискальні й поперечні згинальні навантаження. Вони підсилюють оболонку корпусу в поздовжньому напрямку. Для підвищення стійкості стрингерів під дією поперечних згинальних навантажень застосовуються проміжні шпангоути, що з'єднуються безпосередньо зі стрингерами та корпусом. Кількість проміжних шпангоутів та крок між ними визначаються за критеріями міцності й стійкості. Стрингери поділяються на основні й допоміжні. Допоміжні стрингери підсилюють люки-лази, локально підвищують жорсткість та стійкість обшивки тощо. У найбільш навантажених відсіках

застосовують підсилені стрингери, що мають підвищений момент інерції поперечного перерізу профілю. Вони називаються лонжеронами.

Стрингери виготовляються пресуванням, прокатуванням із листових або стрічкових заготовок. Усі профілі, що виготовляються пресуванням, розглянуті в праці [6].

**Прокатуванням із листової заготовки стрингери виготовляються за такою схемою:** розрізання листової заготовки на смуги; формування профілю зі смуг прокатуванням; підрізання стрингера до встановленої довжини; видалення задирок і клеймування; виправлення стрингера в пресах для усунення гвинтового закручування й поздовжньої кривизни; утворення місцевих ускладнень форми, тобто обрізання скосів, формування підсічок, вирізів тощо; при необхідності згинання стрингера до заданої кривизни прокатуванням; пробивання або свердління отворів у полицях стрингера; термообробка; підсікання кінців стрингера й слюсарна доробка; нанесення покриття; контроль геометричних розмірів і форми.

Формоутворення профілю здійснюється прокатуванням смуг на спеціальному профільно-згинальному верстаті профілюючими роликками. Після прокатування деяке гвинтове викривлення форми профілю виправляють у пресах або на плиті ручним способом. Підрізання профілю за розміром може виконуватись у штампі, на анодно-механічних верстатах, маятниковими дисковими пилами та пневматичними пресножицями. Місцеві ускладнення форми утворюють штампуванням або механічною обробкою на вертикально-фрезерних верстатах.

**Шпангоут** – це поперечний елемент силового набору, що забезпечує поперечну жорсткість, утримує форму корпусу, а також підсилює обшивку та стрингери. Шпангоути поділяють на силові й проміжні. Проміжні шпангоути з'єднуються безпосередньо з обшивкою або з використанням кутників і накладок. Вони мають спеціальні вирізи, крізь які проходять стрингери. Силові шпангоути в конструкції відіграють роль торцевих елементів для з'єднання відсіків між собою, а також приймають навантаження й передають їх на обшивку та стрингери. У зв'язку з цим вони повинні мати високу міцність і жорсткість. Конструктивно силові шпангоути можуть бути виконані монолітними або складеними з декількох сегментів. З'єднання окремих сегментів між собою здійснюється зварюванням або клепаанням.

**Прокатуванням із листової заготовки шпангоути виготовляються за такою схемою:** розмічування й розкроювання листа на заготовки за шаблоном; формування профілю поперечного перерізу з одно-

часним згинанням у кільце на спеціальному згинальному стані; зварювання всіх стиків кільця\*; термічна обробка після зварювання\*; зачищення проплавів зварних швів\*; рентгеноконтроль якості зварювання\*; калібрування й слюсарна доробка; нанесення захисного покриття; контроль геометричних розмірів і форми.

**У разі застосування заготовки з пресованого профілю, схема виготовлення шпангоута** буде такою: відрізання заготовки заданої довжини; згинання заготовки в кільце або формування сегментів кільця з декількох заготовок; травлення з подальшим миттям; складання-зварювання всіх стиків кільця\*; термічна обробка після зварювання\*; зачищення проплавів зварних швів\*; рентгеноконтроль зварних швів\*; калібрування; нанесення захисного покриття; контроль геометричних розмірів і форми.

Відрізання заготовок заданої довжини здійснюється на горизонтально-фрезерних верстатах дисковими фрезами або дисковими пилами. Калібрування виконується в пресі за допомогою розтискних секторів. Іноді шпангоути виготовляють безшовними. У такому випадку кільце одержують механічною обробкою на токарно-карусельному верстаті.

**Дрібні з'єднувальні деталі**, а саме кутники, фітинги, накладки, кронштейни, скоби, косинки, планки, окантовки, кришки люків та інші елементи, що мають жорстку конструкцію, з'єднують елементи силового набору й обшивку між собою. Здебільшого вони виготовляються холодним або гарячим штампуванням, пресуванням, згинанням та механічною обробкою.

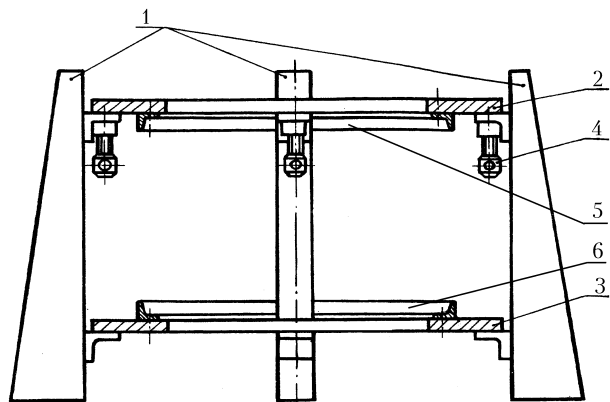
### 7.3. СКЛАДАННЯ-КЛЕПАННЯ СУХИХ ВІДСІКІВ

Складання сухих відсіків здійснюється в універсальних стапелях (рис. 7.2). Для підвищення точності складання може використовуватися спеціальний стапель, налагоджений на одну висоту, без можливості переміщення верхньої плити. Технологія складання оболонок корпусів суттєво залежить від особливостей конструкції та технічних вимог до неї. До особливостей конструкції можна віднести габаритні розміри, кількість стиковальних поверхонь, герметичність або негерметичність

---

\* Операції зварювання виконуються тільки для матеріалів, що мають задовільну зварюваність, в усіх інших випадках з'єднання стиків здійснюється клепаанням із накладкою; для термічно зміцнених алюмінієвих сплавів зварювання не застосовується.

корпусу, обсяг монтажу, конструктивний поділ оболонки на панелі або обшивки. **Технологічна схема складання** як панельних, так і непанельних оболонок складається з таких етапів: стапельне складання, поза-стапельне складання, монтажні роботи, випробування й контроль.



**Рис. 7.2. Конструкція універсального стапеля:**

1 – колони (три з кроком 120°, або чотири з кроком 90°); 2 – верхня рухома плита; 3 – нижня нерухома плита; 4 – механізм підйому верхньої плити; 5 – верхній шпангоут; 6 – нижній шпангоут

**Стапельне складання** непанельних конструкцій може мати два варіанти. **За першим варіантом** у стапель встановлюють і базують усі основні корпусні деталі, тобто обичайки й елементи силового набору, а після цього виконують їх з'єднання. **За другим варіантом** складання оболонки виконується послідовним установленням та з'єднанням деталей. Також існують три схеми стапельного складання.

**За першою схемою** складання виконують за базовими отворами. У кожній із деталей, що з'єднуються, заздалегідь просвердлюють не менше двох отворів. За допомогою цих отворів деталі базують у пристрої та з'єднують болтами, заклепками або тимчасовими фіксаторами. Далі виконують остаточне з'єднання деталей клепаанням. Після цього тимчасові фіксатори знімають.

**У другій схемі** застосовується базування за каркасом. У стапелі встановлюють пристрій для базування елементів каркаса, тобто стрингерів і шпангоутів. Стрингери й шпангоути закріплюють у пристрої

тимчасовими фіксаторами та з'єднують між собою. Після цього фіксатори знімають та з'єднують каркас з обшивкою клепаанням. Точність виготовлення залежить від точності виготовлення каркаса й точності пристрою.

**У третій схемі базовим** елементом є обшивка. Її встановлюють за базовими поверхнями пристрою стапеля й закріплюють фіксаторами. У такому випадку базовими поверхнями є ложементи, виготовлені за теоретичним плазом. Після цього встановлюють усі елементи каркаса та виконують їх з'єднання з обшивкою та між собою клепаанням. Точність базування елементів каркаса забезпечується компенсувальними з'єднувальними елементами. Кінцева точність виготовлення забезпечується точністю виготовлення базових поверхонь пристрою стапеля.

Варіантом будь-якої з трьох схем може бути **попереднє складання клепааних панелей**, тобто обшивки зі стрингерами з'єднуються клепаанням поза стапелем, навіть до згинання обшивки. При стапельному складанні панельних оболонок спочатку в технологічних кільцях стапеля закріплюють стикувальні шпангоути. Після цього встановлюють панелі, з'єднувальні деталі й з'єднують у два етапи. На першому етапі виконують попереднє скріплення на другому – кінцеве з'єднання. Також можуть бути використані пресовані панелі з ребрами. Використання панелей із поздовжніми ребрами, що відіграють роль стрингерів, істотно підвищує технологічність конструкції корпусу завдяки відсутності потреби в їх додатковому з'єднанні при складанні. Однак використання оребрених панелей для сухих клепааних відсіків не є доцільним за критерієм масової досконалості конструкції. Тобто для відсіків клепааної конструкції більш раціональним варіантом є застосування панелей із відокремленими стрингерами й обшивкою. Після закінчення стапельного складання оболонка знімається зі стапеля та встановлюється на монтажні візки.

**На етапі позастапельного складання** встановлюють кришки люків, кронштейни та вузли для кріплення приладів і комунікацій.

**На етапі монтажу** виконують прокладання труб пневматичних та гідравлічних мереж, кабелів і кабельних джгутів, а також установлення елементів рознімних з'єднань, механізмів та приладів системи керування. Значний час займає монтаж бортової кабельної мережі. До її складу входять кабелі електричних систем, джерела живлення, комунікаційна апаратура, елементи рознімних з'єднань, реле, перемикачі, деталі кріплення і т. ін. Кабельні джгути виготовляють за плазом. Спочатку відрізають й викладають шматки кабелів на плазі. Після цього їх

зв'язують, скручують у джгут, захищають ізоляційним матеріалом, підготовляють кінці кабелів та приєднують до них паянням або пресуванням елементи різних з'єднань. Потім складають і герметизують рознімні з'єднання, виконують їх контроль й упакування. Великий обсяг монтажних робіт виконується в приладових відсіках, блоках керування, а також у відсіках пілотованих космічних апаратів. Монтажні роботи закінчуються перевіркою, налагодженням і регулюванням установлених систем.

При складанні оболонок велику трудомісткість мають **контрольно-випробувальні роботи**. Вони складаються з перевірки функціонування всіх елементів, а також контролю герметичності, міцності, якості нанесення покриття тощо.

#### 7.4. ВИГОТОВЛЕННЯ ФЕРМОВО-КАРКАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Каркасно-фермову конструкцію (рис. 7.3) можуть мати перехідні міжступеневі відсіки, вузли ступеня розведення, рами кріплення двигунів, навантажені елементи конструкції тощо. Основними елементами каркасних конструкцій є стояки, тяги, розкоси, опори, силові стиковальні кільця, кронштейни, косинки, кутники й т. ін.

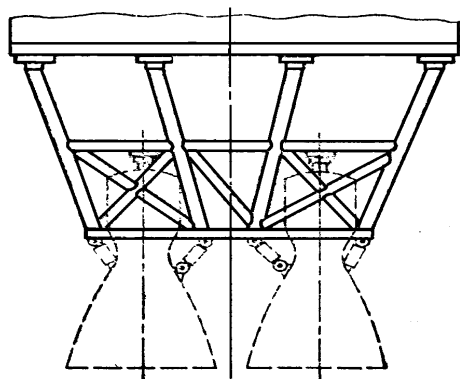


Рис. 7.3. Рама для монтажу двигунної установки

Технологічний процес виробництва каркасних конструкцій реалізується за такою схемою: виготовлення трубчастих або профільованих елементів; виготовлення опор та силових кілець; виготовлення

з'єднувальних елементів; складання-зварювання окремих елементів; загальне складання-зварювання каркаса; дробка стиковальних поверхонь; нанесення захисного покриття; контроль і випробування.

Мінімальні зварювальні деформації забезпечуються зварювальним пристроєм. Положення елементів, що з'єднуються, визначені експериментально. У цьому пристрої при складанні каркаса застосовуються спеціальні фіксатори для базування й жорсткого закріплення зварюваних деталей. Зварювання елементів каркаса виконують послідовно. Закінчивши зварювання, конструкцію відпалюють із метою усунення внутрішніх напружень. Задана точність та шорсткість стиковальних поверхонь після відпалювання досягається послідовним фрезеруванням, точінням і шліфуванням. Процес виготовлення каркаса завершується перевіркою геометричних розмірів і точності розташування стиковальних поверхонь, рентгеноконтролем зварних швів, випробуваннями на міцність, динамічними випробуваннями, а також завершальним контролем геометричних параметрів.

## Розділ 8 ВИРОБНИЦТВО РІДИННИХ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ

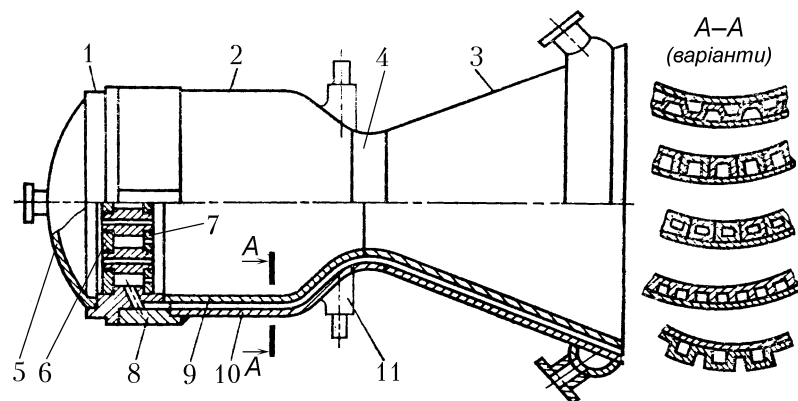
### 8.1. ОСНОВНІ КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ Й СХЕМА ВИГОТОВЛЕННЯ РІДИННИХ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ

До складу рідинної двигунної установки входять такі типові елементи та системи:

- баки для компонентів палива;
- трубопроводи, клапани, мембрани та інші елементи пневмогідравлічної системи;
- система подачі компонентів палива з паливного відсіку в камеру згоряння, основним елементом якої є турбонасосний агрегат або система витиснення;
- газогенератор, який створює газ, що обертає турбіну турбонасосного агрегату, й використовується системою витиснення компонентів палива;
- камера згоряння із соплом для формування потоку газів, що виходять із неї;
- рульові двигуни або система керування вектором тяги;

- силова рама або шарніри;
- електрична система.

Основними конструктивними елементами камери рідинного ракетного двигуна є форсункова головка, камера згоряння й соплова частина. Форсункова головка складається з трьох днів. На верхньому дні містяться патрубки, на середньому й нижньому – форсунки. Камеру згоряння й сопло розділяє критичний переріз сопла.



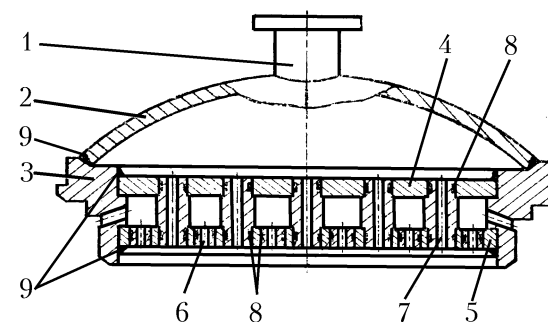
**Рис. 8.1. Конструкція камери рідинного двигуна:**

- 1 – форсункова головка; 2 – камера згоряння; 3 – соплова частина;
- 4 – критичний переріз сопла; 5 – верхнє днище; 6 – середнє днище;
- 7 – нижнє днище; 8 – силове кільце; 9 – стінка; 10 – сорочка; 11 – цапфа

Процес складання камери двигуна реалізується за такою спрощеною схемою: складання форсункової головки; контроль і випробування форсункової головки; складання камери згоряння; контроль і випробування камери згоряння; складання соплової частини; контроль і випробування соплової частини; складання камери згоряння із сопловою частиною; випробування камери згоряння із сопловою частиною; загальне складання; випробування на міцність; проливання камери; випробування на герметичність.

## 8.2. ВИГОТОВЛЕННЯ Й СКЛАДАННЯ ФОРСУНКОВОЇ ГОЛОВКИ

Форсункова головка має паяно-зварну конструкцію та складається з таких основних елементів: силового кільця; верхнього, середнього й нижнього (вогневого) днів, форсунок окислювача й пального, патрубка та фланця. Для виготовлення елементів форсункової головки використовують жаростійкі сплави ЕИ654, Х18Н9Т та їх аналоги.



**Рис. 8.2. Конструкція форсункової головки:**

- 1 – патрубок із фланцем; 2 – верхнє днище; 3 – силове кільце;
- 4 – середнє днище; 5 – нижнє вогневе днище; 6 – форсунки окислювача;
- 7 – форсунки пального; 8 – припай; 9 – зварний шов

Загальні технічні вимоги до виготовлення форсункової головки та її конструкції повинні забезпечувати: міцність та жорсткість конструкції; герметичність з'єднань; високу точність розташування форсунок (відхилення від заданої позиції не повинно перевищувати  $\pm 0,1$  мм); задані сумарні витрати компонентів палива й номінальні витрати крізь кожну форсунку; співвісність осі факела суміші з віссю камери згоряння; рівномірність розпилення компонентів палива кожною форсункою.

Складання форсункової головки виконують за такою схемою: складання та зварювання верхнього днів з патрубком і фланцем; складання, прихвачування та остаточне зварювання середнього днів із силовим кільцем; устаткування форсунок пального з кільцями припая в отвори середнього днів, вкладання припая в кільцеві канавки навколо отворів; установка нижнього днів; устаткування форсунок окислювача з кільцями припая в отвори нижнього днів; складання, при-

хвачування та остаточне зварювання або паяння нижнього днища із силовим кільцем; паяння форсунок; контроль якості паяння; випробування складеного вузла на міцність і герметичність; складання та зварювання верхнього днища з блоком форсунок; випробування форсунокової головки на міцність і герметичність; проливання, миття й сушіння форсунокової головки.

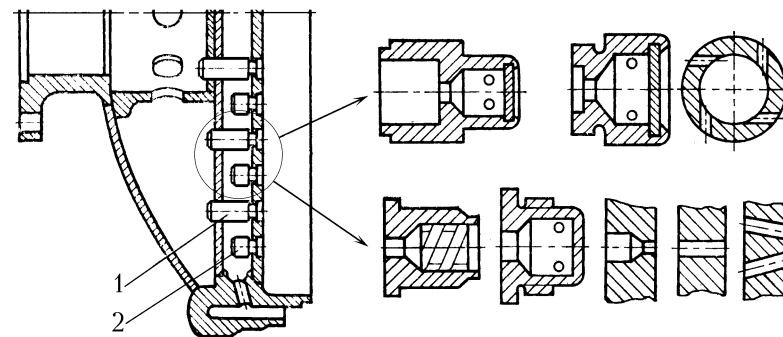
Силове кільце має складну форму й конструкцію. Заготовки для нього одержують штампуванням, розкочуванням, куванням, а також згинанням із прокату або пресованих профілів із подальшим зварюванням. Механічна обробка кільця виконується на карусельних або токарно-лобових верстатах, свердлення отворів для подачі окислювача – на свердлильному верстаті крізь поворотний кондуктор.

Заготовки для днищ одержують вирубанням у штампах або вирізанням гільйотинними ножицями. Верхнє днище сферичної або еліптичної форми одержують штампуванням з одночасним вирубанням центрального отвору з подальшою механічною обробкою стикувальних місць й отворів для штуцерів. Ідентичність розмірів середнього й нижнього днищ забезпечується пакетною обробкою. Для цього обидва днища нанижують на оправку крізь просвердлені центральні отвори та стягують, після чого одночасно оброблюють їхню зовнішню кільцеву поверхню.

Для установки форсунок окислювача у нижньому днищі крізь кондуктор свердлять отвори. Далі середнє й нижнє днище складають із силовим кільцем, тимчасово прихвачують і крізь обидва днища за накладним кондуктором свердлять отвори для установки форсунок пального. Такий підхід забезпечує необхідну співвісність отворів. Після свердлення днища відокремлюють від силового кільця та виконують Zenкування й розгортання отворів. Якщо отвори свердлять окремо у кожному днищі, то для забезпечення їхньої співвісності необхідно застосувати той самий кондуктор.

Форсунки бувають струминними й відцентровими (рис. 8.3). Струминні форсунки мають отвори малого діаметра, крізь які компоненти палива подаються в камеру тонкими струменями. Іноді замість форсунок окислювача в нижньому днищі свердлять отвори потрібного діаметра. Відцентрові форсунки бувають тангенціальними й шнековими. Їхні корпуси виготовляють точінням із прутків на автоматичних верстатах. Тангенціальні отвори утворюють електроіскровим способом або свердлінням крізь кондуктор. При свердлінні свердлу докладають додаткових вібраційних рухів. Шнекові поверхні утворюють профілювальними

роликами на різнакатувальних верстатах або нарізанням на токарно-револьверних верстатах. Після виготовлення кожну форсунку обмірюють і проливають для визначення секундної витрати, якості й кута розпилення.



**Рис. 8.3. Типові конструкції форсунок та їх розташування:**  
1 – пального; 2 – окислювача

Паяння форсунок здійснюється в контейнері у вакуумі або в середовищі захисного газу при температурі 1180–1225°C протягом 10–15 хв. Найбільш часто застосовують припаї на основі нікелю, марганцю, міді та срібла.

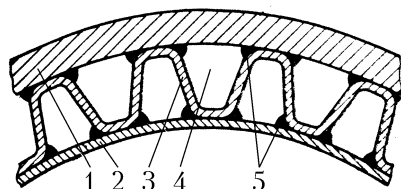
### 8.3. ВИГОТОВЛЕННЯ ОБОЛОНКИ КАМЕРИ ДВИГУНА З ГОФРОВАНИМ ПРОСТІНКОМ

**Оболонка камери згоряння** такого типу має тришарову паяну конструкцію (рис. 8.4). Внутрішня вогнева стінка і зовнішній кожух (сорочка) з'єднуються між собою гофрованим простінком. Внутрішня стінка камери згоряння виготовляється з нержавіючої сталі X18H9T або ЭИ659, гофрований простінок – з низьковуглецевих сталей 08КП, 10КП, або нержавіючої сталі X18H9T, сорочка – зі сталей ЭИ654, ЭИ763.

**Загальні технічні вимоги** до виготовлення камери згоряння та її конструкції повинні забезпечувати: точність форми й геометричних розмірів; міцність та жорсткість конструкції після складання; герметичність конструкції; високу корозійну й ерозійну стійкість матеріалів,



особливо вкладишів критичного перерізу сопла; заданий режим течії компонентів палива в підсорочковому тракті; задані витрати компонентів палива й перепад тиску в магістралях окислювача та пального.



**Рис. 8.4. Конструкція оболонки камери з гофрованим простінком:**

1 – зовнішній кожух (сорочка); 2 – внутрішня вогнева стінка; 3 – гофрований простінок; 4 – охолодний тракт окислювача; 5 – припай

Перед складанням камери згоряння проводять вхідний контроль усіх елементів. Контролюють розміри, форму, якість зварних швів та поверхонь. Далі здійснюють підготовку поверхонь для паяння, тобто очищення, електролітичне знежирювання й травлення. **Схема складання камери** буде такою: установка стінки камери на оправку; нанесення припаю на зовнішню поверхню стінки у вигляді стрічок фольги або іншим методом; установка елементів гофрованого простінка із зазором між сусідніми елементами не більше 0,5 мм; нанесення припаю на зовнішню поверхню простінка; установка сорочки під пресом; нанесення припаю на горловину сорочки й установка крайнього поясу простінка з припаєм; розвальцьовування горловини; прихвачування компенсатора до горловини; знімання складеного вузла з оправки; зварювання компенсатора зі стінкою; уварювання трубопроводу вакуумної системи; випробування вузла на герметичність; установка вузла на поворотний пристрій та завантаження його в контейнер; з'єднання вузла з вакуумною системою; відкачування повітря з підсорочкового простору; завантаження контейнера в піч; паяння; вивантаження контейнера з печі; демонтаж контейнера після остигання; контроль і випробування.

Циліндрична частина внутрішньої стінки камери згоряння виготовляється з однієї або декількох листових заготовок згинанням та зварюванням поздовжніх швів. Конічна частина виготовляється зі спеціально розкритої листової заготовки згинанням та зварюванням із подальшим штампуванням або видавлюванням на токарно-давильному верстаті. Перед штампуванням усі зварні шви зачищають, відпалюють та конт-

ролюють рентгеном. Обидві частини стінки складають у пристрої, прихвачують та зварюють. При зварюванні змінюється форма заготовки, тому після зварювання виконують калібрування для надання точної геометричної форми. Іноді обидві частини внутрішньої стінки камери згоряння виготовляють із однієї листової заготовки розкочуванням або штампуванням (витягуванням). У такому випадку циліндрична й конічна частини утворюються одночасно. Форма й розміри виготовленої стінки контролюються за шаблонами.

Сорочка камери згоряння може бути суцільноштампованою або зварної конструкції. Сорочки суцільноштампованої конструкції застосовуються в двигунах малої тяги, їх виготовляють так само, як стінки. Сорочка зварної конструкції складається з декількох циліндричних і конічних обичайок, з'єднаних кільцевим зварюванням. Обичайки виготовляються з листових заготовок згинанням та зварюванням поздовжніх швів. Перед зварюванням виконують механічну обробку кромки. Після зварювання шви зачищають і відпалюють. Криволінійні частини сорочки утворюють із конічних обичайок штампуванням. Після складання та зварювання сорочки здійснюють калібрування або механічну обробку її поверхні для додання точної геометричної форми.

Гофрований простінок з'єднує між собою внутрішню стінку й сорочку. Він повністю повторює форму стінки камери згоряння та відіграє роль охолодного тракту для протікання охолоджувального компонента палива. У багатьох випадках охолоджувачем є окислювач. Технічні вимоги до виготовлення простінка повинні забезпечувати точність форми й розмірів, відсутність на поверхні гофрів подряпин, вм'ятин та інших пошкоджень, а також задану товщину гофрів, зменшення якої не повинно перевищувати 0,1 мм. Гофровані елементи простінка одержують зі смуг, що вирізають механічними ножицями з листів за шаблонами з деяким припуском.

Гофри утворюють пресуванням у штампах або прокатуванням крізь профілювальні валки. Штампування здійснюється в штампі, що має два пуансони – робочий та притискний. Робочий пуансон формує гофри, а притискний – запобігає втягуванню в зону робочого пуансона раніш сформованих гофрів та їхньому викривленню. Гофри формуються рядами. Після формування ряду гофрів заготовку пересувають на ширину робочого пуансона. Прокатування виконується крізь зубчасті валки евольвентного профілю. Основним недоліком цього методу є викривлення профілю гофрів унаслідок прогинання осі обертання валків та прослизання зубів. Конічні елементи простінка найчастіше одержу-

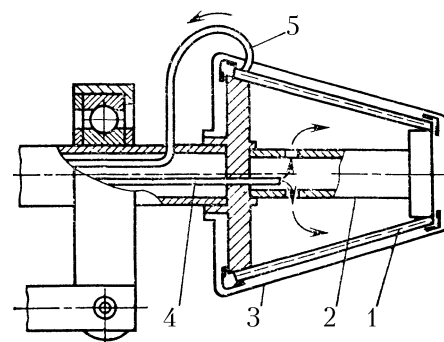
ють із циліндричних розводкою гофрів у спеціальних штампах зі змінною їхньої висоти й кроку або штампуванням із серпоподібної смуги з подальшим зварюванням. Сформовані елементи обрізають за розмірами, складають та зварюють роликівим або ручним аргондуговим зварюванням. Після зварювання простінок калібрують, закріплюють на оправці й виконують механічну обробку на токарному верстаті.

Припай наносять металізацією, гальванічним методом, а також стрічками фольги. Процес металізації дуже схожий на процес зварювання з плавким електродом. Припай у вигляді дроту подається крізь головку металізатора, розігрівається до температури плавлення електричною дугою або киснево-ацетиленовим полум'ям та розтікається по оброблюваній поверхні. Якість нанесення припаю контролюється за масою, товщиною шару та цілісністю покриття. У місцях, де нанесення припаю є небажаним або непотрібним, установлюють захисні технологічні кільця. Нанесення припаю гальванічним методом здійснюється в гальванічних ваннах. Цей метод дозволяє одержати рівномірний шар покриття, але він несумісний з деякими припаями. Також припай наносять у вигляді фольги товщиною 0,05–0,12 мм, яка нарізана стрічками шириною 15–20 мм. Стрічки накладають на поверхню й прихвачують точковим зварюванням.

Перед завантаженням вузла в піч у підсорочковому просторі створюють вакуум із залишковим тиском близько 3 Па. Для рівномірного нагрівання вузла й запобігання стіканню припаю, вузол обертають зі швидкістю 20 об/хв. У процесі паяння в печі крізь контейнер продувають аргон або азот, при цьому тиск у контейнері становить 0,3 МПа (рис. 8.5). Для паяння застосовують такі припаї: №2 Г70НХ, №87 мідно-цинковий ПМНЦ–5,5–11,5, а також припай на основі срібла. Режим паяння для кожного припаю свій. У середньому паяння здійснюється при температурі 1200<sup>0</sup>С протягом 15 хв. Після паяння контейнер виймають із печі для остигання на повітрі. Під час остигання вузол продовжує обертатись. Розбирання контейнера виконують при температурі 100–150<sup>0</sup>С. Трубопровід вакуумної системи демонтують після повного охолодження, а також здійснюють обмірювання, випробування й контроль вузла.

Передбачені такі види випробувань і контролю: гідравлічні, пневматичні та рентгеноконтроль. Гідравлічні випробування або випробування на міцність підсорочкового тракту здійснюють водою під тиском, що на 20% перевищує робочий, протягом 10–15 хв. Контроль виконується за спадом тиску. Під час випробувань не повинні спостерігатися

деформування, спучування й відривання оболонок, а також наявність випробувальної рідини на зовнішніх поверхнях вузла. Пневматичні випробування або випробування на герметичність підсорочкового тракту здійснюють повітрям під тиском, що на 10–15% перевищує робочий і становить 0,3–1,5 МПа. Герметичність контролюється за методом акваріума. Вузол занурюють у воду й витримують протягом 1 год. Контроль здійснюється за появою бульбашок. Рентгеноконтролем перевіряють наявність непропаяних ділянок, наплавлень та інших дефектів.



**Рис. 8.5. Схема паяння вузла камери:**

1 – вузол; 2 – обертовий маніпулятор; 3 – захисний кожух;  
4 – трубопровід подачі аргону; 5 – трубопровід вакуумного насоса

Після випробувань на токарному верстаті зрізають компенсатори й оброблюють торці вузла за шаблонами. Услід за цим вузол проливають водою на спеціальному гідростенді для визначення розходу рідини крізь підсорочковий тракт й перепаду тиску на його вході й виході. Основними елементами гідростенда є вхідний та вихідний манометри, напірний трубопровід та мірний бак. Для проливання вузол установлюють у пристрої гідростенда над мірним баком і приєднують до нього напірний трубопровід, крізь трубопровід подається певна кількість води.

**Оболонка соплової частини** камери двигуна має тришарову паяно-зварну конструкцію. Вона складається й випробується окремо від камери згоряння за аналогічною технологією. Усі елементи конструкції соплової частини, на відміну від камери згоряння, працюють під дією менших напружень, тому стінка й сорочка мають меншу товщину. Додатковим елементом конструкції сорочки соплової частини є колектор

із патрубками. Він потрібний для подачі охолоджувального компонента палива в підсорочковий тракт. Колектор складається та зварюється з окремих сегментів напівторової форми.

Перед складанням вузли контролюють за розмірами й формою, а також перевіряють якість зварних швів і поверхонь. Потім їх комплектують за стиковальними діаметрами й результатами проливання. Після цього підготовляють зварні кромки.

**Складання камери згоряння із сопловою частиною** полягає в утворенні нероз'ємного зварного з'єднання по стику внутрішніх стінок вузлів із подальшою герметизацією охолодного тракту шляхом зварювання сорочок у стик, або приварювання до них накладок чи розрізних кілець у місці стикування. Для забезпечення заданого взаємного положення зварюваних частин широко застосовуються складально-зварювальні пристрої з розтискними самоцентрувальними елементами. З'єднання вузлів виконується аргонодуговим зварюванням. Після зварювання зачищають зварні шви зовні й усередині. Далі блок проходить цикл пневматичних і гідравлічних випробувань. Якість зварювання перевіряють рентгенівським методом.

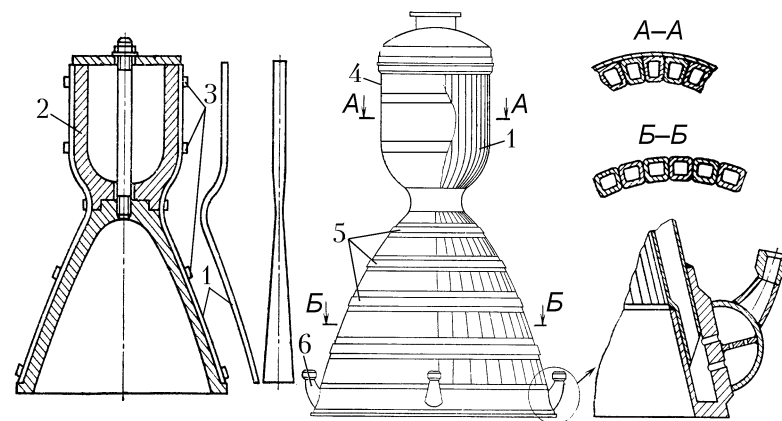
#### 8.4. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБЧАСТИХ КАМЕР

Особливості технологічного процесу виготовлення трубчастих камер зумовлені їх конструкцією (рис. 8.6). У камерах такого типу камера згоряння й соплова частина виконані як єдине ціле. Конструкція камери складається з трубок прямокутного плавномірного перерізу, що вигнуті за формою камери й у напружених місцях стягнені бандажами. Кількість трубок залежить від розмірів камери й становить 200–500 шт. Профілювання трубок виконують гідроформуванням, протяганням крізь профільний фільтр та обкатуванням. Обкатування здійснюється на обкатних роликівих верстатах за копіром.

Трубчасті камери, на відміну від камер із гофрованим простінком, забезпечують: більш надійне й точне формування охолодного тракту, зниження ваги конструкції на 10–20%, загальне зменшення трудомісткості механічних і складальних робіт та кількості технологічної оснастки.

Підготовчими операціями, що передують складанню, зварюванню та паянню, є очищення й знежирювання всіх елементів конструкції та припаю. Складання камери виконують на розбірній оправці. Профільовані трубки притискають до оправки технологічними бандажами. Пе-

ред установленням конструкційних бандажів здійснюють прихвачення трубок точковим зварюванням до тонких технологічних кілець, що мають ширину 0,15–0,3 мм. Потім послідовно замінюють технологічні бандажі конструкційними. Останні встановлюють із натягом поверх технологічних кілець та з'єднують зварюванням. Закінчивши складання, оправку розбирають.



**Рис. 8.6. Пристрій для складання та конструкція трубчастої камери:**

1 – профільовані трубки; 2 – розбірна оправка; 3 – технологічні бандажі; 4 – зовнішній кожух; 5 – конструкційні бандажі; 6 – патрубок колектора

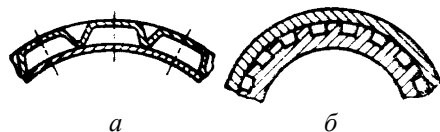
Припай наносять на внутрішню поверхню камери металізацією (гарячим напильованням) або у вигляді стрічок фольги. Далі камеру монтують на поворотному пристрої, встановлюють у герметичний контейнер та завантажують у піч. Паяння здійснюється в середовищі аргону, азоту або гелію при постійному обертанні камери для запобігання стіканню припаю. Режими паяння такі: підвищення температури до 800°C зі швидкістю 9–13°C/хв, витримка при максимальній температурі 15 хв, охолодження спільно з піччю. При нагріванні припай розтікається в зазори між трубками внаслідок капілярного ефекту. Якість паяння контролюють зовнішнім оглядом і просвічуванням лампою із середини камери, а також ультразвуком і рентгеном. Виявлені дефекти ремонтують газовою горілкою або пістолетом з інфрачервоним нагрівачем. Температура плавлення ремонтного припаю зазвичай на 60–100°C

нижча температури плавлення основного припаю. Після контрольних операцій вузол випробують на міцність і герметичність, а також здійснюють проливання тракту.

Завершальним етапом виготовлення є нанесення термостійкого покриття з двоокису цирконію, карбиду вольфраму тощо на внутрішню поверхню камери для запобігання ерозії та корозії під дією гарячих газів, оплавленню та утворенню тріщин. Захисні покриття наносять газовим наплавленням або плазмовим напилюванням.

### 8.5. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ КАМЕР ІЗ ВИШТАМПУВАННЯМИ Й ФРЕЗЕРОВАНИМИ ПАЗАМИ

**Оболонка камери з виштампуваннями** (рис. 8.7, *а*) має двошарову зварну конструкцію та складається з гладкої стінки й сорочки, що має із зовнішнього боку заглибини, одержані штампуванням. Кожна заглибина має форму усіченого переверненого конуса, висота якого становить 3–7 мм, а діаметр основи 6–10 мм. Виштампування утворюють рядами, їх кількість у ряді залежить від розмірів камери й становить 15–50 шт.



**Рис. 8.7. Конструкції оболонок камер:**  
*а* – з виштампуваннями; *б* – з фрезерованими пазами

**Загальна схема виготовлення** таких камер схожа на процес виготовлення камер із гофрованим простінком. Особливість полягає в тому, що кожний циліндричний, конічний або криволінійний елемент сорочки складається з двох однакових частин. Такий підхід дозволяє після утворення виштампувань забезпечити повне дотикання стінки й сорочки під час складання. З'єднання стінки й сорочки здійснюється за вершинами конічних виштампувань точковим зварюванням у певній послідовності для уникнення жолоблення після зварювання. Усі поздовжні й поперечні стики між елементами сорочки герметизують приварюванням накладних смуг і кілець.

**Оболонка камери із фрезерованими пазами** (рис. 8.7, *б*) має двошарову паяну конструкцію та складається з гладкої тонкої сорочки й внутрішньої стінки, що має на зовнішній поверхні поздовжні пази змінного перерізу. Пази утворюють фрезеруванням дисковими фрезами шириною 2–2,5 мм за три переходи. Для паяння застосовується припай ПСР38МНЦ. Паяння здійснюється в печі. Перед паянням у підсорочковому тракті утворюють вакуум.

### 8.6. ЗАГАЛЬНЕ СКЛАДАННЯ КАМЕРИ ДВИГУНА

**Загальне складання камери двигуна** виконується за такою схемою: складання форсункової головки з камерою у пристрої, який забезпечує співвісність вузлів; з'єднання форсункової головки з камерою зварюванням, паянням, а іноді болтами; приєднання до камери опор, цапф або кронштейнів для з'єднання із силовою рамою, а також штуцерів, патрубків тощо; нанесення захисного покриття на внутрішню поверхню камери; випробування вузла на міцність і герметичність; проливання камери; промивання внутрішнього тракту знежирювачем та продування гарячим повітрям для видалення жирових забруднень і вологи; сушіння у вакуумній печі; установлення заглушок на патрубки й консервування вузла; вибіркові вогневі випробування частини камер із метою визначення їх робочих характеристик.

Захисні покриття наносять металізацією, гальванічним осадженням або плазмовим напилюванням. Покриття з тугоплавких матеріалів на основі молібдену, танталу, вольфраму, цирконію та хрому забезпечують захист від ерозії та корозії на внутрішній поверхні камери двигуна під дією потоку гарячих газів. Покриття з неметалевих композиційних матеріалів забезпечують абляційний теплозахист, а покриття з міді, алюмінію, берилію, срібла та інших металів, що мають високу питому теплоємність, використовуються як поглиначі тепла.

Випробування камери на міцність виконують водою під тиском, що на 40% перевищує робочий, на герметичність – мас-спектрометричним методом 10% повітряно-гелієвою сумішшю.

Шляхом проливання визначають секундну витрату рідини крізь тракти окислювача й пального та втрати тиску для кожного компонента палива окремо та при спільній роботі обох трактів.

## Розділ 9

### ВИРОБНИЦТВО ТЕПЛОЗАХИСНИХ І ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

Літальні апарати під час польоту зазнають теплової дії від аеродинамічного потоку, а також дії променевого теплового потоку від двигунів і деяких бортових систем. Нагрівання конструкції призводить до зміни її механічних властивостей. Для захисту конструкції від нагрівання використовуються теплозахисні й теплоізоляційні покриття. Їхня маса в конструкції літального апарата може досягати 25%.

#### 9.1. ОСНОВНІ МЕТОДИ ТЕПЛОЗАХИСТУ

**Методи теплозахисту** оснований на поглинанні тепла, його випромінюванні, конвекції, масообміні та абляції.

Для **металевих теплозахисних покриттів** застосовують сплави титану при температурах на поверхні до 300–500°C, нікелю, кобальту, молібдену, вольфраму – до 1100°C, ніобію, танталу – понад 1300°C. Вони наносяться електроосадженням, вогневим або плазмовим напилюванням, осадженням із газової фази, металізацією та іншими методами.

Тепловий **захист твердими поглиначами тепла** оснований на акумулюванні тепла матеріалами, що розташовуються під жароміцним покриттям. Для поглинання тепла застосовують мідь, алюміній, залізо, молібден, вольфрам, берилій та графіт.

**Радіаційний теплозахист** ґрунтується на здатності матеріалів випромінювати тепло з нагрітої поверхні. При рівності значень підведеного та випромінюваного теплових потоків вважається, що тепловий потік углиб матеріалу дорівнює нулю. Конструктивно такі покриття виконують у вигляді екрана з ребрами, за допомогою яких він з'єднується з конструкцією, що захищається. Порожнини між ребрами заповнюються теплоізоляцією з пористої кераміки або поропласту. Місця з'єднання ребер із конструкцією охолоджують конвекційним методом.

**Конвекційне охолодження** поверхні апарата здійснюється рідинними або газовими охолоджувачами, такими як водень, кисень, вода або пара, аміак, азот, повітря, метиловий спирт, аргон, гліцерин, вуглекислий газ. Охолоджувач омиває охолоджувану поверхню та відбирає з неї тепло, після цього віддає його в теплообміннику.

**Примусові методи** теплозахисту базуються на масообміні й реалі-

зуються у вигляді пористого, плівкового та загороджувального охолодження.

Механізм **пористого охолодження** складається з двох процесів: внутрішнього теплообміну, під час якого газ відбирає тепло від внутрішньої стінки при фільтрації до зовнішньої поверхні, й зовнішнього теплообміну, коли охолоджуючий газ дифундує крізь примежовий шар та розбавляє й відсікає від охолоджуваної поверхні високотемпературний газовий потік. Металеві пористі матеріали зазвичай одержують пресуванням сферичних порошків або плетінням із волокон чи дроту.

При **плівковому охолодженні** крізь отвори на охолоджуваній поверхні подається рідина, яка утворює на ній плівку. При цьому температура охолоджуваної поверхні не буде перевищувати температуру кипіння охолоджувача.

**Загороджувальне охолодження** здійснюється холодним газом, який подається крізь щілини в пристінний шар потоку, що набігає, по дотичній до охолоджуваної поверхні. Відбувається відтиснення гарячого газу та зменшується інтенсивність теплообміну.

**Абляційний теплозахист** супроводжується такими механічними й фізико-хімічними процесами в поверхневому шарі покриття: нагрівання, плавлення, винос потоком, що набігає, сублимація, утворення тріщин, ерозія, випарювання рідинної фракції, розпадання високомолекулярних газів, піроліз, при якому вносяться газові, рідинні й тверді продукти розпаду, згоряння, окислювання. Під час роботи такого покриття послідовно руйнуються його зовнішні шари.

#### 9.2. ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ГОЛОВНИХ ЧАСТИН ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ОБТІЧНИКІВ

**Призначенням зовнішнього теплозахисного покриття (ТЗП)** є забезпечення на поверхні корпусу літального апарата, на наконечнику та бічній поверхні головної частини й аеродинамічного обтічника температури, яка не перевищує 100–150°C, та в середині корпусу – заданої температурної межі, що зазвичай не повинна перевищувати 50°C. Іншим словом, ТЗП забезпечує захист поверхонь корпусу ракети під час руху на атмосферній ділянці траєкторії та зниження температури з 600–2000°C, що виникає на зовнішній поверхні покриття, до температури, яка забезпечує оптимальний режим роботи елементів конструкції, приладів та систем.

### 9.2.1. Конструктивні особливості та умови роботи теплозахисних покриттів

Теплозахисне покриття повторює геометричні форми поверхні несучої оболонки корпусу та має змінну товщину. ТЗП наконечників аеродинамічних обтічників зазвичай має сферичну або еліптичну форму. Покриття з'єднується з несучою конструкцією приклеюванням або механічним кріпленням.

На атмосферній частині траєкторії ТЗП зазнає термічного удару й механічного навантаження швидкісного напору. При виборі системи та засобів захисту конструкції враховують такі фактори: теплові й силові навантаження та термін їх впливу; умови експлуатації та зберігання; тип виробництва (одиничний або серійний); необхідний рівень надійності; наявність сировини й матеріалів.

Перші ракетні вироби не комплектувалися ТЗП, але у зв'язку зі збільшенням дальності польоту, виникненням нових спеціальних задач почали виробляти захисні покриття з різних мінеральних матеріалів. Найпершим ТЗП була мінеральна обмазка ТМП-2 – суміш цементу, карельського каменя, шамотного порошку, натрію кремнефтористого та рідкого скла. Це покриття було розроблене в 1953 р. у КБ С. П. Корольова та мало ефективну ентальпію близько 2,51 МДж/кг (сучасні – близько 60 МДж/кг). Наносилося таке покриття шпателем вручну. Воно було незадовільної якості з масовими дефектами у вигляді наскрізних шпар та тріщин, також спостерігалася слаба адгезія покриття до металевої конструкції та різнотовщинність.

У 1955–56 рр. уперше були впроваджені **абляційні покриття** (що руйнуються та виносяться) типу армованих пластмас, які дозволили вирішити дві проблеми – теплового захисту та масового вдосконалення конструкції. На сьогодні переважно застосування таких покриттів пояснюється тим, що вони в процесі роботи нагріваються, випаровуються чи розкладаються та змиваються аеродинамічним потоком повітря, що набігає. Та частина покриття, яка видалається з поверхні, не тільки «відносить» тепло, але й потрапляє в примежовий шар, зменшуючи передачу тепла крізь нього. Існуючі ТЗП дозволяють у процесі розкладання видаляти в примежовий шар близько 50% тепла, що підводиться. Таким чином, абляційні покриття витримують значні теплові потоки, але прогрівання вглиб покриття при цьому практично не відбувається. Це пояснюється малою теплопровідністю застосовуваних матеріалів та віднесенням поверхневого шару потоком повітря.

### 9.2.2. Функції покриттів та застосовувані матеріали

Конструкції сучасних ТЗП – це багатошарові пакети, багатофункціональні за призначенням. Вони являють собою складні багатокомпонентні композиції, руйнування яких відбувається внаслідок нагрівання й механічного впливу газового потоку з реалізацією таких фізико-хімічних процесів: термічної деструкції полімерів; сублімації; плавлення з подальшим випаровуванням рідкої плівки; хімічної взаємодії газоподібних компонентів із повітрям; механічного віднесення твердих та рідких часток потоком повітря і т. ін. Сучасні захисні покриття крім своєї основної функції – теплового захисту, виконують функції радіозахисту, радіопрозорості, забезпечення відсутності супутнього сліду, стійкості до імпульсних навантажень, жорсткого та наджорсткого рентгенівського випромінювання при висотному ядерному вибухові тощо, а також можуть застосовуватись як несучі елементи конструкції корпусу. Залежно від виникаючих задач кількість шарів ТЗП має тенденцію до збільшення. Саме тому при виготовленні покриття може застосовуватись понад 200 матеріалів, найбільш застосовувані з них такі:

- азботекстоліт на бакелітовому лакові вакуумного формування, пресований, намотуваний, автоклавного та інфрачервоного отвердіння;
- азботекстоліт на фенольному, фенольно-формальдегідному, фурфурольному, фенол-формальдегід-фурфурольному або епоксидному сполучному;
- стеклотекстоліт на основі кремнеземистих тканин вакуумного, гідровакуумного, пресового, автоклавного, намотуваного формування;
- теплоізолюючі підшари з розріджених лавсанотекстолітів, а також стеклостільників та пористих фторопластів;
- радіопоглинальні покриття із сажонаповнених лавсанотекстолітів, феритів та графітизованих матеріалів;
- радіопрозорі матеріали;
- стеклотекстоліти на основі багатошарових кремнеземних тканин різних методів формування;
- поліпропіленотекстоліти, розріджені поліпропіленотекстоліти різних методів нанесення й формування;
- покриття, що сублімують;
- матеріали заливного типу;
- пінопласти;
- термопласти та гуми, наповнені порошками важких елементів;
- текстоліти на кремнеземно-полімерних наповнювачах;

– вуглець-вуглецеві матеріали.

Головним розробником теплозахисних матеріалів у галузі був ЦНДІМаш, у розробках також брали участь ДКБ “Південне” та НДІТМ. Слід відзначити, що трудомісткість виготовлення ТЗП може досягати 50% від загальної трудомісткості виготовлення конструкції, яка захищається! Площа поверхні, що захищається, може перевищувати 16 м<sup>2</sup>.

### 9.2.3. Технологія виготовлення теплозахисних покриттів

Технологічний процес виготовлення ТЗП істотно залежить від його виду, конструкції, застосовуваних матеріалів та функцій, які воно буде виконувати. Спрощено класифікувати ТЗП можна так: однофункціональні одношарові, однофункціональні двошарові; багатофункціональні двошарові; багатофункціональні багатошарові. Ця класифікація, з одного боку, віддзеркалює розвиток технологій захисту, з іншого – актуально відбиває розвиток технології виготовлення покриттів із часом.

Як уже зазначалося, першим методом нанесення ТЗП було **ручне нанесення** шпателем. Для матеріалу ТМП-2 загальна схема виготовлення покриття була такою: очищення поверхні; нанесення підшару на основі меленого кварцу й рідкого скла методом поливу; сушіння; нанесення шару суміші ТМП-2 шпателем вручну (4–5 шарів); сушіння кожного шару на повітрі протягом 24–48 год; механічна обробка для надання форми; остаточне сушіння індукторами або в сушильних камерах при температурі 75–85°C протягом 42–72 год; нанесення вологозахисної шпаклівки у 4 шари; фарбування.

З упровадженням у **виробництво абляційних ТЗП** на основі органічних сполучних були розроблені відповідні технології виготовлення. Першим із таких покриттів був шаруватий пластик на основі азбестової тканини й бакелітового лаку – азботекстоліт, однофункціональне одношарове ТЗП, рекомендоване до використання у 1956 р. **Основне устаткування** ділянок по виготовленню такого матеріалу – це сушильні камери, автоклави, обладнані вакуумними системами, преси, установки вакуумно-автоклавного просочування наповнювачів, машини для просочування рулонних наповнювачів, установки піскоструминної обробки, витяжні шафи та приладдя для нанесення сполучного й клейової суміші. **Методи формування** – вакуумний, гідровакуумний, автоклавний та пресовий.

**Етапи технологічного процесу** виготовлення такі: розкроювання та розрізання тканинних заготовок; шивання заготовок у мішки за фо-

рмою виробу; сушіння мішків у сушильних камерах при температурі 60°C до вологості 1%; просочування мішків сполучним ручним утиранням за допомогою шпателя, поливанням або вакуумно-автоклавним способом; сушіння мішків у витяжних шафах до вмісту летучих речовин близько 8–12%; надівання пакета просочених мішків на оправку у формі корпусу виробу\*; установка технологічних пристроїв для формування; формування покриття певним методом при температурі близько 130–140°C зі ступеневим підвищенням протягом 24–72 год; механічна обробка поверхні покриття; контроль якості формування; піскоструминна обробка поверхні корпусу виробу; нанесення двох шарів клею БФ-4 або клею на основі епоксидної смоли ЕД-5; приклеювання ТЗП до корпусу з прошарком целофану або без нього; контроль якості приклеювання; завершальні операції.

Целофановий прошарок компенсує різницю між коефіцієнтами термічного розширення корпусу виробу й ТЗП, покращує якість приклеювання. Проте його застосування збільшує масу покриття й подовжує цикл виготовлення. За результатами науково-дослідних робіт та випробувань було встановлено, що з точки зору масової досконалості конструкції **доцільно виготовляти ТЗП двошаровим**, яке складається з теплоізоляційного шару малої щільності й ерозійностійкого основного шару. Для виготовлення теплоізоляційного шару застосовують стільникові склопанелі.

**Технологічний процес виготовлення двошарових ТЗП** складається з трьох етапів. На першому етапі виготовляють стільникові склопанелі зі стеклоблоків, приклеюють їх до корпусу клеєм БФ-4 із подальшим вакуумним формуванням при підвищеній температурі, після цього виконують механічну обробку для надання потрібної форми. Також як теплоізолятор можна застосовувати панелі з пористого фторопласту чи розрідженого лавсанотекстоліту. На другому етапі виготовляють основний шар ТЗП за схемою, аналогічною зазначеній вище; формування виконують пресуванням у спеціальній формі чи автоклаві. На третьому етапі виконують складання та склеювання обох шарів через прошарок азботканини, просоченої бакелітовим лаком. Завершальні операції складаються з механічної обробки торців, контролю й випробувань.

Головна специфічна особливість конструкцій із неметалевих матері-

\* Варіантом технології може бути надівання пакета просочених мішків безпосередньо на виріб, у такому разі схема виготовлення буде трохи іншою.

алів полягає в тому, що з окремих компонентів безпосередньо у виробі створюється готовий матеріал. Працездатність таких матеріалів прямо залежить від стабільності їх властивостей, які, у свою чергу, характеризують ступінь досконалості технологічних методів виробництва.

Процесам виготовлення ТЗП за зазначеними вище схемами властивий низький рівень механізації й автоматизації, та широке застосування важкої ручної праці. Це стосується всіх етапів виготовлення покриттів: від ручного розкроювання й по-сегментної викладки елементів теплоізоляційного шару до монтажних робіт, які передують процесам формування, тобто полімеризації (поліконденсації) сполучного в ТЗП, та й самі **конструкції покриттів, виконані пошаровим викладенням, не технологічні.**

Таким чином, означені **технології не виключають людського фактора**, що впливає на кінцеву якість і стабільність властивостей захисних матеріалів, а також характеризуються великою трудомісткістю, важкими та шкідливими умовами праці (токсичність деяких застосовуваних наповнювачів і сполучних) та тривалими циклами виготовлення. Бажання уникнути цих проблем спонукало до створення нового устаткування, засобів механізації виробництва, нових технологій та методів виготовлення ТЗП.

Результатами низки проведених науково-дослідних робіт стали **матеріали, які одержують намотуванням**, нові технології та намотувальне обладнання. ТЗП, виготовлене намотуванням, не поступається за своїми характеристиками покриттю, виготовленому пошаровим викладанням, при однаковому наповнювачі та сполучному.

Паралельно були розроблені та впроваджені у виробництво **засоби механізації** шкідливих та трудомістких процесів, а саме: просочувальна машина для просочування сполучними стрічкових та рулонних наповнювачів; диспергатор для змішування багатокомпонентних сполучних; машина для розрізання просочених тканинних наповнювачів на стрічки; установка для «хімічного зварювання» током високої частоти просочених наповнювачів; змішувач для готування клеїв із системою промивки. А згодом НДІТМ створив серію великогабаритних намотувальних верстатів для намотування ТЗП, оснащених системою числового програмного управління (ЧПУ), натяжником з автоматичною системою підтримки заданого зусилля натягу та його дискретної зміни залежно від габаритів виробів.

**Основні етапи технологічного процесу намотування ТЗП** такі: просочування тканинного наповнювача сполучним на просочувальній

машині<sup>\*</sup>; розрізання просоченої тканини на стрічки та їх з'єднання зшиванням, склеюванням або хімічним зварюванням; пошарове намотування стрічки з подальшим локальним підігріванням інфрачервоними лампами та прикочуванням фторопластовим роликком у два проходи; отвердіння покриття у вільному стані інфрачервоним нагрівачем; зачищення поверхні; контроль якості.

Експериментальні дослідження показали, що серед застосовуваних методів отвердіння матеріалів, одержаних намотуванням, – конвекційного отвердіння у печі й отвердіння інфрачервоними нагрівачами, найбільш ефективним та технологічним є останній метод. Цей висновок ґрунтується на двох факторах: 1) при отвердінні інфрачервоним випромінюванням під час розігрівання спостерігається менший розкид температури по товщині покриття, більш плавний та рівномірний розподіл температур у порівнянні з конвекційним методом; 2) проведення отвердіння безпосередньо на намотувальному верстаті дозволило уникнути значного обсягу монтажних, перевантажувальних, транспортних та інших допоміжних операцій, які виконуються ручним способом. Ще одним із перспективних методів отвердіння вважається використання нагріву надвисокочастотним полем, тобто за принципом мікрохвильової печі.

### 9.3. ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ

#### 9.3.1. Призначення та функції теплоізоляційного покриття

**Внутрішні** теплоізоляційні покриття забезпечують оптимальний тепловий режим елементів конструкцій, чутливих до високої температури при нагріванні приладів та інших джерел тепла, присутніх на борті ракети. **Зовнішня** теплоізоляція захищає конструкції від сторонніх джерел тепла.

Залежно від принципу, покладеного в систему теплоізоляції, покриття поглинає та накопичує або відбиває (віддзеркалює) тепловий потік. Матеріали, які застосовуються при виготовленні теплоізоляційних покриттів в основному ті, що наведені в п. 9.2.2 цього посібника. **Загальні вимоги до матеріалів** такі: мінімальна питома маса (відношення маси одиниці об'єму матеріалу до об'єму з урахуванням пор);

---

<sup>\*</sup> Подальшим удосконаленням цього процесу стало використання ультразвукових генераторів безпосередньо в резервуарі зі сполучним для підвищення якості та швидкості просочування.



висока пористість внутрішніх шарів; здатність до збереження структури й форми при стискальних навантаженнях; низька пористість і газопроникність поверхневого шару; мінімальні зміни об'єму та розмірів у діапазоні від нормальних до експлуатаційних температур; висока теплостійкість, міцність і жароміцність; вогнетривкість; необхідний ступінь віддзеркалювання, технологічність виготовлення; економічність; нетоксичність; стабільність властивостей протягом установленого терміну.

Теплоізоляційні матеріали поділяють на неорганічні – склотканини, скловата, піноскло, пінний корунд, металева фольга, та органічні – повсть, поліетилен, поліпропілен, полістирол, поліхлорвініл, політетрафторетилен, поролон, пінопласти на основі поліуретану, поліаміду та поліімиду [2]. Теплоізоляційні покриття на основі еластичних волокнистих матеріалів з органічними поліморфними та неорганічними кварцовими, азбестовими, скляними волокнами витримує температуру до 1500°C. Покриття на основі жорстких волокнистих матеріалів, а також екранно-вакуумна ізоляція – до 1000°C.

### 9.3.2. Конструктивні особливості та технологія виробництва теплоізоляційних матеріалів

Зазвичай теплоізоляція конструктивно виконується у вигляді багатошарової (шаруватої) жорсткої або гнучкої панелі, яка складається із зовнішніх (як варіант, декількох внутрішніх) щільних, герметичних або негерметичних, листових шарів, між якими розташовані прошарки заповнювача з легкого високопористого матеріалу (рис. 9.1).

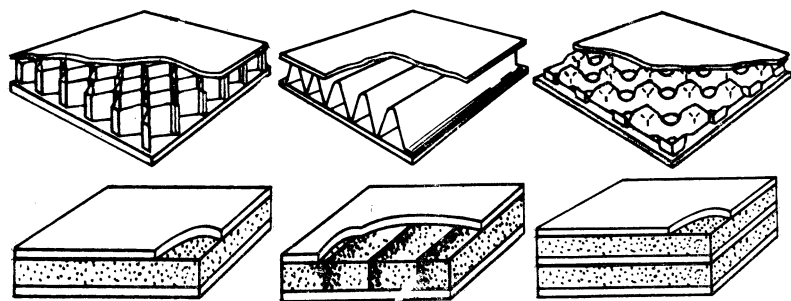


Рис. 9.1. Конструкції теплоізоляційних матеріалів

Заповнювач може мати стільникову, гофровану, пористу або іншу структуру. Шаруваті панелі можна класифікувати за методом з'єднання обшивок і заповнювача на паяні та клеєні, за застосованими матеріалами для обшивок і заповнювача на металеві, неметалеві та комбіновані, а також за структурою заповнювача на стільникові, гофровані, пористі тощо. На відміну від паяних, клеєні панелі можна виготовляти з різно-рідних матеріалів. Теплоізоляція, що не має зовнішніх листових оболонок, наприклад поропласт, з'єднується приклеюванням із конструкцією, що захищається. На зовнішню поверхню наклеюють облицювальну тканину. **Основні етапи технологічного процесу** нанесення теплоізоляційного покриття з поропласту такі: вхідний контроль поверхні корпусу на відсутність пошкоджень, поропласту на відповідність технічним вимогам; клею на в'язкість; нанесення клею на один бік листового поропласту та на внутрішній бік облицювальної тканини та їх з'єднання; сушіння; розкроювання покриття за шаблонами; очищення й знежирення поверхні корпусу; підгонка розкромлених заготовок за місцем установлення на поверхні корпусу; нанесення двох шарів клею на поверхню корпусу; приклеювання; сушіння; контроль якості оглядом і на відрив.

**Панелі екранно-вакуумної ізоляції** застосовується для зовнішньої теплоізоляції космічних апаратів або окремих відсіків. Під час польоту між екранами утворюється вакуум. Екран має високий ступінь віддзеркалення. **Основні етапи виготовлення** екранно-вакуумної ізоляції:

1. Контроль вихідних матеріалів, тобто екранів, прокладок, тканин та ниток. Екранами можуть бути полімерні плівки з однією або двома металізаціями, алюмінієва або нікелева фольга. Для прокладок використовують скляні вуали або тканини, які крім теплоізоляції забезпечують гарантований зазор між екранами.

2. Формування екрана вакуумною формувальною машиною, оснащеною формувальною плитою, яку можна розігрівати до 300°C при формуванні плівки та до 350°C при формуванні фольги. Формування металізованої плівки здійснюється при температурі 140°C у вакуумі 6,5 Па протягом 30 с, фольги – при 170°C у вакуумі 1,3 Па протягом 1 хв. Після формування екрани охолоджують стиснутим газом до 40–50°C. При формуванні на поверхні плівки або фольги створюється рифлення для виходу повітря.

3. Контроль якості формування за геометричними параметрами, ступенем чорноти й коефіцієнтом віддзеркалення поверхні.

4. Складання пакета. Екрани встановлюють металізованою стороною назовні. Між екранами встановлюють прокладку. Пакет повинен починатися й закінчуватися екраном. Кількість екранів у пакеті становить 20–50 шт. Складання виконують на спеціальних монтажних столах.

5. Розкроювання пакета за шаблоном.

6. Ультразвукове зварювання шарів пакета великого розміру.

7. Перфорування пакета для покращання його вакуумування.

8. Обшивання пакета за периметром для захисту від механічних пошкоджень. З внутрішнього боку пакет обшивають перкалем або склотканиною, із зовнішнього – спеціальною тканиною, що має певні радіаційні характеристики.

9. Контроль зміщення отворів у перфорації та міжшарових зварних швів, а також цілісності екрана та геометричних розмірів.

10. Заклучне зшивання пакета стрічкою по кромках капроновими нитками, не змінюючи товщину мата.

## РОЗДІЛ 10 ВИПРОБУВАННЯ РАКЕТ

Випробування й контроль займають значне місце при виробництві літальних апаратів, їх **загальною метою** є забезпечення заданої надійності, здатності до виконання в повному обсязі заданих функцій протягом періоду експлуатації та в умовах польоту. Контроль і випробування здійснюють на всіх етапах виробництва. Схема контролю й випробувань [1, 3, 4, 5] будується на принципах, які враховують специфіку конструкції, умови виробництва й експлуатації, вартість та ін.

Основні **принципи побудови програми випробувань** полягають у такому: випробування повинні забезпечувати достовірну інформацію і задану надійність при виготовленні літального апарата; усі випробування необхідно проводити за встановленими технологіями, вони повинні виявляти можливі дефекти на ранніх етапах виготовлення; програма випробувань повинна містити всі види навантажень, які діють у процесі експлуатації та в польоті, їхній рівень повинен забезпечити необхідний запас міцності, але не на багато перевищувати реальні умови; випробування повинні доповнюватися розрахунками, які дозволяють, не зменшуючи надійність виробу, скоротити обсяг випробувань.

**Основні види випробувань:** випробування на функціонування окремих систем, вузлів та ін.; статистичну міцність; герметичність [4];

динамічні навантаження, які поділяються на вібраційні, акустичні, ударні, інерційні, температурні, вакуумні та імітаційні тощо.

Випробування, що проводяться під час розробки та виготовлення виробів, поділяються на дослідницькі й контрольно-технологічні.

**Дослідницькі випробування** проводяться з метою визначення можливості реалізації нових конструкторських ідей, перевірки працездатності конструкції відповідно до технічного завдання й технічних вимог.

**Контрольно-технологічні випробування** підтверджують відсутність виробничих дефектів. Вони поділяються на випробування установочної партії, приймально-здавальні і контрольно-вибіркові.

**Випробування установочної партії** проводять на виробках, які не призначалися до експлуатації, але були виготовлені відповідно до затвердженої технології. Вони підтверджують стабільність та надійність технологічного процесу.

Метою **контрольно-вибіркових випробувань** є періодична перевірка стабільності технологічного процесу виготовлення й складання та відповідності виробів технічним вимогам.

Повністю виготовлений літальний апарат проходить заводські **приймально-здавальні випробування**, до яких належать: зовнішній огляд на відсутність пошкоджень, автономні випробування бортових приладів і систем автоматики, комплексні випробування, при яких перевіряється взаємодія бортових приладів і всіх систем, контроль кабельної мережі й комунікацій після випробувань.

Після заводських випробувань виробу проходять випробування на полігоні в монтажному корпусі, а також передстартову перевірку на стартовому обладнанні за спеціальними програмами. Після цього вони визнаються готовими до старту.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

### ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Які процеси вивчає технологія машинобудування?
2. З яких етапів складається процес створення будь-якої машини?
3. Які задачі розв'язує технологія машинобудування?
4. Чому технологія виробництва літальних апаратів є найбільш розвинутою галуззю технології машинобудування?
5. Що є виробничим процесом?
6. З яких процесів складається виробничий процес?
7. Що є технологічним процесом?
8. Що є основним елементом технологічного процесу?
9. Які ознаки визначають технологічну операцію?
10. Чим відрізняються основні технологічні операції від допоміжних?
11. З яких елементів складаються технологічні операції?
12. Чим характеризується технологічний перехід?
13. У чому полягають відмінності основних технологічних переходів від допоміжних?
14. Яке призначення має прийом?
15. Для чого потрібне установлення у складі технологічної операції?
16. Що таке позиція?
17. Чим пояснюється необхідність застосування матеріалів із спеціальними властивостями при виробництві літальних апаратів?
18. З яких причин при організації виробництва літальних апаратів використовують кооперацію?
19. Що зумовлює необхідність застосування швидкопереналаджуваного устаткування при виробництві літальних апаратів?
20. Який метод застосовують для забезпечення необхідної точності й взаємозамінності при виробництві елементів конструкції літальних апаратів?
21. Чому при виробництві вузлів літальних апаратів має місце великий обсяг випробувань?
22. Для чого при складальних роботах застосовують макети вузлів?
23. Яка основна мета технологічної підготовки виробництва?
24. Яким документом регламентуються заходи щодо технологічної підготовки виробництва?
25. З яких видів робіт складається технологічна підготовка виробництва?

26. Яка мета відпрацювання конструкції на технологічність під час підготовки виробництва?
27. На що спрямовані дії з удосконалення існуючих технологічних процесів під час підготовки виробництва?
28. Якими методами можна забезпечити перехід підприємства до випуску нових виробів?
29. Який із застосовуваних методів дозволяє скоротити терміни технологічної підготовки виробництва?
30. Який фактор є обмежувальним при виборі варіантів переоснащення виробництва?

### ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Чому проектування технологічних процесів характеризується багато-варіантністю?
2. Які стадії можна виділити при проектуванні технологічного процесу?
3. З яких етапів складається процес проектування технології механічної обробки?
4. Які початкові данні необхідні для проектування технологічних процесів обробки та складання?
5. Яке призначення робочого та складального креслення?
6. Яке призначення мають технічні умови?
7. Як визначається виробнича програма?
8. За яким критерієм визначається тип виробництва?
9. На що впливає тип виробництва?
10. У чому сутність критеріїв оптимізації технологічних процесів?
11. Від чого залежить ступінь деталізації розроблюваного технологічного процесу?
12. Що називають тактом випуску та як він визначається?
13. Який показник використовують при виборі заготовки?
14. На які види за методом одержання поділяють заготовки?
15. Якими методами одержують ливарні заготовки?
16. Якими методами одержують заготовки для тонкостінних оболонкових деталей?
17. Які види профілів з алюмінієвих сплавів одержують пресуванням?
18. Що називають маршрутною технологією?
19. Яку задачу розв'язує розробка маршрутної технології?

20. За якими методами визначають кількість операцій у маршрутній технології?
21. У яких випадках застосовують метод концентрації операцій?
22. На якому принципі оснований метод диференціації операцій?
23. За якими критеріями встановлюється послідовність операцій у маршрутному технологічному процесі?
24. Що називають припуском?
25. У чому різниця між операційним і проміжними припусками?
26. Якими методами визначають операційний та проміжні припуски?
27. З яких елементів складається припуск на обробку?
28. З яких елементів складається похибка встановлення заготовки?
29. Яким чином виконують базування?
30. Що називають базою та комплектом баз?
31. Чим відрізняється конструкторська база від технологічної?
32. За яким правилом виконується базування та як воно формулюється?
33. Що необхідно враховувати під час призначення режимів механічної обробки?
34. З яких елементів складається режим різання?
35. У якій послідовності виконується призначення режимів різання?
36. Які фактори є обмежувальними при призначенні глибини різання й подачі?
37. За якою формулою обчислюється швидкість різання?
38. Які параметри впливають на значення швидкості різання?
39. Що таке стійкість інструменту?
40. Які параметри впливають на силу різання?
41. За якими елементами режиму різання вибирають обробне устаткування?
42. З якою метою здійснюється нормування операцій?
43. У якій послідовності виконується розрахунок часу на обробку?
44. З яких елементів складається штучний час на обробку?
45. Що таке операційний час?
46. Як розраховується штучно-калькуляційний час?
47. Які критерії застосовуються для оптимізації розроблених технологічних процесів?
48. З яких елементів складається собівартість виробу?
49. Як визначається продуктивність технологічного процесу?
50. Які дії є завершальними при розробці технологічного процесу?

## ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Що таке якість виробу і якими показниками вона визначається?
2. Що називають точністю та як вона впливає на вартість виробу?
3. Яким чином забезпечується точність виготовлення?
4. Що таке похибка обробки?
5. У чому сенс послідовної обробки поверхні?
6. Які види похибок виникають під час обробки?
7. Які фактори зумовлюють виникнення систематичних операційних похибок?
8. Що таке стабільність технологічного процесу?
9. Які методи застосовуються для контролю стабільності технологічних процесів?
10. Якими способами забезпечується кінцева точність обробки?
11. Що називають розмірним ланцюгом?
12. З яких елементів складається розмірний ланцюг?
13. За якими ознаками класифікують розмірні ланцюги?
14. Якими методами розраховують розмірні ланцюги?
15. Якими методами забезпечують точність замикальної ланки розмірного ланцюга при складанні?
16. Що характеризує працездатність, які події призводять до її втрати?
17. Що таке надійність виробу?
18. Якими загальними показниками характеризується надійність виробу?
19. Яким чином забезпечується проектна, технологічна й експлуатаційна надійність виробу?
20. У чому сенс, переваги та недоліки резервування як способу підвищення надійності?

## ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Що характеризує взаємозамінність?
2. Які існують види взаємозамінності?
3. Якими методами забезпечується взаємозамінність?
4. Для яких елементів конструкції можна забезпечити взаємозамінність методом незалежного виготовлення?
5. У яких випадках взаємозамінність забезпечується методом залежного виготовлення?
6. У чому сенс плазо-шаблонного методу ув'язування розмірів і форм?
7. Що є основою для реалізації плазо-шаблонного методу?

8. За якими вимогами виготовляється плаз?
9. Що таке теоретичний плаз?
10. Для чого використовується конструктивний плаз?
11. Які види шаблонів застосовуються у плазо-шаблонному методі?
12. Для чого використовуються основні, виробничі й еталонні шаблони?
13. Які шаблони є основними?
14. Які шаблони є виробничими?
15. Які основні недоліки плазо-шаблонного методу?

### ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Що характеризує технологічність як економічне поняття?
2. Яких обмежень необхідно дотримуватися під час порівняння технологічності декількох варіантів конструкції?
3. Якими правилами необхідно керуватися для створення найбільш технологічних конструкцій з економічного погляду?
4. Що характеризує технологічність як сукупність властивостей?
5. Від яких факторів залежать вимоги до технологічності виробу?
6. За якими критеріями можна оцінити рівень технологічності виробу?
7. На підставі яких показників можна визначити кількісну оцінку рівня технологічності виробу?
8. Що є метою аналізу технологічності конструкції?
9. За якими принципами виконують технологічний контроль креслення конструкції?
10. З яких етапів складається аналіз конструкції на технологічність?

### ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 6

1. З яких основних конструктивних елементів складаються паливні баки?
2. З яких матеріалів виготовляються конструктивні елементи паливних баків?
3. Які основні технічні вимоги до конструкції паливних баків?
4. З яких етапів складається технологічний процес виробництва паливних відсіків?
5. Яку конструкцію можуть мати корпуси паливних баків?
6. Які елементи та в яких випадках застосовуються для підкріплення корпусу паливного бака?

7. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення корпусу паливного бака?
8. Якими методами одержують заготовки для корпусів баків?
9. Яким способом здійснюється формоутворення циліндричних або конічних елементів корпусу паливного бака?
10. Яким способом з'єднуються панелі або обшивки корпусу бака?
11. Яким способом з'єднуються обичайки корпусу бака?
12. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення днищ паливних баків?
13. Якими методами одержують заготовки для днищ баків?
14. З яких заготовок та якими методами виготовляють торцеві шпангоути?
15. За якими етапами виконується загальне складання паливного бака?
16. Які основні види випробувань передбачені при виготовленні паливних баків?
17. З яких матеріалів виготовляють трубопроводи?
18. Які основні заготовки використовуються для виготовлення гладких трубопроводів?
19. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення гладкого трубопроводу з безшовної трубчастої заготовки?
20. Яким критерієм обмежується радіус згинання при формоутворенні трубопроводів?
21. Які технологічні заходи застосовуються для запобігання утворенню гофрів при згинанні трубопроводів?
22. Які методи з'єднання трубопроводів з арматурою?
23. Які види контролю й випробувань застосовуються при виробництві гладких трубопроводів?
24. Які заготовки використовуються для виготовлення трубопроводів складної форми?
25. Якими методами виконують формоутворення елементів конструкції трубопроводу складної форми?
26. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення трубопроводів складної форми?
27. Які функції виконують тунельні трубопроводи в паливних баках?
28. Яку функцію виконують кільцеві рифти на поверхні тунельного трубопроводу?
29. Які заготовки використовуються для виготовлення тунельних трубопроводів?
30. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення тунельних трубопроводів?

## ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 7

- льного трубопроводу з листової заготовки?
31. Чому більш раціональною конструкцією є застосування тришарового трубопроводу окислювача замість тунельного трубопроводу з магистральним усередині?
  32. Які функції виконують сільфони?
  33. Які заготовки застосовуються для виробництва сільфонів?
  34. Якими коефіцієнтами характеризується конструкція сільфона?
  35. Якими методами здійснюють формоутворення сільфонів?
  36. З яких етапів складається технологічний процес формоутворення сільфонів механічним методом?
  37. З яких етапів складається технологічний процес формоутворення сільфонів гідромеханічним методом?
  38. Які основні недоліки механічного методу формоутворення сільфонів?
  39. Якими методами з'єднуються сільфони з арматурою?
  40. Які види випробувань виконують при виробництві трубопроводів і сільфонів?
  41. Які матеріали застосовуються для виготовлення кулебалонів високого тиску?
  42. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення кулебалонів?
  43. Чому для утворення півсфер із листових заготовок застосовують гаряче штампування?
  44. З якою метою виконується поверхнева механічна обробка півсфер після формоутворення?
  45. З яких матеріалів виготовляють штуцери?
  46. За допомогою чого здійснюється з'єднання півсфер зі штуцерами та іншою арматурою?
  47. З яких етапів складається технологічний процес зварювання штуцерів і півсфер?
  48. З яких етапів складається технологічний процес зварювання півсфер?
  49. З якою метою зварювання кулебалонів виконується в спеціальній камері?
  50. Які контрольні й випробувальні операції передбачені загальним технологічним процесом зварювання півсфер?

1. Які відсіки називають сухими?
2. З яких конструктивних елементів складаються сухі відсіки?
3. Чому основними матеріалами для виготовлення несучих елементів конструкції сухих відсіків є термічно зміцнювані алюмінієві сплави?
4. Чому основним способом з'єднання конструктивних елементів сухих відсіків є клепаання, а не зварювання?
5. Які методи клепаання застосовуються при складанні сухих відсіків?
6. Які основні етапи містить технологічний процес складання-клепаання сухих відсіків?
7. Що називають обшивкою?
8. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення обшивок?
9. Яким технічним вимогам повинні відповідати обшивки?
10. Які функції виконують стрингери?
11. Які заготовки використовуються для виготовлення стрингерів?
12. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення стрингерів із листової заготовки?
13. Які функції виконують шпангоути?
14. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення шпангоутів із листової заготовки?
15. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення шпангоутів із пресованих профілів?
16. Які етапи має технологічна схема складання-клепаання сухих відсіків?
17. За якими схемами може виконуватися стапельне складання?
18. Які роботи виконують на етапі стапельного складання?
19. Які роботи виконують на етапі позастапельного складання?
20. Які роботи виконують на етапі монтажу?
21. Які види контрольно-випробувальних робіт передбачені технологічним процесом складання-клепаання сухих відсіків?
22. У яких відсіках застосовуються фермово-каркасні конструкції?
23. З яких елементів складаються фермово-каркасні конструкції?
24. За якою схемою реалізується технологічний процес виготовлення фермово-каркасних конструкцій?
25. Які види контрольно-випробувальних робіт передбачені технологічним процесом складання фермово-каркасних конструкцій?

## ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 8

1. Які конструктивні елементи та системи входять до складу рідинної двигунної установки?
2. З яких конструктивних елементів складається камера рідинного ракетного двигуна?
3. Які етапи загального технологічного процесу складання камери рідинного двигуна?
4. З яких елементів складається форсункова головка?
5. Які матеріали використовують для виготовлення елементів конструкції форсункової головки?
6. Які загальні технічні вимоги до виготовлення форсункової головки?
7. Які етапи технологічного процесу складання форсункової головки?
8. Які основні операції містить технологічний процес виготовлення силового кільця форсункової головки?
9. Якими технологічними заходами забезпечується ідентичність розмірів середнього й нижнього днищ форсункової головки?
10. Якими методами одержують заготовки для днищ форсункової головки?
11. Яким чином забезпечується співвісність отворів у середньому й нижньому днищах для встановлення форсунок пального?
12. Які види форсунок можуть застосовуватись для подавання компонентів палива?
13. Яким чином здійснюється паяння форсунок?
14. З яких елементів складається оболонка камери двигуна з гофрованим простінком?
15. Яких загальних технічних вимог необхідно дотримуватись при виготовленні оболонки камери двигуна з гофрованим простінком?
16. Які етапи технологічного процесу складання оболонки камери двигуна з гофрованим простінком?
17. З яких заготовок та якими способами може виготовлятися внутрішня стінка камери двигуна з гофрованим простінком?
18. Які варіанти конструкції може мати сорочка камери двигуна?
19. Які функції виконує гофрований простінок?
20. Якими методами одержують елементи гофрованого простінка?
21. Якими способами можна наносити припай?
22. Яким чином виконується паяння камери двигуна з гофрованим простінком?

23. Які види контролю й випробувань передбачені технологічним процесом складання-паяння камери двигуна з гофрованим простінком?
24. Які особливості технологічного процесу виготовлення соплової частини камери двигуна з гофрованим простінком?
25. У чому полягає процес складання камери двигуна із сопловою частиною?
26. Чим зумовлені особливості технологічного процесу виготовлення камер трубочастої конструкції?
27. Якими методами одержують профільовані трубки, що утворюють охолодний тракт камери трубочастої конструкції?
28. За якими характеристиками камери трубочастої конструкції є досконалішими та технологічнішими, порівняно з камерами, які мають гофрований простінок?
29. З якою метою у процесі паяння здійснюється постійне обертання вузла, що паяється?
30. У середовищі яких газів може здійснюватися процес паяння?
31. Які матеріали застосовуються як припай?
32. Якими способами ремонтуються дефекти паяння трубчастих камер?
33. Які види контролю й випробувань передбачені технологічним процесом складання-паяння камери двигуна трубочастої конструкції?
34. Які особливості технологічного процесу складання оболонок камер із виштампуваннями?
35. Які особливості технологічного процесу складання оболонок камер із фрезерованими пазами?
36. У чому полягає процес загального складання камери двигуна?
37. Які функції виконують захисні покриття, що наносять на поверхні камери двигуна?
38. Якими методами наносять захисні покриття на поверхні камери двигуна?
39. Які матеріали застосовуються як захисні покриття?
40. Які види випробувань передбачені технологічним процесом загального складання камери двигуна?

## ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 9

1. З якою метою застосовують теплозахисні покриття?
2. На яких фізико-хімічних процесах базуються методи теплозахисту?
3. Яким чином реалізується примусові методи теплозахисту?
4. Якими процесами супроводжується абляційний теплозахист?

5. Які функції виконує зовнішнє теплозахисне покриття?
6. Яку конструкцію має зовнішнє теплозахисне покриття?
7. Які фактори діють на зовнішнє теплозахисне покриття на атмосферній частині траєкторії?
8. Які фактори необхідно враховувати при виборі системи та засобів захисту?
9. Які переваги абляційних покриттів у порівнянні з мінеральними теплозахисними матеріалами?
10. Які функції виконують сучасні захисні покриття крім теплозахисної?
11. Чому при виготовленні сучасних захисних покриттів застосовують велику кількість шарів із різних матеріалів?
12. Яким чином можна класифікувати теплозахисні покриття?
13. З яких етапів складався технологічний процес нанесення мінеральних теплозахисних покриттів?
14. За допомогою якого устаткування та якими методами здійснювався процес нанесення перших захисних покриттів на основі органічних сполучних?
15. Чому подальшим розвитком технології абляційного теплозахисту стало впровадження двошарових захисних покриттів?
16. З яких етапів складається технологічний процес нанесення двошарових захисних покриттів?
17. Чому конструкції захисних покриттів, виконані пошаровим викладенням, не технологічні?
18. Чому подальше вдосконалення й стабілізація властивостей захисних покриттів стали можливими тільки завдяки зменшенню впливу людського фактора та автоматизації процесів виробництва покриттів?
19. Яке обладнання застосовується при виробництві покриттів методом намотування?
20. З яких етапів складається технологічний процес намотування теплозахисного покриття?
21. Якими методами здійснюється отвердіння захисного покриття?
22. Які функції виконують теплоізоляційні покриття?
23. Які принципи покладено в основу системи теплоізоляції?
24. Які технічні вимоги до теплоізоляційних матеріалів?
25. З яких матеріалів виготовляються теплоізоляційні покриття?
26. З яких конструктивних елементів складається теплоізоляційне покриття?
27. За якими ознаками класифікують теплоізоляційні покриття?

28. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення теплоізоляційного покриття з поропласту?
29. Які функції виконує екранно-вакуумна ізоляція?
30. З яких етапів складається технологічний процес виготовлення екранно-вакуумної ізоляції?

## ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 10

1. Яка загальна мета контрольно-випробувальних робіт при виробництві літальних апаратів?
2. На яких принципах розробляється програма випробувань?
3. Які основні випробування виконуються в процесі виробництва систем, вузлів й агрегатів літальних апаратів?
4. Яка мета дослідницьких випробувань?
5. Які види випробувань є завершальними перед визнанням літального апарата готовим до експлуатації?



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технология производства космических ракет: Учебник /Е. А. Джур, С. И. Вдовин, Л. Д. Кучма и др. – Д.: Изд-во ДГУ, 1992. – 184 с.
2. Твердопаливні ракетні двигуни. Матеріали і технології: Підручник /Ф. П. Санін, Л. Д. Кучма, Є. О. Джур, А. Ф. Санін. – Д.: Вид-во ДДУ, 1999. – 320 с.
3. Никитин А. Н. Технология сборки двигателей летательных аппаратов: Учеб. для вузов. – М.: Машиностроение, 1982. – 269 с.
4. Герметичність у ракетно-космічній техніці: Підручник /Ф. П. Санін, Є. О. Джур, Л. Д. Кучма, В. А. Найдъонов. – Д.: Вид-во ДДУ, 1995. – 168 с.
5. Камалов В. С. Производство космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.
6. Шевчук Д. І., Убизький М. М., Ткачов Ю. В. Виробництво профілів із алюмінієвих сплавів: Навч. посіб. – Д.: ДДУ, 1999. – 64 с.
7. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб. – Д.: РВВ ДНУ, 2005. – 76 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. /Под ред. А. Г. Кошиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.; Т. 2. – 496 с.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А** довговічність, 30, 36, 60
- абляційні покриття, 87  
азботекстоліт, 88, 89
- Б**
- база, 20, 23  
базування, 22, 23, 24, 32, 41, 69, 70, 72  
безвідмовність, 30
- В**
- взаємозамінність, 9, 38, 39  
видатки, 28, 29  
види заготовок, 16  
вимоги до матеріалів, 92  
випробування, 3, 5, 9, 29, 46, 48, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 63, 69, 72, 73, 75, 77, 79, 84, 95, 96  
виробнича програма, 13  
виробничий процес, 5  
відмова, 36  
відсік, 64, 65  
властивості матеріалу, 26, 60
- Г**
- герметичність, 48, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 63, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 83, 84  
глибина різання, 25, 26, 27, 33  
гофри, 58, 59, 78
- Д** днище, 47, 53, 73, 74, 75
- Е** енергомісткість, 43
- З** заготовка, 6, 58, 60  
засоби механізації, 91  
збережність, 30, 36  
зварювання, 9, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 68, 72, 74, 77, 78, 79, 81, 83, 91, 95
- К** камера, 62, 63, 72, 73, 81  
клепання, 65, 68  
коефіцієнт використання матеріалу, 16  
конструктивний плаз, 40  
конструкторські бази, 20  
кооперація, 8  
корпус, 47, 48, 50, 52, 53  
критерії оптимізації, 13, 28  
крутний момент, 26  
кування, 17  
кулебалон, 63
- Л** ланка, 33  
лиття, 16, 17
- М** маршрутна технологія, 28

матеріаломісткість, 43  
методи одержання заготовок, 14, 16  
методи теплозахисту, 85, 86  
механічна обробка, 5, 40, 49, 51, 56, 57, 89, 90

## Н

надійність, 9, 24, 30, 36, 37, 54, 95, 96

## О

обичайка, 48  
обладнання, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 19, 20, 23, 24, 29, 33, 41, 44, 66, 91  
оболонка, 48, 70  
обшивка, 70  
операція, 6, 15, 20  
основний технологічний час, 26, 27, 28  
охолодження, 79, 82, 85, 86

## П

панелі, 18, 19, 69, 70, 90, 93, 94  
паяння, 75, 77, 79, 80, 82, 84  
переналадження виробництва, 8, 43  
перехід, 7, 61  
перехідник, 61  
півсфери, 18, 61  
плаз, 39, 40  
плазо-шаблонний метод, 39  
подача, 25, 26, 27  
позастапельне складання, 69  
позиція, 7

покриття, 63, 66, 67, 68, 71, 72, 79, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94

потужність різання, 26  
похибка, 31  
пошкодження, 36  
працездатність, 36, 37  
пресування, 17, 18, 19, 60  
прийом, 7  
принцип єдності баз, 24  
припай, 74, 77, 79, 82, 84  
припуск, 21, 23  
продуктивність, 15, 17, 27  
прокатування, 17, 18, 50, 67  
прохід, 7, 62

## Р

резервування, 38  
ремонтпридатність, 30, 36  
ресурс, 37  
річна програма випуску, 14, 15  
робоче креслення, 13, 45  
робоче місце, 6  
розкроювання, 40, 49, 51, 56, 65, 68, 89, 91, 94  
розмірний ланцюг, 33, 34

## С

сильфони, 59, 60  
складальне креслення, 13  
складання-зварювання, 49, 51, 52, 60, 61, 62, 65, 68, 72  
складання-клепання, 65  
собівартість, 42, 43, 44  
сортамент, 18  
стапельне складання, 69  
стрингери, 64, 67

## Т

такт виробництва, 15  
теоретичний плаз, 39  
теплозахист, 84, 85, 86  
теплоізоляція, 92, 93  
технічна досконалість, 30, 36  
технічні вимоги, 48, 55, 74, 76  
технічні умови, 12, 13  
технологічна підготовка виробництва, 9  
технологічний процес, 3, 5, 6, 15, 20, 31, 61, 62  
технологічність, 10, 24, 30, 37, 42, 43, 46, 48, 57, 70, 93  
технологія виробництва літальних апаратів, 3  
точність, 9, 16, 17, 20, 23, 24, 30, 33, 34, 35, 36, 41, 48, 54, 70, 72, 74, 76, 78  
точність обробки, 33  
трубопроводи, 48, 54, 56, 57, 59, 72  
трудомісткість, 9, 41, 43, 44, 45, 59, 71, 89

## У

установлення, 7, 24  
уточнення, 12, 13, 31, 33

## Ф

формування, 17, 50, 51, 52, 56, 61, 66  
форсункова головка, 73

## Ш

шаблон, 40  
швидкість різання, 25, 26  
шпангоути, 41, 64, 66, 67, 68, 70  
штампування, 9, 17, 52, 60  
штуцери, 55  
штучний час, 27

## Я

якість, 24, 25, 33, 36, 77, 81, 87, 90, 91

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                               |    |                                                                                          |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                                                    | 3  | засобів обчислювальної техніки.....                                                      | 41 |
| ЧАСТИНА I. ЗАГАЛЬНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ.....                                                                                                    | 5  | Розділ 5. Аналіз технологічності конструкцій.....                                        | 42 |
| Розділ 1. Особливості й загальна характеристика технології виробництва виробів ракетно-космічної техніки.....                                                 | 5  | 5.1. Технологічність як економічне поняття.....                                          | 42 |
| 1.1. Виробничий і технологічний процеси.....                                                                                                                  | 5  | 5.2. Технологічність як сукупність властивостей.....                                     | 43 |
| 1.2. Особливості літальних апаратів й енергетичних двигунних установок як об'єктів виробництва.....                                                           | 8  | 5.3. Аналіз технологічності конструкції.....                                             | 45 |
| 1.3. Технологічна підготовка виробництва.....                                                                                                                 | 9  | ЧАСТИНА II. СКЛАДАННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ РАКЕТНИХ СИСТЕМ.....                | 47 |
| Розділ 2. Загальні принципи побудови та вибору технології.....                                                                                                | 12 | Розділ 6. Виготовлення елементів конструкції паливної та пневмогідролічної систем.....   | 47 |
| 2.1. Завдання на проектування технологічних процесів, порядок розробки, стадії та етапи проектування технології ...                                           | 12 | 6.1. Виробництво паливних баків.....                                                     | 47 |
| 2.2. Початкові дані для проектування та критерії оптимізації технологічних процесів.....                                                                      | 13 | 6.1.1. Виготовлення корпусу бака.....                                                    | 48 |
| 2.3. Технологічні методи одержання заготовок.....                                                                                                             | 16 | 6.1.2. Виготовлення днищ.....                                                            | 51 |
| 2.4. Проектування маршрутної технології.....                                                                                                                  | 19 | 6.1.3. Загальне складання й випробування бака.....                                       | 52 |
| 2.5. Розрахунки й призначення припусків та проміжних розмірів.....                                                                                            | 21 | 6.2. Виготовлення й випробування трубопроводів.....                                      | 54 |
| 2.6. Рекомендації щодо вибору баз.....                                                                                                                        | 23 | 6.2.1. Виробництво гладких трубопроводів.....                                            | 54 |
| 2.7. Загальна схема призначення режимів різання для механічної обробки.....                                                                                   | 24 | 6.2.2. Виробництво трубопроводів складної форми.....                                     | 56 |
| 2.8. Нормування операцій технологічного процесу.....                                                                                                          | 27 | 6.2.3. Виробництво тунельних трубопроводів.....                                          | 56 |
| 2.9. Заключний аналіз технологічного процесу.....                                                                                                             | 28 | 6.2.4. Виробництво сільфонів.....                                                        | 57 |
| Розділ 3. Технологічні способи забезпечення якості виробів при виробництві літальних апаратів і двигунних установок. Надійність та довговічність виробів..... | 30 | 6.2.5. Контроль якості та випробування трубопроводів і сільфонів.....                    | 59 |
| 3.1. Якість виробу, похибки та їх причини.....                                                                                                                | 30 | 6.3. Виготовлення кулебалонів високого тиску.....                                        | 60 |
| 3.2. Методи контролю стабільності технологічних процесів.....                                                                                                 | 32 | Розділ 7. Виготовлення й складання корпусів сухих відсіків рідинних ракет.....           | 64 |
| 3.3. Забезпечення точності обробки та складання.....                                                                                                          | 33 | 7.1. Виготовлення обшивок.....                                                           | 65 |
| 3.4. Надійність та довговічність виробів.....                                                                                                                 | 36 | 7.2. Виготовлення силових елементів.....                                                 | 66 |
| Розділ 4. Взаємозамінність при виробництві літальних апаратів.....                                                                                            | 38 | 7.3. Складання-клепання сухих відсіків.....                                              | 68 |
| 4.1. Методи забезпечення взаємозамінності.....                                                                                                                | 38 | 7.4. Виготовлення фермово-каркасних конструкцій.....                                     | 71 |
| 4.2. Плазо-шаблонний метод ув'язування форм і розмірів виробів.....                                                                                           | 39 | Розділ 8. Виробництво рідинних ракетних двигунів.....                                    | 72 |
| 4.3. Незалежне ув'язування форм і розмірів із використанням                                                                                                   |    | 8.1. Основні конструктивні елементи й схема виготовлення рідинних ракетних двигунів..... | 72 |
|                                                                                                                                                               |    | 8.2. Виготовлення й складання форсунової головки.....                                    | 74 |
|                                                                                                                                                               |    | 8.3. Виготовлення оболонки камери двигуна з гофрованим простінком.....                   | 76 |
|                                                                                                                                                               |    | 8.4. Особливості виготовлення трубчастих камер.....                                      | 81 |
|                                                                                                                                                               |    | 8.5. Особливості виготовлення камер із виштампуваннями й фрезерованими пазами.....       | 83 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.6. Загальне складання камери двигуна .....                                                 | 84  |
| Розділ 9. Виробництво теплозахисних і теплоізоляційних покриттів .....                       | 85  |
| 9.1. Основні методи теплозахисту.....                                                        | 85  |
| 9.2. Виготовлення теплозахисних покриттів головних частин та аеродинамічних обтічників.....  | 86  |
| 9.2.1. Конструктивні особливості та умови роботи теплозахисних покриттів .....               | 87  |
| 9.2.2. Функції покриттів та застосовувані матеріали .....                                    | 88  |
| 9.2.3. Технологія виготовлення теплозахисних покриттів .....                                 | 89  |
| 9.3. Виготовлення теплоізоляції.....                                                         | 92  |
| 9.3.1. Призначення та функції теплоізоляційного покриття .....                               | 92  |
| 9.3.2. Конструктивні особливості та технологія виробництва теплоізоляційних матеріалів ..... | 93  |
| Розділ 10. Випробування ракет.....                                                           | 95  |
| КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....                                                                      | 97  |
| Питання до розділу 1.....                                                                    | 97  |
| Питання до розділу 2.....                                                                    | 98  |
| Питання до розділу 3.....                                                                    | 100 |
| Питання до розділу 4.....                                                                    | 100 |
| Питання до розділу 5.....                                                                    | 101 |
| Питання до розділу 6.....                                                                    | 101 |
| Питання до розділу 7.....                                                                    | 104 |
| Питання до розділу 8.....                                                                    | 105 |
| Питання до розділу 9.....                                                                    | 106 |
| Питання до розділу 10.....                                                                   | 108 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                                        | 109 |
| ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....                                                                     | 110 |

Темплан 2006, поз. 9'

Навчальне видання

Євген Юрійович Ніколенко  
Юрій Валентинович Ткачов

## **ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Навчальний посібник

Редактор М. Г. Матрос  
Техредактор Л. П. Замятіна  
Коректор Т. А. Андреева

---

Підписано до друку 31.01.06. Формат 60×84/16. Папір друкарський. Друк плоский.  
Ум. друк. арк. 6,74. Ум. фарбовідб. 6,74. Обл.-вид. арк. 7,57.  
Тираж 200 прим. Зам. № 185.

---

РВВ ДНУ, вул. Наукова, 13, м. Дніпропетровськ, 49050.  
Друкарня ДНУ, вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050