



Державне підприємство
"Конструкторське бюро "Південне" ім. М.К. Янгеля"

**МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ
РАКЕТ-НОСІЇВ ТА КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ. НЕРУЙНІВ-
НИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВИРОБІВ
РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

Навчально-методичний посібник

[И.О. Фами-
лия]

[И.О. Фамилия]

[Должность]

[Должность]

Розробники

Провідний науковий співробітник,
д.т.н., професор МАНЬКО Т.А.

Провідний науковий співробітник,
д.т.н., старший дослідник ГУСАРОВА І.О.

д.т.н.

ЗМІСТ

1. Основні властивості виробів ракетно-космічної техніки. Характеристики матеріалів, які застосовано в їх конструкціях	3
2. Будова металевих матеріалів сучасних та перспективних РН	9
3. Методи керування властивостями металевих матеріалів та їх вплив на технологію виготовлення агрегатів і систем ракетно-космічної техніки	16
4. Металеві матеріали, які використовують в РКТ. Сплави алюмінію для агрегатів і систем вітчизняної ракетно-космічної техніки	21
5. Сплави заліза (чавуни, сталі), що застосовано під час проектування сучасних виробів ДП «КБ «Південне»	29
6. Сплави титану та кольорові сплави для вітчизняних РН та ОТРК	36
7. Технології виготовлення агрегатів і систем ракетно-космічної техніки з металів та сплавів	43
8. Види неметалевих матеріалів, які використовуються у ракетно-космічної техніці. Загальні поняття про полімерні композиційні матеріали (ПКМ)	57
9. Методи виготовлення конструкцій з ПКМ	65
10. Сучасні технології виготовлення конструкцій з ПКМ	78
11. Теплозахисні і теплоізоляційні матеріали і покриття	87
12. Технології та обладнання для виготовлення великогабаритних конструкцій з вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів	95
13. Технологія виготовлення стільникових конструкцій. Технологічні особливості використання клеїв, герметиків і пінопластів	101
14. Аналізи і методи визначення якості матеріалів і конструкцій з полімерних композиційних матеріалів	111
15. Неруйнівний контроль якості. Основні методи неруйнівного контролю	119
16. Технологія забезпеченням чистоти виробів РКТ на заводі-виробнику, космодромі, навколишньому середовище	125
Використана література	132

1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИРОБІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ ЗАСТОСОВАНИХ В ЇХ КОНСТРУКЦІЯХ.

Серед головних завдань розвитку сучасної ракетно-космічної техніки перше місце посідає вирішення проблеми корисного навантаження, яке доставляють до мети або виводять на задану орбіту з мінімальною стартовою масою ракети. На другому місці - удосконалення твердопаливних двигунів, на третьому - матеріали і на четвертому - технологія. Але коли добре проаналізувати, то виявиться, що дві перші проблеми не можуть вирішуватися поза увагою до третьої і четвертої.

Питання конструкції та технології виробництва багатоступневих ракет-носіїв, систем та агрегатів РКТ потребують комплексного підходу на етапах ескізного та робочого проектування та прийняття конструкторсько-технологічних рішень, які повністю задовольняють вимогам технологічності, та за реальних умов виробництва забезпечують необхідну якість і мінімальні витрати трудових, коштовних та матеріальних засобів.

Ефективність створення виробів РКТ являє собою відношення трудових і матеріальних затрат на виробництво та підтримку працездатності апарата до ефективності його дії або показника продуктивності праці під час створення. Тому поняття «технологічність» має велике значення для оцінки конструкції носія з точки зору інтересів виробництва. При залученні технології під час проектування конструкції апарата вирішуються питання з розподілу апарата на агрегати, відсіки і панелі, вибору конструкції з'єднань, вибору конструкційних матеріалів з заданими якістю і програмою випуску при виробництві, експлуатацією і ремонті. Правильний вибір матеріалів є визначальним при проектуванні та виробництві виробів РКТ.

Матеріали – це речовини, чиї властивості роблять їх корисними в конструкціях, машинах, пристосуваннях чи продуктах. Матеріали ракетно-космічної техніки – це, речовини, з яких складаються вироби ракетно-космічної техніки, головними з яких є ракети-носії та космічні апарати.

Сучасні носії космічних апаратів мають жорсткі параметри роботи: високі швидкості польоту супроводжуються великими перевантаженнями та вібрацією, високі температури в камері згоряння і на поверхні обтічників, високі тиски, високі швидкості течії компонентів палива в магістралях і гарячих газів із камер згоряння, що супроводжується ерозійним впливом на поверхні деталей, активність компонентів палива викликає ерозійні пошкодження. Напружений режим роботи конструкції, її агрегатів та вузлів потребує застосування нових конструкційних матеріалів зі специфічними властивостями, такими як висока міцність, мала вага, корозійна та ерозійна стійкість. Цим вимогам насамперед задовольняють металеві матеріали. Тому більшість конструкцій ракет-носіїв (рідинні реактивні двигуни, баки пального, міжступеневі відсіки, головний обтічник та ін.) виготовлено саме з металевих матеріалів, що можна продемонструвати на прикладі виробу «Циклон», що розроблено ДП КБ «Південне» (рис. 1.1).



а - ракета-носіє «Циклон-1М»



б - металеві відсіки ракет-носіїв у цеху збирання ПО «Південний машинобудівний завод»

Рисунок 1.1. Склад ракети-носія «Циклон-1М».

КЛАСИФІКАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ

Матеріали, з яких виготовляють вироби ракетно-космічної техніки, пристосування, елементи різних конструкцій, інструменти, а також матеріали, здатні витримувати значні механічні навантаження називають **конструкційними**.

За природою матеріали поділяють на металеві, неметалеві і композиційні. До металів належить більшість (понад 80) елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва. Їх умовно поділяють на **чорні і кольорові**. **Чорні метали** – це залізо і сплави на його основі (чавун, сталь, феросплави). З чорних металів виготовляються в основному наземні споруди для обслуговування та запуску виробів РКТ. Найбільш уживаними у виробі ракетно-космічної техніки серед **кольорових металів** є легкі (Al, Mg, Ti). Зі сплавів алюмінію виготовляють баки та сухі відсіки ракет-носіїв, силові елементи конструкції супутників. Металам притаманні особливий блиск, непрозорість, а також фізичні, хімічні, механічні та інші технологічні властивості (тепло- і електропровідність, ковкість та ін.). Цим вони відрізняються як від елементарних неметалів таких, як вуглець, сірка, фосфор, так і від складних – скла, паперу, гуми, кераміки, пластмас. Неметалеві матеріали застосовуються в виробі РКТ для теплоізоляції, виготовлення конструкційних пластмасових елементів, ущільнювачів та ін.

Композиційні матеріали (композити) виготовляють об'єднанням хімічно різнорідних компонентів. Вони складаються переважно з пластичної металевої або неметалевої сполучної основи і армуючих добавок у вигляді порошків, волокон або шарів. Монолітне з'єднання основи і зміцнювачів забезпечує композитам кращі властивості, ніж їх мають складові компоненти. Зміна кількісного співвідношення між складовими композитів дозволяє більше змінювати їх властивості. Так, алюміній можна зробити значно міцнішим, гуму – електропровідною чи магнітною, пластмасу – вогнестійкою. Типовими представниками композитів є металокераміка, склопластики, вуглеметалопластики. В РКТ широко застосовуються вуглепластики (корпуси твердопаливних двигунів, конструкційні та теплозахисні конструкції супутників), та вуглець-вуглецеві матеріали (вкладиш критичного перерізу).

Можливість використання матеріалу для виготовлення виробів ракетно-космічної техніки визначається його складом, будовою, структурою, і як наслідок властивостями. Властивості матеріалів являють собою об'єктивну особливість, надану від природи чи в процесі виробництва, що проявляється при експлуатації. Основні групи властивостей: хімічні, фізичні, механічні, біологічні, функціональні, ергономічні, гігієнічні, естетичні тощо. Більшість властивостей пов'язані між собою і визначаються природою і будовою матеріалу.

На матеріали виробів РКТ під час експлуатації впливають такі основні фактори: механічне навантаження, вплив високих та низьких температур; вплив зовнішнього середовища (повітря, вакуум), вплив чинників космосу для матеріалів космічних апаратів.

Основні вимоги до матеріалів, які використовуються у ракетно-космічному виробництві: жаростійкість, жароміцність, мала питома маса, висока корозійна стійкість; механічна міцність; задовільні теплові характеристики; вологостійкість.

Таким чином, під час вибору матеріалів для застосування у виробі РКТ необхідно аналізувати їх властивості.

Хімічні властивості – характеризують відношення матеріалу до дії різних середовищ. Хімічні властивості слід враховувати при виготовленні виробів ракет-носіїв, що зазнають вплив кисню повітря при високих температурах, та космічних апаратів, що експлуатуються під час дії радіаційного випромінювання. До них відносять:

- *корозійна стійкість* – здатність матеріалу опиратися хімічному та електрохімічному впливу середовища, тобто його частковому розчиненню;
- *жаростійкість* – здатність матеріалу зберігати експлуатаційні характеристики, цілісність, протистояти окисленню при високих температурах
- *радіаційна стійкість* - здатність матеріалу зберігати властивості під час дії радіаційного випромінювання.

Фізичні властивості – це внутрішні, притаманні даному матеріалу чи речовині особливості, що зумовлюють його різницю чи спільність з іншими речовинами чи матеріалами, і що прояв-

ляються як відповідна реакція на дію зовнішніх фізичних полів чи середовищ. Фізичні властивості поділяють на групи в залежності від виду фізичного впливу.

Фізичні властивості, що характеризують зміну агрегатного стану матеріалу.

Температура – фізична величина, що характеризує стан термодинамічної рівноваги системи. Температура незалежно від маси і хімічного складу характеризує енергію руху молекул. Зі зміною температури відбувається зміна агрегатного стану речовини. Розрізняють:

- *температура плавлення ($T_{пл}$)* – температура переходу кристалічного матеріалу в рідкий стан при постійному зовнішньому тиску;
- *температура кристалізації (затвердіння) ($T_{кр}$)*
– температура переходу з рідкого стану в твердий кристалічний стан матеріалу;
- *температура кипіння ($T_{ки}$)* – температура рівнісного переходу рідини в газовий стан при постійному зовнішньому тиску.

Термічні властивості

Термічні властивості характеризують поведінку матеріалу при дії на нього теплової енергії. Вони мають практичне значення при оцінці якості матеріалу, що піддається в процесі експлуатації нагріванню та охолодженню.

Теплоємність – характеризує кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання матеріалу на 1°C в певному інтервалі температур.

Теплопровідність – здатність матеріалу передавати теплоту з середини, чи від однієї поверхні матеріалу до іншої, чи назовні. Залежить від хімічного складу, структури, пористості, вологості. Теплопровідність має практичне значення при виборі теплоізоляційних матеріалів, трубопроводів, багатьох будівельних матеріалів.

Термічне розширення характеризує здатність матеріалу змінювати свої розміри при збільшенні (зменшенні) температури. Враховується для вогнестійких матеріалів, силікатних, керамічних. Поділяється на лінійне та об'ємне розширення.

Термічна стійкість – здатність матеріалу зберігати свої властивості при різких коливаннях температури. Має значення при оцінці якості вогнестійких матеріалів, скла, кераміки, надає значного впливу на їх довговічність.

Вогнестійкість характеризує здатність матеріалу опиратися загорянню та дії вогню. Матеріали поділяють на не горючі, важко горючі, легко горючі.

Характеристики маси

Важливою характеристикою матеріалу є *маса*, що є його кількісною мірою. Так для однорідної системи маса характеризує число структурних елементів (атомів, молекул, іонів), які є в термодинамічній системі та її будову. Для неоднорідних речовин використовують поняття *щільність* або *густина* – міра кількості речовини в одиниці його об'єму :

$$\gamma (\rho) = m/V[\text{кг/м}^3].$$

Об'ємна маса (ρ_0) – маса одиниці об'єму пористих тіл.

Насипна маса (ρ_n) – маса одиниці об'єму вільно насипаних дисперсних матеріалів (цемент, пісок).

Пористість (Π) – співвідношення щільності матеріалу до його об'ємної маси:

$$\Pi = (1 - \rho_0) \cdot 100 / \rho, [\%]$$

Від пористості матеріалу залежать водопоглинання, морозостійкість, теплопровідність, міцність.

Фізичні властивості, що характеризують здатність матеріалів взаємодіяти з потоками мас і випромінювань.

Велика кількість матеріалів здатні взаємодіяти з потоками мас (повітря, газу, пару) та випромінювань (світла, звуку). При цьому проявляється їх відбивна здатність, проникність і поглинання. Розглянемо деякі з цих властивостей.

Водопроникність характеризує здатність матеріалу пропускати воду при певному тиску.

Паропроникність характеризує здатність матеріалу пропускати пар з середовища з меншою до середовища з більшою вологістю.

Повітропроникність (газопроникність) – здатність матеріалу пропускати повітря при різному тиску по обидві сторони.

Пилопроникність характеризує здатність пропускати дисперсні частки пилу. Кількісно ці властивості характеризуються відповідними коефіцієнтами. Вони в основному залежать від будови і структури матеріалу і тісно пов'язані з відношенням матеріалу до води.

Вологість характеризується кількістю води, що вміщується в матеріалі.

Гігроскопічність – здатність матеріалу поглинати вологу з навколишнього середовища.

Водопоглинення (водонасичення) – властивість матеріалу при безпосередній взаємодії з водою, всмоктувати та утримувати її в своїх порах.

Водостійкість – відношення матеріалу до дії вологи при різних температурах і тиску, зберігаючи при цьому свою міцність.

Морозостійкість характеризує здатність матеріалу насиченого водою, зберігати свої властивості без ознак руйнування при поперемінному заморожуванні.

Звукопоглинання – здатність матеріалу поглинати звук. Різновидами звукових властивостей є звукоізоляція та звукопроникність.

Електричні властивості

Електричні властивості – це сукупність властивостей, що характеризують здатність матеріалу проводити електричний струм в електричному полі. До електричних властивостей (особливо металевих) відносять:

- *електропровідність* (γ) – здатність матеріалу пропускати електричний струм під дією електричного поля. Визначається наявністю рухливих носіїв зарядів. За цією ознакою матеріали поділяють на провідники, напівпровідники та діелектрики;

- *електричний опір* (ρ) – властивість матеріалу протидіяти електричному струму при заданій напрузі електричного поля;

- *магнітність* – здатність матеріалу намагнічуватись. В залежності від орієнтації магнітних моментів матеріали можуть бути феромагнетиками (магнітними), парамагнетиками (слабо магнітними) та діамагнетиками (немагнітними).

Механічні властивості

В процесі експлуатації матеріали піддаються стискуванню, розтягання, згинання, крученню, удару та іншим навантаженням. Під механічними властивостями розуміють характеристики матеріалу, які визначають його поведінку під дією прикладених зовнішніх механічних сил. Механічні властивості визначають зміну форми, розмірів і суцільності матеріалів при механічному впливі, а значить, і результат надійності при використанні чи експлуатації. Механічний вплив характеризують по напрямленню, тривалості та області дії.

По *направленню* розрізняють лінійні навантаження (розтяг, стискання) кутові чи дотичні (згинання, кручення, зсув, зріз).

По *тривалості*, в залежності від характеру прикладання навантаження розрізняють механічні властивості, що визначаються при статичних та динамічних навантаженнях. *Статичними* називають випробування, при яких навантаження, що прикладається до матеріалу, зростає поступово. При *динамічних* випробуваннях навантаження прикладається раптово з максимальним значенням.

По *області дії* – об'ємні та поверхневі навантаження.

Основними механічними властивостями матеріалів є міцність, пластичність, еластичність, жорсткість, твердість, пружність, крихкість, в'язкість.

Міцність – це здатність матеріалу опиратися дії навантаження без руйнування. Міцність матеріалу обумовлена силами взаємодії між їх структурними складовими елементами (атомами, молекулами). Міцність оцінюється показником – границя міцності (рис. 1.7). Визначається границя міцності відношенням руйнуючого навантаження P до первісної площі перерізу F_0 зразка. При випробуваннях на розтяг границя міцності (границя тимчасового опору) позначається $\sigma_{т.о.}$.

$$\sigma_{т.о.} = \frac{P}{F_0}.$$

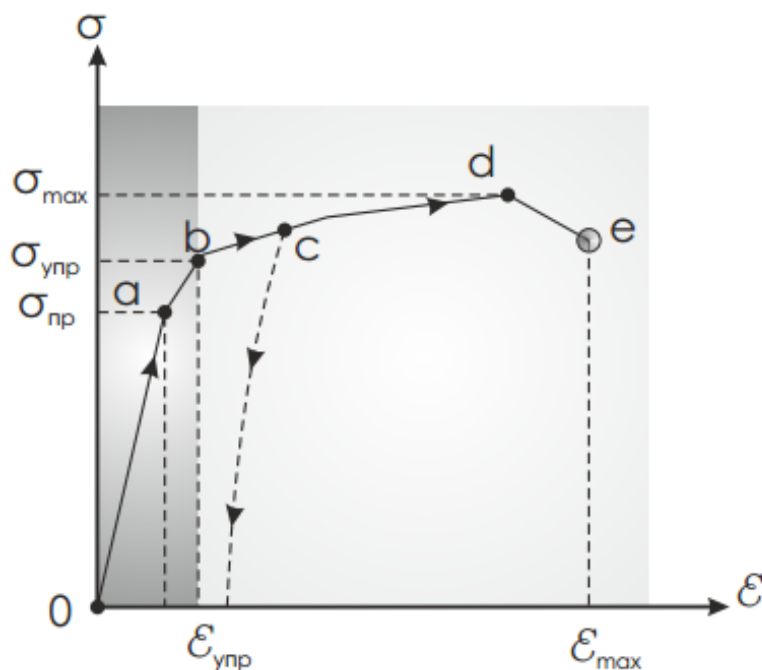


Рисунок 1.7. Діаграма розтягування

Границю міцності розрізняють при випробуваннях на стиск (σ_c), згинання ($\sigma_{зг}$), кручення ($\sigma_{кр}$) тощо.

Пластичність – це здатність матеріалу деформуватися без руйнування, з подальшим збереженням набутої форми та розмірів, при зовнішніх навантаженнях. Пластичність може оцінюватися різними показниками. Так для випробувань на розтяг визначається відносьне подовження:

$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o} \cdot 100\%$$

та відносьне звуження:

$$\psi = \frac{F_o - F_k}{F_o} \cdot 100\%$$

Еластичність – здатність матеріалу потерпати значні зміни розмірів і форми без руйнування при досить слабких діючих силах.

Пружність – це здатність деформованого матеріалу відновлювати первісну форму, розміри після припинення дії зовнішнього навантаження. Обумовлена пружність взаємодією між атомами (молекулами матеріалу та їх тепловим рухом. Характеризується пружність матеріалу показниками:

- модулем поздовжньої пружності E (Модуль Юнга), який ще визначає жорсткість матеріалу і характеризує опір матеріалу пружній деформації;
- модулем зсуву G – характеристикою зсуву кристалографічних площин твердих тіл при появі дотичних напружень;
- коефіцієнт Пуассона μ – відношення зміни поперечного перерізу до зміни довжини зразка.

Жорсткість – здатність матеріалу до найменших змін розмірів і форми при заданому значенні та типі навантаження.

В'язкість (внутрішнє тертя) – здатність матеріалів опиратися внутрішнім змінам при зовнішньому впливі.

Ударна в'язкість – здатність матеріалу поглинати механічну енергію в процесі деформації або руйнування при динамічних навантаженнях. Зазвичай оцінюється роботою до руйнування надрізаного зразка при ударному згинанні, віднесеній до площі перерізу при надрізі. навантаження.

Для рідких та газових матеріалів це *текучість* всередині об'єму при збільшенні молекулярної маси чи просторових структур, що утворюються при зчепленні часток чи макромолекул.

Твердість – це здатність матеріалу опиратися деформації при поверхневій контактній дії. Характеризується твердість числом відповідної шкали. Для визначення твердості існує декілька методів: шкрябання, вдавлювання, удару, згасання коливань та проколу голкою. Всі вони засновані на дії наконечника на дослідний зразок. Твердість пов'язана з показниками інших властивостей і тому її визначення використовують як метод визначення інших властивостей.

В багатьох випадках при експлуатації виробів на них діють довготривалі навантаження повторно-перемінного характеру. Такі навантаження називають *циклічними* чи *знако-перемінними*. Поступове накопичення ушкоджень в матеріалі під дією циклічних навантажень, що можуть приводити до утворення тріщин чи руйнування називають *втомою*, а властивість матеріалів опиратися втомі – *витривалістю*.

При оцінці механічних властивостей матеріалів їх розділяють на групи, що характеризують умови випробувань:

1 група – стандартні механічні властивості, що визначаються стандартними випробуваннями гладких зразків, незважаючи на конструктивні особливості і характер служби виробу при н.у.

2 група – критерії конструктивної міцності (працездатності в умовах експлуатації) матеріалу, що визначаються стандартними випробуваннями гладких чи з гострими тріщинами зразків в умовах експлуатації (робочі температури).

3 група – критерії конструктивної міцності виробу в цілому, що визначаються при стендових, натурних чи експлуатаційних випробуваннях.

Запитання для самоперевірки:

1. Які ви знаєте сучасні вироби ДП КБ «Південне»?
2. Які матеріали використовуються у виробі РКТ ДП «КБ «Південне»?
3. Класифікація матеріалів.
4. Основні експлуатаційні фактори, актуальні у ракетно-космічному виробництві?
5. Основні вимоги до матеріалів, які використовуються у ракетно-космічному виробництві?
6. Якими основними типами властивостей характеризуються матеріали?
7. Які характеристики визначають механічні властивості матеріалів?
8. Які характеристики визначають фізичні властивості матеріалів?
9. Які характеристики визначають хімічні властивості матеріалів?

2. БУДОВА МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У СУЧАСНИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ РН

Матеріали складаються з великої кількості дрібних рухомих частинок, які, в свою чергу, складаються з надзвичайно малих атомів. Кожен атом має у своєму складі ядро й електрони. Електрони обертаються навколо ядра. Ядро атома складається з позитивно заряджених протонів і нейтронів. Сукупність атомів, що мають однаковий заряд ядра, називаємо хімічними елементами. Атоми здатні існувати самостійно або групуватися в молекули. Сполучення атомів або молекул утворюють найрізноманітніші речовини, які поділяються на прості й складні. Прості речовини (залізо, мідь, кисень та ін.) складаються з атомів або молекул одного елемента, а складні речовини (сталь, латунь, вуглекислий газ та ін.) – із сполучення атомів двох і більше елементів. У природі складних речовин значно більше, ніж простих.

Взаємодія структурних частинок речовини, що обумовлює його внутрішню будову, називається зв'язком.

В матеріалах можуть реалізовуватися наступні види *хімічного* зв'язку:

- *ковалентний* – здійснюється парою електронів, що знаходяться в сумісному володінні двох атомів, утворюючих зв'язок (H_2 , Cl_2 , H_2O , NH_3);
- *іонний* зв'язок – заснований на електростатичній взаємодії між протилежно зарядженими іонами. Іонний зв'язок характерний для з'єднань металів з типовими металоїдами ($NaCl$, Al_2O_3);
- *металевий* зв'язок – викликається наявністю вільно рухомих електронів, що здійснюють колективну взаємодію атомів і утримуючих їх на певних відстанях один від одного. Характерний як для чистих металів, так і для металевих сплавів;
- *водневий* зв'язок – зв'язок атомів компонентів А і В за участю атома водню;
- *молекулярний* зв'язок характеризується взаємодією нейтральних молекул (або атомів) на основі слабких електростатичних сил. Молекулярний зв'язок характерний для атомів з електронними оболонками, що відносно легко деформуються, і для тих, що об'єдналися в молекули атомів, здібних до деформації зовнішніх з'єднаних оболонок (більшість полімерів, органічних речовин).

Залежно від внутрішньої будови всі тверді речовини поділяються на **кристалічні та аморфні**. **Аморфні** речовини (віск, скло та ін.) характеризуються хаотичним розташуванням атомів і молекул, а в кристалічних атоми розміщуються в певному порядку.

За агрегатним станом речовини є тверді, рідкі, газові, плазма. Агрегатний стан речовини визначається характером сил взаємодії між її структурними частинками (атомами, молекулами або іонами). Зміна характеру і величини цих сил приводить до зміни агрегатного стану.

Спільним для будови всіх матеріалів є прагнення до самоорганізації (впорядкованого розташування) всіх часток, що є прямим наслідком основного закону природи: *стійким є такий стан системи, при котрому її енергія буде мінімальна*. Утворення кристалів чи молекул з ізольованих атомів чи багатоатомних груп пов'язане зі зниженням енергії системи, і як наслідок, збільшенням її стійкості. Самоорганізація речовин може бути представлена як впорядкування його структурних часток. Впорядкування на відстанях, порівняльних з міжатомними, називається *ближнім* порядком, а впорядкування на необмежено великих відстанях – *дальнім* порядком. Наявність виду впорядкування обумовлено силами міжатомної взаємодії.

Фази та фазові перетворення.

Характеристика матеріалів за їх агрегатним станом не дозволяє враховувати алотропію чи поліморфізм матеріалів. *Алотропія* – це існування хімічних елементів у вигляді двох чи більш простих речовин (наприклад: кисень O_2 – озон O_3). *Поліморфізм* – здатність одного й того ж матеріалу мати різну кристалічну будову. Кожен зі станів називається *поліморфна модифікація*. Починають поліморфні модифікації – α , β , γ , δ ... із збільшенням температури. Різниця в будові поліморфних модифікацій матеріалу зумовлює різницю їх властивостей. Поліморфізм має велика кількість матеріалів: кварц, вуглець, залізо, титан тощо. Поліморфна модифікація стійка в області ви-

значених температур і тиску, поза якими вона стає нестійкою і потерпає перетворення, що називається поліморфним. Для однозначної характеристики речовин з врахуванням його можливих поліморфних модифікацій необхідно описувати особливості його атомної (молекулярної) будови. Таку можливість дає використання поняття – *фаза*.

Фаза – термодинамічний рівноважний стан матеріалу (речовини), який характеризується агрегатним станом, атомним складом і будовою, і відділений границями від інших станів (фаз) того ж матеріалу. Кожен матеріал складається з однієї чи більше фаз (твердих, рідких чи газових) і однозначно характеризується фазовим складом, що утворюється внаслідок зміни енергії системи за різних обставин. Зміни в фазовому складі матеріалу викликаються фазовими перетвореннями.

Фазове перетворення (перехід) – перетворення матеріалу з однієї фази в іншу при зміні зовнішніх умов температури, тиску, магнітних чи електричних полів та інш. Причому значення фізичної величини при якому відбувається фазовий перехід, називають точкою фазового перетворення (переходу). Фазові перетворення розглядаються по характеру їх протікання як перетворення *першого і другого роду*.

Фазові перетворення першого роду – при яких деякі фізичні величини (щільність) чи термодинамічні характеристики змінюються стрибком, і при цьому виділяється чи поглинається теплота фазового перетворення. До цього виду перетворень відносять випарювання – конденсацію, плавлення – затвердіння, сублімація – конденсація в тверду фазу, та деякі структурні переходи в твердих тілах.

Фазові перетворення другого роду – при яких щільність, ентропія та термодинамічні потенціали не змінюються стрибкоподібно, а теплоємність та теплове розширення фаз змінюються стрибком. До фазових перетворень другого роду відносять: перетворення парамагнетик – феромагнетик, перехід в над провідниковий стан, поляризація речовини, при цьому теплота не виділяється.

Дамо характеристику основних фазових перетворень.

Рідкий ↔ газовий стан: Фазове перетворення рідкого стану в газовий (*пароутворення*) і зворотне (*конденсація*) відбуваються при певній температурі і сильно залежать від тиску при *кип*. Рідина може переходити в газовий стан при температурі нижчій за кипіння. Такий процес називають випарювання.

Твердий ↔ рідкий стан: Процес переходу з твердого (кристалічного) до рідкого стану називають *плавленням*, а зворотній процес – *кристалізацією*. Тверді речовини утворюються з рідких чи газових по мірі зниження температури шляхом зближення атомів (молекул) і їх групування в кристал (центр кристалізації). Швидкість охолодження, кількість центрів кристалізації та швидкість їх росту визначають будову твердої речовини: кристалічне, аморфне чи скловидне.

Враховуючи можливість фазових перетворень кристалічних речовин в твердому стані розрізняють первинну і вторинну кристалізацію.

Первинна кристалізація - перехід з рідкого стану до твердого із затвердінням. Вона починається при досягненні деякої граничної температури, яка характеризує переохолодження рідини чи насичення пару, тоді практично миттєво виникає значна кількість центрів кристалізації. З часом ці центри зростають, приєднуючи до себе інші атоми чи молекули рідини, утворюючи полікристали чи зерна. (рис. 2.1).

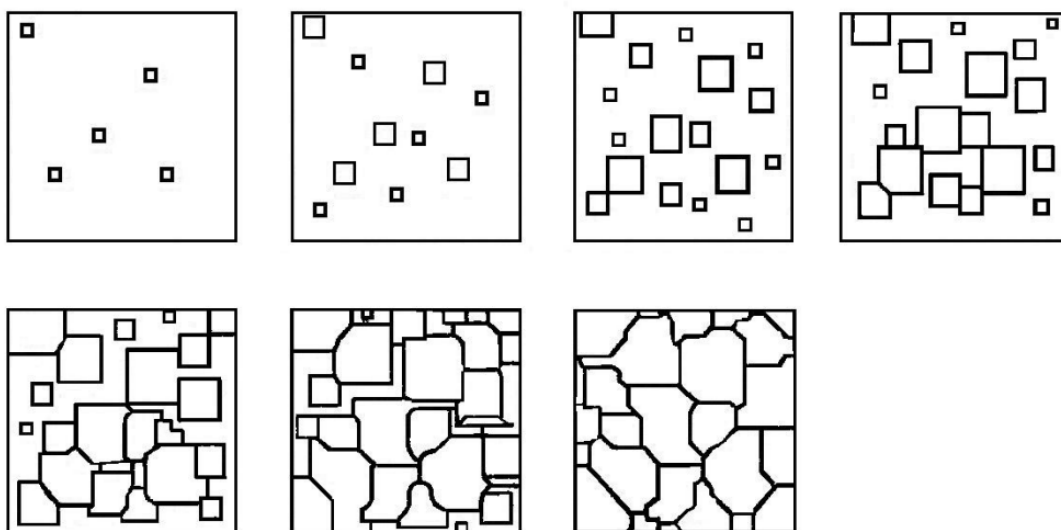


Рисунок 2.1. – Схема формування структури при кристалізації.

Швидкість процесу первинної кристалізації і характер формування структури матеріалу значно залежить від швидкості охолодження і кількості центрів кристалізації, що виникають в одиницю часу в одиниці об'єму. Тому чим більше швидкість охолодження, утворення центрів кристалізації та менше швидкість їх зростання тим менше розміри зерна, тобто більш дрібнозерниста структура. Джерелом утворення центрів кристалізації можуть бути різні тверді частки, що є в рідині (домішки). Вони, практично не змінюючи хімічного складу, можуть служити центрами кристалізації й призводити до утворення дрібного зерна.

Перетворення в будові матеріалу, що відбувається в його твердому стані називають *вторинною кристалізацією або перекристалізацією*. Така кристалізація можлива у поліморфних матеріалів, при зміні фазового складу сплавів внаслідок зміни розчинності компонентів, при термічній обробці сплавів. *Фазові перетворення аморфних речовин* характеризуються відсутністю точки плавлення.

БУДОВА МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ.

Метал складається з позитивних іонів (атомів, які залишили один або кілька електронів) та вільних електронів. Вільні електрони легко переходять від одного іона до іншого в об'ємі металу. Цим пояснюється електропровідність і ковкість металу.

Метали мають атомно – кристалічну будову. Кожному металу в твердому стані відповідає певна кристалічна будова, яка описується геометричними представленнями, а саме кристалічними решітками або ґратками.

Кристалічні ґратки – просторове періодичне розташування атомів (іонів, молекул) в кристалічній речовині. Точки кристалічних ґраток, в яких розміщуються атоми називаються *вузлами*. Напрямки, що проходять крізь два вузли ґраток називають *кристалографічними напрямками*, а площини, що проходять через три вузли – *кристало-графічними (атомними) площинами*. В основі кристалічних ґраток лежить *елементарна комірка* – це побудований на вузлах мінімальний об'єм кристалічної речовини, що відбиває всі його особливості і його повторення дозволяє побудувати всі ґратки.

Для більшості металів характерні три типи кристалічних ґраток (рис.2.2):

Об'ємно – центровані кубічні ґратки (ОЦК). Ці ґратки мають метали: Pb, K, Na, Li, W, V, Cr, Nb, Tiβ, Feα.

Гранецентровані кубічні ґратки (ГЦК). Характерні металам: Caα, Ni, Ag, Au, Cu, Coα, Feγ.

Гексагональні ґратки (ГГУ). Характерні металам: Mg, Tiα, Cd, Re, Os, Zn, Co β, Be.

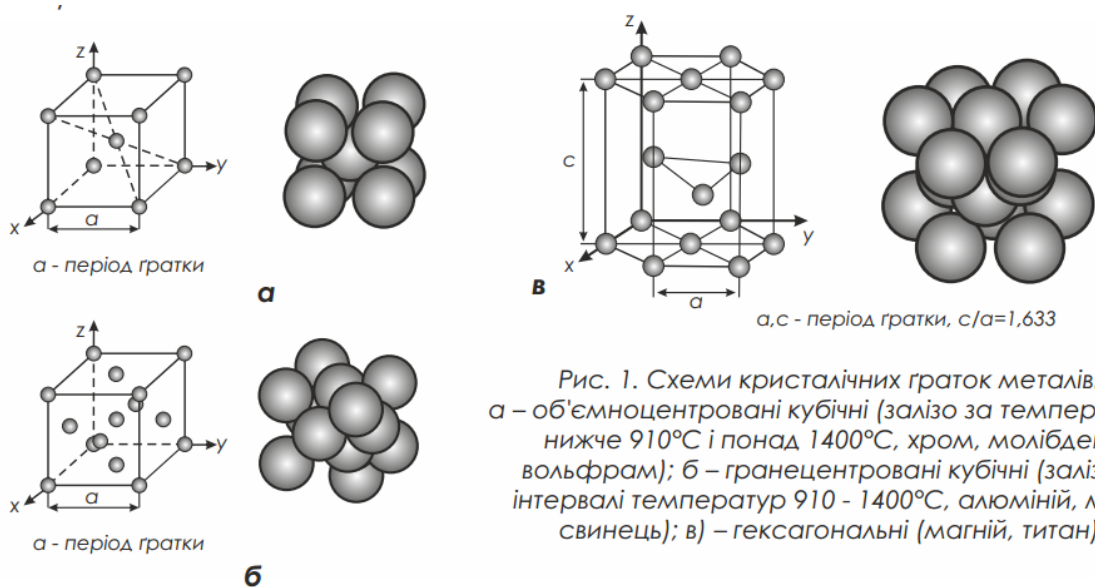


Рисунок 2.2. – Типи кристалічних ґраток металів: а – ОЦК, б – ГЦК, в – ГГУ.

Кристалічні ґратки в металі внаслідок фазових перетворень об'єднуються і утворюють *полікристал* або *кристаліт*. Сукупність полікристалів це *зерно* металу. Саме з зерен і складається на макроскопічному рівні структура металу.

В наслідок фазових перетворень відбувається відхилення реальної будови матеріалу від ідеальної. Тому в металах можливі дефекти кристалічних ґраток. За геометричними ознаками їх розрізняють на точкові, лінійні, поверхневі, та об'ємні. За розташуванням та природою існують такі дефекти як вакансії, дислокації, міжвузловий атом, домішкові атоми. Властивості металів визначаються параметрами кристалічних ґраток та видом і кількістю дефектів.

Анізотропія властивостей кристалів. У різних кристалографічних площинах, проведених через центри атомів у кристалічних решітках, число атомів і відстані між ними неоднакові. У зв'язку з цим властивості монокристалів у різних напрямках неоднакові. Таке явище називається *анізотропією*. Анізотропія виявляється в неоднаковості опорів монокристала електричного струму і швидкості розчинення в хімічних реактивах, у відмінності механічних властивостей. Наприклад, міцність зразків, вирізаних у різних напрямках з монокристала міді, відрізняється приблизно в 3 рази, а пластичність - більше ніж у 5 разів. Реальні метали є тілами полікристалічними, тобто складаються з великої кількості по-різному орієнтованих у просторі кристалітів (зерен). Тому властивості таких металів у будь-якому напрямі усереднені, однакові. Проте в тих випадках, коли обробка металів сприяє переважному орієнтуванню окремих кристалів (наприклад, при прокатуванні, куванні), полікристалічні метали стають також анізотропними. Наприклад, міцність зразків, вирізаних з листа вздовж і впоперек напрямку прокатування, різні; температурний коефіцієнт лінійного розширення листа з цинку залежно від напрямку прокатування може відрізнятися в 1,5...2 рази.

БУДОВА СПЛАВІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА.

В виробках ракетно-космічної техніки використовують не прості метали, а їх сплави. Сплави – макроскопічно однорідні системи, що отримані поєднанням з двох чи більше металів чи неметалів і які мають виражені металеві властивості. Хімічні елементи, утворюючі сплав називають компонентами.

Класифікацію сплавів проводять за наступними ознаками:

- По числу компонентів – бінарні (подвійні), потрійні, багатокомпонентні;
- По виду основного компоненту – залізні, мідні, титанові тощо;
- По числу фаз – однофазні та багатофазні;
- По способу отримання – плавлені (одержані кристалізацією з розплаву), спечені (металокерамічним способом), стиснені (порошкова металургія), конденсацією з парів, дифузійним насиченням та іншими.

– По технологічним властивостям – ливарні, електротехнічні, корозійностійкі, зносостійкі тощо.

Компоненти, що входять до складу сплаву, можуть утворювати такі фази:

- рідкі розчини. *Металеві рідкі розчини (розплави)* представляють рідкий стан сплавів, який по більшості характеристик споріднений твердому стану. Якісна відзнака розплаву у відсутності в ньому дальнього порядку в кристалічній будові. Більшість металів необмежено розчинюються один в одному. Однак деякі повністю не розчинюються у рідкому стані і розділяються на шари по густині;

- тверді розчини. *Металевими твердими розчинами* називають однорідні тверді фази, які складаються з декількох компонентів, концентрації яких можуть бути змінені без порушення їх однорідності. Металеві тверді розчини утворюються в результаті проникнення в кристалічні ґратки основного металу атомів іншого металу чи неметалу. Розрізняють тверді розчини заміщення і вкорінення. Тип твердого розчину визначається різницею розмірів атомів основного металу та атомів домішки. У сплавах, будова яких є твердим розчином, співвідношення компонентів може бути перемінним, і один з компонентів зберігає свої кристалічні ґратки (розчинник) а атоми іншого розміщуються в цих ґратках, змінюючи їх параметри;

- хімічні з'єднання. *Хімічне з'єднання* – це хімічно нова речовина, що суттєво відрізняється від вихідних компонентів і властивостями, і будовою. В цій будові у хімічній формулі завжди зберігається кратне співвідношення компонентів $AmBn$, температура плавлення (дисоціації) постійна, утворення хімічної сполуки завжди супроводжується значним тепловим ефектом. Хімічні з'єднання, що утворюються в сплавах, відрізняються по деяким особливостям від типових хімічних сполук тим, що не підпорядковуються законам валентності і не мають постійного складу. Від твердих розчинів відрізняються тим, що мають незмінні кристалічні ґратки до температури плавлення. Хімічні з'єднання в сплавах за будовою та властивостями розділяють на класи: електронні з'єднання (з'єднання між одновалентними металами та простими металами), інтерметаліди (з'єднання металів з неметалами, їм властивий металевий тип хімічного зв'язку), фази вкорінення (з'єднання типу карбідів, нітридів, гідридів, з переважним металевим зв'язком) тощо;

- механічні суміші. *Механічна суміш* – це структура сплаву, що не має спільної будови і складається з окремих фаз, які утримуються слабкими силами тяжіння чи електростатичними силами, або за рахунок хімічної природи і мають споріднені компонентам сплаву властивості.

Структура сплавів. Розрізняють макро-, мікро- і субструктури металів і сплавів. *Макроструктура* – структура сплаву, що видима неозброєним оком чи при незначному збільшенні (до 30-40 разів). Макроструктура відображає структурну і хімічну неоднорідність, наявність пор, пустот, тріщин, розшаруватість, технологічні наслідки та інше. Мікроструктура – це структура, що досліджується при значному збільшенні, за допомогою металографічних мікроскопів. Вона відображає форму, розміри, орієнтацію та взаємне розташування зерен металу; фазовий склад, співвідношення фаз. Субструктура (тонка структура) – структура усередині зерна сплавів, що спостерігається при дуже значному збільшенні. Субструктура визначає більшість механічних і фізичних властивостей, кінетику фазових перетворень та інше.

Фазові та структурні перетворення в сплавах. Характер фазових і структурних перетворень в сплавах при зміні температури можна прослідити за допомогою аналізу мікроструктури, бо між мікроструктурою та властивостями існує чіткий зв'язок. При кристалізації сплавів центри кристалізації мають перемінний склад, що залежить від температури. Це призводить до виникнення неоднорідності хімічного складу – ліквіації. При цьому неоднорідність всередині окремих зерен називають дендритною. При охолодженні з дуже малими швидкостями в сплавах структури досягають рівновісного стану, тому що при цьому дифузія в рідких і твердих фазах відбувається разом одночасно з кристалізацією і склад кристалів вирівнюється, отримана структура називається гомогенною. Структура, що формується в сплавах при фазових перетвореннях може бути однофазною чи багатофазною. Однофазна структура формується в сплавах при повному взаємному розчиненні компонентів, або у випадку, коли кількість розчиненого компоненту не перебільшує граничної розчинності. Форма зерен залежить від умов формування. Вони можуть бути поліедричні (в виді

правильного багатогранника), рівновісними (однаковими у всіх напрямках), витягнутими, стовпчастими чи пластинчастими (рис.2.3).

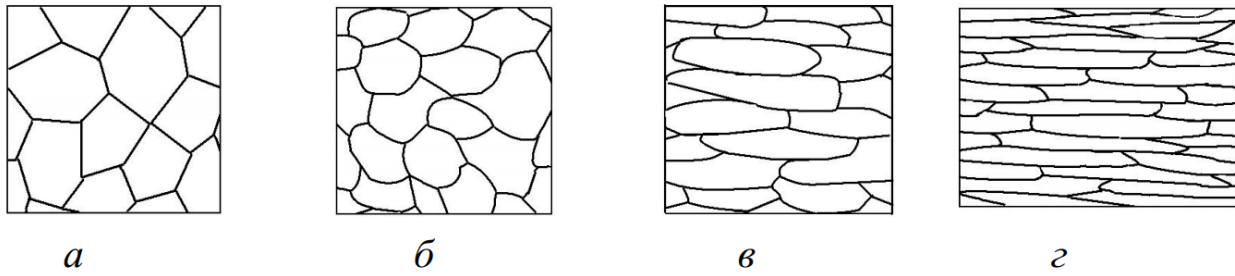


Рисунок 2.3. – Схеми структур однофазних сплавів. Форма зерен: а – поліедридна; б – рівновісна; в – витягнута; г – пластинчата.

Двофазна чи багатофазна структура характерна для сплавів з обмеженою розчинністю компонентів. Якщо в сплаві вміст розчиненого компоненту перебільшує його граничну розчинність в основному металі (розчиннику) при певній температурі, то утворюється структура, що складається з матриці (основного твердого розчину) і виділених фаз другого твердого розчину. Таку структуру називають гетерогенною або матричною. Гетерогенна структура типова для сплавів на основі твердого розчину металу-розчинника і розчиненої хімічної сполуки. В твердому стані можуть відбуватися два типи фазових перетворень, які формують структуру сплаву. По-перше, твердий розчин потерпає вторинну кристалізацію гетерогенних зерен. По-друге, формування структури відбувається внаслідок зміни температури чи зменшення розчинності компонентів при зниженні температури. Тоді в сплавах вторинна (надлишкова) фаза при повільному охолодженні виділяється по границям зерен у виді досить крупних новоутворень, або при швидкому охолодженні у вигляді сітки (оболонки) виділеної фази по границям матричних зерен (рис. 2.4).

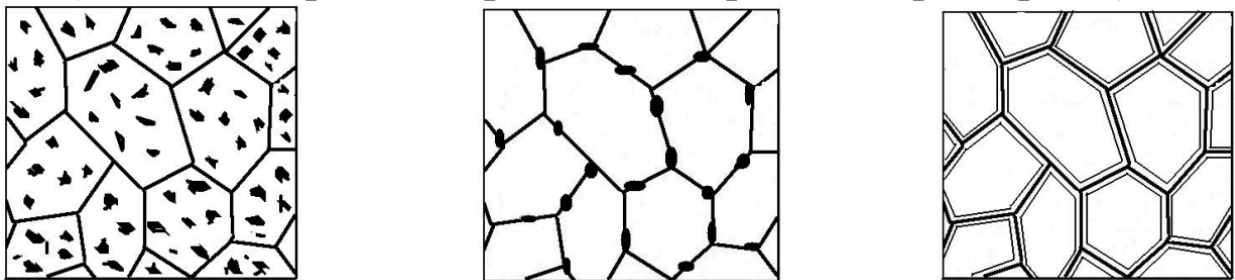


Рисунок 2.4. – Схеми структур двофазних сплавів: а – виділення всередині зерен; б – виділення по границям зерен; в – виділення у вигляді сітки.

В певних умовах кристалізації при постійній температурі і заданій концентрації компонентів в самостійну структурну складову можуть виділитися дві чи більше окремі фази, що являють собою механічну суміш. Такі механічні суміші утворюються шляхом зростання зерен між собою. При виділенні з рідкої фази механічну суміш називають *евтектикою* чи *перетектикою*, а при вторинній кристалізації – *евтектоїд*.

Евтектика представляє собою пластинки структурних компонентів, утворених з двох чи більше фаз, які рівномірно чергуються. Інколи в евтектиці фази хаотично розмішені, або можуть бути присутні окремі кристали твердого розчину чи хімічних сполук. Структури евтектики і евтектоїду схожі, але останній більш дисперсний.

Діаграми стану сплавів. Стан сплаву залежить від зовнішніх умов (температури, тиску) і характеризуються числом і концентрацією утворених фаз. Для опису фазового складу і процесів фазових перетворень в сплавах використовують діаграми стану.

Діаграма стану (фазової рівноваги) сплаву – графічне зображення співвідношення між параметрами стану (температурою, тиском, складом) термодинамічно рівноважної системи. Діаграма стану характеризує кінцевий або граничний стан сплавів, коли всі фазові перетворення повністю

завершилися. Будують діаграми за результатами експериментальних досліджень, частіше аналізом критичних точок термодинамічних кривих охолодження сплавів.

Діаграми стану двокомпонентних систем - це плоске зображення в системі температура – концентрація. Лінії діаграми, що з'єднують характерні критичні точки, характеризують фазові перетворення в сплаві і відокремлюють області існування рівноважних фаз. Вид діаграми компонентів визначається взаємодією її компонентів в рідкому і твердому стані, і наявністю поліморфних перетворень. Виділено три основних типи діаграм:

- першого типу – компоненти необмежено розчинюються один в одному в рідкому стані і не розчиняються в твердому стані (рис. 2.5, а);
- другого типу – компоненти сплаву необмежено розчиняються один в одному в рідкому і твердому стані (рис. 2.5, б);
- третього типу – компоненти необмежено розчиняються в рідкому стані і обмежено розчиняються в твердому стані, при цьому можуть утворюватися хімічні з'єднання (рис. 2.5, в).

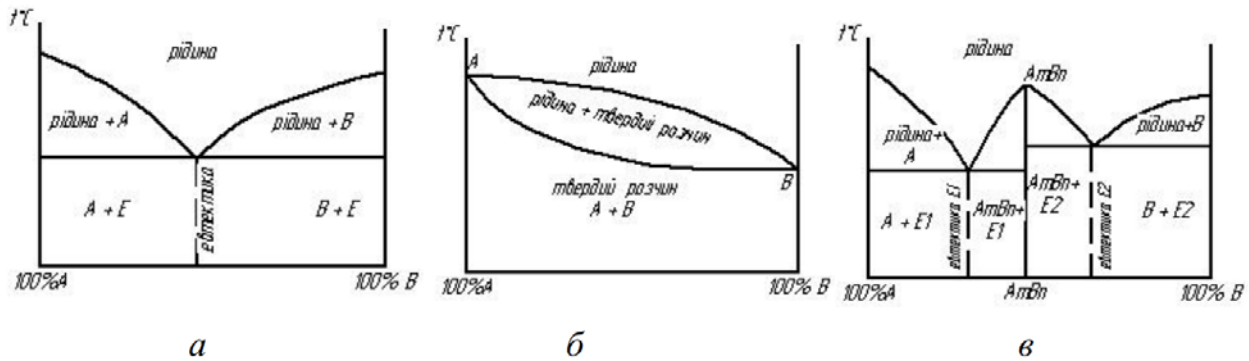


Рисунок 2.5. – Діаграми стану сплавів: а – першого типу; б – другого типу; в – третього типу.

По діаграмі конкретного сплаву можна визначити температури кристалізації і перетворень в твердому стані і структуру при заданих умовах, що дозволяє оцінити механічні, фізичні, хімічні властивості сплаву і правильно призначити технологічні режими термічної обробки, обробки тиском, зварювання і в кінцевому, раціонально обрати матеріал для тих чи інших виробів в залежності від поставлених вимог.

3. МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЯМИ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТЕХНОЛОГІЮ ВИГОТОВЛЕННЯ АГРЕГАТІВ І СИСТЕМ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Для виготовлення вузлів РКТ необхідні матеріали з відповідним рівнем властивостей.

Способи керування властивостями матеріалів:

Модифікування - використання домішок у сплаві для отримання дрібного зерна, використовують при отриманні литих габаритних заготовок, фасонних виливків складної форми. При модифікуванні в розплавленій метал (сплав) вводять певну кількість спеціальних речовин (*модифікаторів*) – карбіди, нітриди, оксиди, які, практично не змінюючи хімічного складу, визивають при кристалізації подрібнення зерна, тим самим сприяють покращенню механічних та технологічних властивостей.

При кристалізації сплавів на розмір зерна впливають ступінь переохолодження, температура розплаву, його хімічний склад. Процес утворення кристалів складається з двох одночасно протікаючих стадій: появи зародків – стійких центрів кристалізації і зростання кристалів навколо цих центрів. Спочатку кожен кристалик в рідині зростає вільно, зберігаючи правильну геометричну форму. Оскільки одночасно утворюється багато кристалічних центрів та зростання кристаликів йде в усіх напрямках, то суміжні кристали, збільшуючись, починають безпосередньо стикатися один з одним і правильна форма їх порушується. В результаті кристал набуває округленої форми, що нагадує зерно. Такі кристали прийнято називати кристаллітами, або зернами.

Кристалізація сплавів по описаному механізму називається самовільною або спонтанною. При направленій кристалізації джерелом утворення зародків зерен є тверді частки, що вводяться в розплав. Якщо домішки мають кристалічні ґратки, що близькі за будовою до кристалізованому металу, то вони відіграють роль готових центрів кристалізації. Чим більше домішок, тим більше центрів кристалізації, тим дрібніше розмір зерен сплаву.

Легування сплавів – технологічний процес введення в розплав певних домішок для покращення механічних та технологічних властивостей сплавів. При введенні в розплав домішок, вони можуть утворювати з металом тверді розчини, розчинюючись в ньому, чи давати самостійні спеціальні композиції – хімічні чи інтерметалеві з'єднання. *Легуючі елементи* це спеціальні, штучно введені добавки, які змінюють властивості сплаву в потрібному напрямку.

Обробка матеріалів – це дії, направлені на зміну властивостей матеріалу при виконанні технологічних процесів. Найбільш розповсюджені види обробки матеріалів – *механічна та термічна обробка*.

Механічна обробка полягає в утворенні необхідних форм і властивостей з різного роду матеріалів шляхом переміщення чи відділення шарів матеріалу. Розрізняють механічну обробку тиском і обробку різанням.

Обробка різанням – за допомогою металоріжущого інструменту, полягає у формоутворенні поверхонь відділенням стружки матеріалу. Утворення поверхні супроводжується руйнуванням поверхневих шарів матеріалу.

Обробка тиском – полягає в пластичному деформуванні чи розділенні матеріалу без утворення стружки. До об'ємної обробки тиском відносять прокатку, волочіння, штампування, пресування, до поверхневої – кування, поверхневий наклеп, накатка.

Деформація полікристалів. Види деформацій та їх характеристика

Обробка металів тиском ґрунтується на використанні однієї з основних механічних властивостей металів – пластичності. Деформація проявляється в незворотній зміні форми та розмірів тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності, яка супроводжується зміною структури та механічних властивостей металу. Також деформація може викликатись різними фізико-механічними процесами, що відбуваються в самому тілі. Внаслідок дії зовнішніх сил та наявності в металі внутрішніх дефектів, з'являються концентратори напружень. Їх поділяють на тимчасові напруження, зумовлені дією зовнішніх сил и зникаючі після припинення дії сили і внутрішні залишкові напруження, що виникають в тілі і залишаються незмінними. Останні напруження мо-

жуть викликатися всередині тіла без дії зовнішніх сил, а саме в процесі швидкої зміни температур, неоднорідності структури внутрішньої і поверхневої будови. Ці напруження називають термічними, фазовими чи структурними. Деформація полягає в переміщенні одних атомів щодо інших під дією сил. В залежності від наслідків зсуву розрізняють пружну деформацію і пластичну деформацію.

Пружною називають деформацію, вплив якої на форму, структуру і властивості тіла повністю зникає після припинення дії зовнішніх сил. Під дією прикладеного навантаження відбувається незначне, повністю зворотне, зміщення атомів чи поворот блоків на відстані, значно менші міжатомних. Пружна деформація не викликає помітних змін в структурі та властивостях матеріалів.

Пластична деформація – це незворотні зміни, яких набуває тіло під дією зовнішніх сил. Вона здійснюється при зміщенні атомів на відстані співвимірні чи більші ніж міжатомні. Це відбувається коли напруження перебільшують границю пружності. Тоді після припинення дії сили знімається тільки пружна частина деформації, а та частина що лишається є пластичною. Пластична деформація полікристалу здійснюється ковзанням чи поворотом окремих часток кристалу по кристалографічним площинам та напрямкам з найбільшою кількістю дефектів будови (рис.3.1).

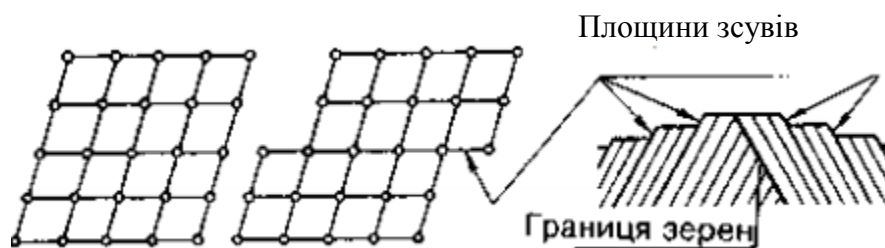


Рисунок 3.1. – Схема зміщення атомів та зсуву часток кристалу при пластичній деформації.

При значних ступенях деформації зерна змінюють свою форму внаслідок ковзання і витягаються в напрямку діючих сил, одночасно з цим відбувається подрібнення блоків (рис.3.2).



Рисунок 3.2. – Зміна зерен, структури металу при пластичній деформації.

Якщо при пластичній деформації виникає волокниста чи шарувата структура орієнтована в одному напрямку, її називають *текстура деформації*

В залежності від температури тіла під час обробки розрізняють гарячу та холодну пластичну деформацію. Деформація, яка відбувається при високих температурах ($0,7 - 0,75$) $T_{пл}$, називається *гарячою*. При цьому значних змін властивостей не відбувається а зміни в структурі характеризуються подрібненням зерен із збереженням їх співвісної форми.

Якщо деформування металу відбувається при температурі нижче ($0,15 - 0,2$) $T_{пл}$, деформація називається *холодною*. При холодній пластичній деформації зростають властивості, що характеризують опір деформації ($\sigma_{т.о.}$, $\sigma_{т}$, твердість), а показники пластичності, в'язкості знижуються (ψ , δ). Зміцнення металу в процесі пластичної деформації називають *наклепом*. Явище наклепу широко застосовують в поверхневому зміцнюванні металів. Шляхом наклепу твердість і границю міцності можна збільшити в 1,5...3 рази, а границю текучості – в 3...7 разів., це дозволяє підвищити довговічність деталей і машин, оскільки їх руйнування частіше починається з поверхні.

Відновлення властивостей та структури деформованих сплавів.

Відновлювання будови та властивостей для деформованих металів і сплавів залежно від температури нагріву має різновиди: повернення і рекристалізація (рис.3.3). Повернення відбувається

при відносно низьких температурах (нижче $0,3 T_{пл}$), рекристалізація - при більш високих (вище $0,4 T_{пл}$).

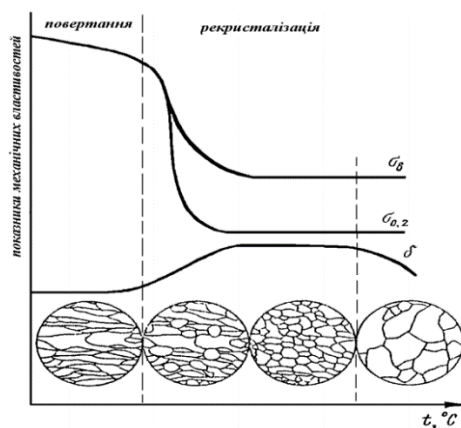


Рисунок 3.3. – Вплив нагрівання при відпалюванні на зміну структури деформаційно-зміцненого металу і величину його механічних властивостей

Повернення - нагрів деформованих металів і сплавів нижче за температуру рекристалізації $\sim 0,2 T_{пл}$ витримка і повільне охолодження (з піччю) для часткового відновлення їх структурної досконалості в результаті зменшення густини дефектів будови, проте без візуально помітних змін мікроструктури. Повернення обумовлено тонкими структурними змінами всередині кожного зерна. Повернення включає дві стадії – відпочинок і полігонізація. Відпочинок при нагріванні деформованих металів відбувається завжди, а полігонізації розвивається лише за певних умов.

Відпочинок - початкова стадія процесу повернення деформованого металу, що протікає при низькотемпературному до $0,2 T_{пл}$ нагріві і об'єднує процеси, пов'язані з дифузійним перерозподілом точкових дефектів і їх частковим взаємним знищенням. Відпочинок використовують для усунення усередині окремих зерен або в об'ємі сплаву неоднорідності хімічного складу і структури виникаючих частіше за все в процесі кристалізації, а також для часткової релаксації напруження.

Полігонізація – стадія процесу повернення деформованого металу, що відбувається при нагріванні до $(0,3...0,4) T_{пл}$, пов'язана з розділенням деформованих зерен на полігони (блоки) з малою густиною дислокацій. Полігонізація приводить до подальшого зняття спотворень (внутрішніх напружень) кристалічних ґраток і більш повного відновлення фізичних властивостей. Механічні властивості при цьому змінюються незначно (відбувається зниження міцності) Текстура зберігається, хоча і стає блоковою. Полігонізація після значних деформацій – як правило, початкова стадія рекристалізації.

Рекристалізація - процес зростання одних кристалічних зерен полікристалу за рахунок інших. Рекристалізацію можна представити у вигляді стадій: *первинна рекристалізація, збиральна і вторинна рекристалізація*

Первинна рекристалізація - процес зародження і зростання нових рівно вісних зерен при нагріві до повного зникнення текстури, створеною деформацією і утворення рівноосної дрібнозернистої структури. Температура початку первинної рекристалізації (температурний поріг рекристалізації) міняється від $(0,1...0,2) T_{пл}$ для чистих металів до $(0,5...0,6) T_{пл}$ для твердих розчинів і $(0,7...0,75) T_{пл}$ для багатофазних систем.

Збиральна рекристалізація - процес зростання одних рівноосних зерен за рахунок зникнення інших шляхом поглинання при цьому дрібних. Збиральна рекристалізація відбувається після завершення первинної рекристалізації в процесі подальшого нагріву. Структура матеріалу в результаті такого процесу характеризується збільшенням розмірів зерен при зменшенні їх числа.

Вторинна рекристалізація - процес прискореного зростання окремих зерен, що приводить структуру матеріалу до різнозернистості. В результаті вторинної рекристалізації утворюється різнозерниста структура, яка є безліччю дрібних зерен і невеликим числом дуже крупних зерен. Вторинна рекристалізація приводить до погіршення механічних властивостей металів. При вторинній

рекристалізації після високих ступенів попередньої деформації нерідко виникає текстура рекристалізації.

Термічна обробка.

Термічним обробленням називають сукупність операцій нагрівання, витримування при високій температурі і охолодження заготовок або готових виробів з метою зміни їх структури і надання їм потрібних властивостей (міцність, твердість, зносостійкість тощо).

Основні *параметри термічної обробки* - температура нагріву, швидкість, тривалість витримки при температурі нагріву і швидкість охолодження (рис.3.4)

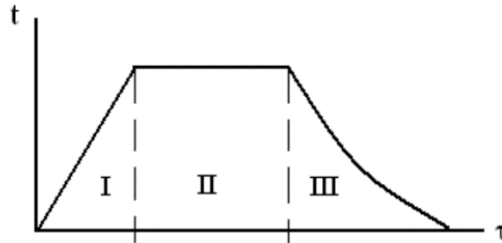


Рисунок 3.4. – Загальна схема термічної обробки: I – нагрівання, II - витримка, III – охолодження.

Вибір *температури нагріву* сплаву при конкретному виді термічної обробки визначається температурами фазових перетворень (наприклад, критичними температурами відповідної діаграми стану). Температура нагріву не повинна перевищувати температуру плавлення, щоб уникнути оплавлення поверхні.

Швидкість нагріву вибирається залежно від ряду чинників: теплопровідності матеріалу, форми і розмірів виробів, загальної маси виробів, що нагріваються, характеру їх розташування в печі і деяких інших.

Тривалість витримки при заданій температурі нагріву визначається швидкістю фазових перетворень. Витримка необхідна для повного завершення фазових перетворень і вирівнювання температури по всьому об'єму виробу.

Швидкість охолодження вибирається залежно від ступеня стійкості існуючої фази при даному хімічному складі, а також від структури і властивостей, що вимагаються. Основними видами термічної обробки є *відпалювання, гартування, відпусчення і штучне старіння*.

Залежно від режимів нагрівання і охолодження існують наступні види термообробки:

Відпал (Відпалювання) - термічна обробка матеріалів (наприклад, металів, напівпровідників), яка полягає в нагріві до певної температури, витримці і повільному охолодженні (3...200°C/год). Мета відпалювання – поліпшення структури і оброблюваності, зняття внутрішніх напружень, управління формою і розмірами зерен, текстурою і властивостями металів і сплавів і ін. Мікроструктура матеріалів в результаті відпалювання стає врівноваженою. Існує декілька технологічних видів відпалювання, які різняться режимами обробки і отриманою структурою.

Рекристалізаційне відпалювання. Ця обробка включає нагрів деформованих металів і сплавів до температур більше $0,4 T_{пл}$ для технічно чистих металів і $(0,5...0,6)T_{пл}$ для сплавів (твердих розчинів), витримку і повільне охолодження (з піччю). Її використовують для поліпшення структури і оброблюваності, зняття внутрішніх напружень. При рекристалізаційному відпалюванні практично повністю зникає наклеп і властивості матеріалу наближаються до їх початкових значень.

Дифузійне відпалювання (гомогенізація). Цей вид обробки проводять нагріванням до більш високих температур (наприклад, для сталі 1100 – 1200°C), тому що в такому разі більш повно протікають дифузійні процеси, які необхідні для вирівнювання складу сплаву. Подальше охолодження проводять в два етапи: спочатку з піччю, а далі на повітрі. Гомогенізація знешкоджує хімічну чи фізичну неоднорідність, знімає структурну ліквіацію, що виникають про попередніх обробках.

Нормалізація (нормалізаційне відпалювання) - вид термічної обробки, що полягає в нагріві деформованих металів і сплавів до температур вище за температурний поріг рекристалізації, витримці і охолодженні на повітрі для надання металу однорідної дрібнозернистої структури, що

забезпечує підвищення пластичності і ударної в'язкості, а також забезпечує оптимальну оброблюваність.

Гартування. Загальна характеристика

Гартування (гарт) - термічна обробка матеріалів, що полягає в нагріванні і подальшому швидкому охолодженні з метою фіксації високотемпературного стану матеріалу або запобігання (усунення) небажаних процесів, що відбуваються при повільному охолодженні. В результаті гартування, як правило, утворюється не врівноважена структура. В результаті гартування твердість і міцність матеріалу зростає у декілька разів. Недоліком гартування є виникнення в металі значних механічних напружень, для зменшення яких загартовані вироби відпускають.

Температурний режим гартування включає:

- нагрів сплаву до температури фазового перетворення;
- витримку при заданій температурі нагрівання;
- швидке охолодження (охолоджуючі середовища - вода, масло, розплавлені солі, повітря і ін.).

Область застосування гартування - матеріали (в основному, сплави), що мають перетворення в твердому стані (змінна розчинність, поліморфні перетворення твердих розчинів, розпад високо - температурного твердого розчину по евтектичній реакції і ін.).

Гартування істотно впливає на властивості матеріалів. Так в сплавах воно змінює фізичні, механічні і хімічні властивості: збільшуються міцність, крихкість, питомий електроопір, коерцитивна сила, зростає корозійна стійкість. При гартуванні особливо сильно змінюються сплави, що зазнають в рівноважних умовах евтектоїдне перетворення. Міцність зростає або унаслідок мартенситного механізму фазового перетворення, або унаслідок пониження температури евтектоїдної реакції, що приводить до подрібнення кристалів фаз, утворюючих евтектоїдну суміш.

Відпущення.

Термін "відпущення" звичайно використовують стосовно сталей і іншим сплавам, що зазнають при гартуванні поліморфне перетворення (двофазна алюмінієва бронза, деякі сплави на основі титана та ін.).

Термін "старіння", частіше всього, використовують стосовно сплавів, що не зазнають при гартуванні поліморфного перетворення (сплави на основі алюмінію, аустенітні сталі, нікелеві сплави і ін.).

Відпущення і штучне старіння - термічна обробка загартованих сплавів (головним чином стали), що включає нагрівання нижче 0,4 Тпл, витримку і охолодження. Швидкість охолодження не впливає на структуру і властивості сплавів. Мета - досягнення оптимального поєднання міцності, пластичності і ударної в'язкості. При відпущенні і штучному старінні в заздалегідь загартованих сплавах нагрів викликає процеси розпаду пересиченого твердого розчину (метастабільної фази), в результаті яких відбуваються фазові перетворення. Відпущення і штучне старіння в 2...3 рази підвищують такі властивості сплаву як твердість, міцність, коерцитивну силу, питомий електричний опір і ін.

Термомеханічна обробка.

Термомеханічна обробка – це сукупність операцій деформації, нагріву і охолодження, в результаті яких формування остаточної структури і властивостей матеріалу відбувається в умовах збільшеної щільності і оптимального розподілу дефектів будови, створених пластичною деформацією.

4. МЕТАЛЕВИ МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ В РКТ. СПЛАВИ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ АГРЕГАТІВ І СИСТЕМ ВІТЧИЗНЯНОЇ РКТ

До сучасних вітчизняних виробів ракетної техніки, що розроблено ДП КБ «Південне», відносяться метеорологічна ракета «Метео-3» (рис. 4.1), ракети-носії космічного призначення «Маяк-22» (рис. 4.2) і «АКРК-2» (рис. 4.3), та оперативно-тактичні комплекси «Гром-2» (рис. 4.4), «Коршун-2» (рис. 4.5). Їх конструктивно-компонувальні схеми наведено нижче.



Рисунок 4.1. Метеорологічна ракета «Метео-3» – одноступінчаста твердопаливна керована ракета з відделяємою у польоті головною частиною

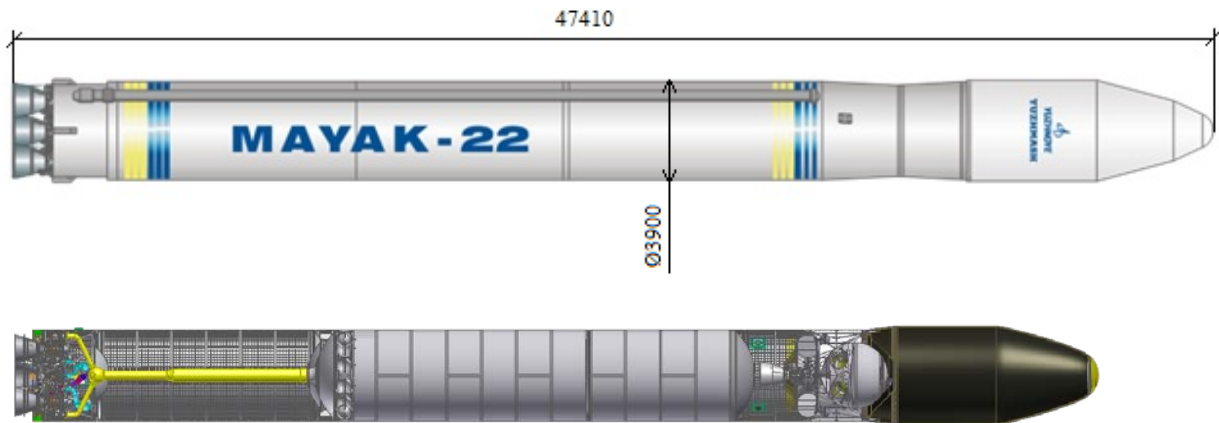


Рисунок 4.2. Ракета космічного призначення «Маяк-22» – двоступенева, рідкопаливна, середнього класу, призначена для виведення корисного вантажу на орбіту.

Ракета космічного призначення «АКРК-2» – трьохступенева і призначена для виведення космічного апарата на задану орбіту. Конструктивно РКН виконано трьохступевою з послідовним розташуванням ступенів та включає дві твердопаливні і одну рідинну ступені.

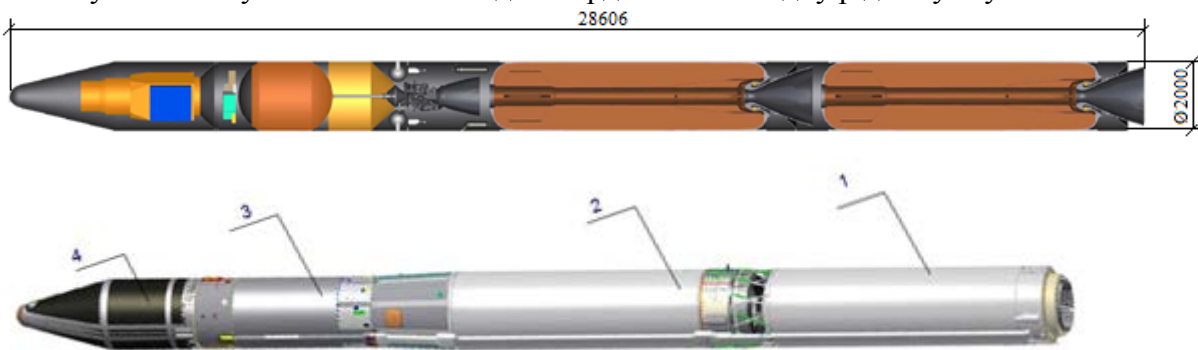


Рисунок 4.3. Ракета космічного призначення «АКРК-2»

Ракетний комплекс «Гром-2» призначено для пальби по наземним площадним і точковим цілям, що розташовано на відстані від 20 до 280 км у будь-який час суток, при будь-яких погодних умовах, забезпечує високу мобільність з урахуванням мінімального часу розвертання та звертання.

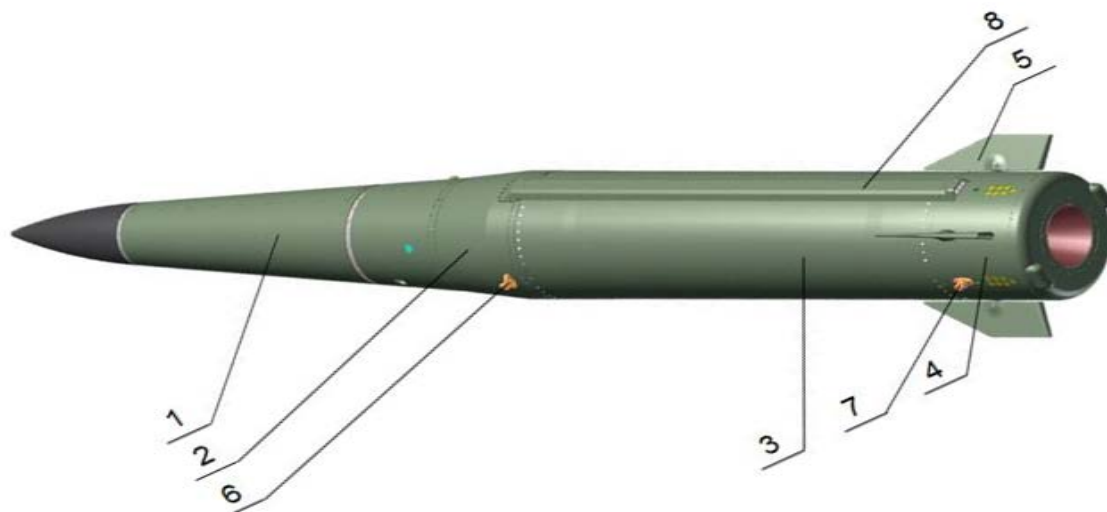


Рисунок 4.4. Ракетний комплекс «Гром-2»

1 – головна частина; 2 – перехідний відсік; 3 – маршовий двигун; 4 – хвостовий відсік; 5 – аеродинамічний руль; 6 – бугель переднього опорного поясу; 7 – бугель заднього опорного поясу; 8 – желоб.

Дозвукова крилата ракета «Коршун-2» є головною складовою ракетного комплексу і служить безпосередньо для враження захищених та незахищених об'єктів супротивника.

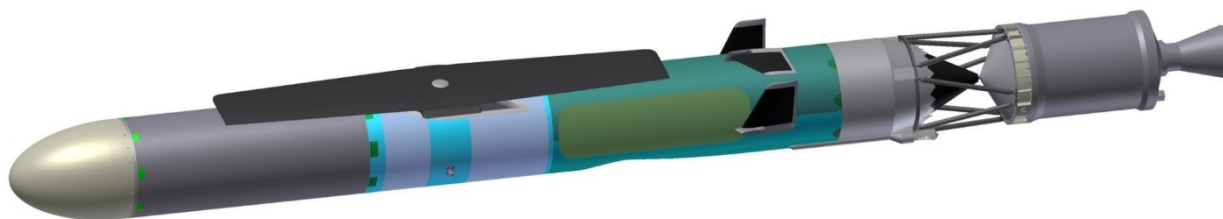


Рисунок 4.5. Дозвукова крилата ракета «Коршун-2»

Головним конструкційним матеріалом, що застосовується в силових конструкціях сучасних вітчизняних ракетах, є сплави алюмінію.

Алюміній – легкий, пластичний метал сріблясто-білого кольору, проводить тепло й електричний струм, легко піддається обробці. За сировинними запасами алюміній найпоширеніший у природі елемент, що міститься в багатьох мінералах. Найбільш поширені з них боксити і глиноземи. Ця обставина і можливість одержання на основі алюмінію необхідних техніці сплавів – одна з умов великого майбутнього алюмінію.



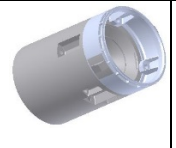

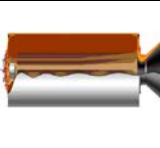


Алюміній має добру пластичність, високу корозійну стійкість у прісній воді, за атмосферних і деяких інших умов. На повітрі поверхня алюмінію покривається тонкою плівкою оксиду алюмінію Al_2O_3 , яка захищає від окислення нижчі шари металу.

Сплави алюмінію, завдяки їх малій питомій масі та значній питомій міцності є найбільш поширеними сплавами, що використовуються в виробі ракетами-космічної техніки, що можна продемонструвати на прикладі метеорологічної ракети «Метео-3», розробки ДП КБ «Південне» (табл. 4.1).

Питома міцність – відношення максимально допустимих механічних напружень, які матеріал здатен витримувати без руйнування, до густини матеріалу.

Основні сплави, що закладено при проектуванні метеорологічної ракети «Метео-3» наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Основні сплави, що закладено при проектуванні ракети «Метео-3».

Агрегатний відсік	Руль АД	Відсік корисного навантаження	Перехідний відсік з перехідним кільцем	Двигун м'якої посадки	Маршовий двигун	Корпус соплового блока	Хвостовий відсік
		Герметизований приладовий відсік					
Сплав ал.АМг6.М	Сплав титан. ВТ6	Сплав алюмін.. АМг6.М	Сплав алюмінієвий Д16.Т	Сталь 30ХГСА	Сплав титановий	Сплав титановий ВТ20	Сплав алюмінієвий АМг6.М

Сплави алюмінію за призначенням бувають ливарні та оброблювані тиском (деформівні).

До деформівних алюмінієвих сплавів, що застосовуються у виробі РКТ ДП «КБ «Південне» відносяться: АМг1, АМг3, АМг6, Д1, Д16, АК6, АК8, В95, В65, АВ, АД1, 1201, 2219. Деформівні сплави високопластичні, легко піддаються механічній обробці, не стають крихкими при низьких температурах і добре зварюються. Їх поділяють на незміцнювані і зміцнювані термічною обробкою.

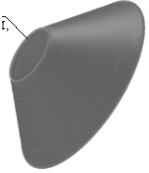



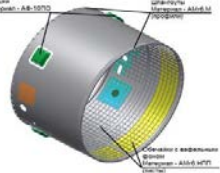

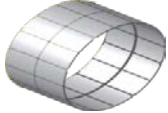
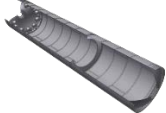
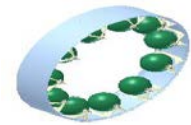

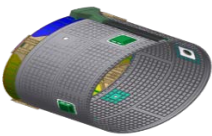
Термічно незміцнювані сплави АМг1, АМг2, АМг3, АМг6 – це сплави алюмінію з магнієм і марганцем. Цифри в марках вказують на середній процентний вміст магнію. Зміцнюють ці сплави деформуванням у холодному стані. Залежно від ступеню зміцнення розрізняють **наклепані** (Н) і **напівнаклепані** (П) сплави. М'які сплави, які постачають у відпаленому (м'якому) стані, позначають додатково літерою М, наприклад АМг3М. Застосовують термічно незміцнювані сплави для виготовлення мало- і середньонавантажених деталей конструкцій. Головні деталі конструкцій ракети космічного призначення «МАЯК-22» з термічно незміцнюваних сплавів наведено в табл. 4.2.

Алюмінієвий сплав АМг1, найближчий сплав-аналог 5005 – деформівний з високою корозійною стійкістю. Сплав застосовується для виготовлення напівфабрикатів методом гарячої чи холодної деформації. Сплав добре зварюється та підходить для створення різних конструкцій.

Сплав алюмінієвий АМг3, сплав-аналог 5754 - деформівний. Застосовується для середньонавантажених деталей (ємності для рідин, трубопроводи та ін.), що працюють за температур від мінус 253 до плюс 150 °С. Має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах, добре деформується в холодному і гарячому станах. Пластичність у отожженому стані висока, а напівнагартваному – задовільна. Термічною обробкою метал не зміцнюється; відпал проводять в інтервалі температур від плюс 250 до плюс 300 °С або від плюс 350 до плюс 420 °С, охолодження на повітрі.

Сплав алюмінієвий АМг6 – деформівний, зварюваний, термічно міцний, корозійностійкий сплав. Застосовується для виготовлення деталей та штампозварних конструкцій, до яких висуваються вимоги щодо обмеження ваги, що працюють в інтервалі температур від мінус 196 до плюс 150 °С. Сплав застосовується у відпаленому АМг6.М та нагартваному АМг6.НПП станах. Для виготовлення штампозварних конструкцій матеріал застосовується у відпаленому стані. Термічна обробка АМг6.М: відпалювання при температурі від плюс 310 до плюс 335 °С, охолодження на повітрі.

Таблиця 4.2. Деталі конструкцій ракети космічного призначення «МАЯК-22» з термічно незміцнених сплавів

Адаптер	Перехідне кільце	Корпус бака окислювача другого ступеня	Бак пального	Корпус міжступеневого відсіку	Силоне кільце
					
АМг6.М	АМг6.М	АМг6.М	АМг6.М	АМг6.М, АМг6.НПП	АМг6.М
Панелі захисні	Бак окислювача першого ступеня	Корпус бака окислювача першого ступеня	Бак пального	Хвостовий відсік	
					
АМг6.М	АМг6.М	АМг6.М	АМг6.НПП, АМг6.М	АМг6.НПП, АМг6.М	


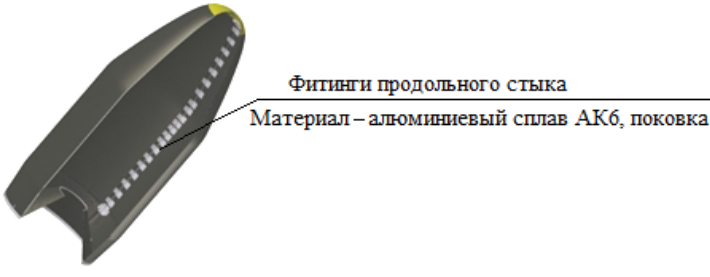
До сплавів, які зміцнюються термообробкою, належать:

- **дюралюмінії** Д1, Д16. Вони містять близько 4% міді, по 1% магнію і марганцю, а також постійні домішки кремнію і заліза. Термічна обробка дюралюмініїв полягає у гартуванні і природному або штучному старінні. Для гартування сплави нагрівають до 500°C і охолоджують у воді. Природне старіння здійснюють при кімнатній температурі протягом 5-7 діб, штучне старіння – при 150°C – 180°C протягом 2 – 4 год. Відпалюють дюралюмінії при 340°C – 370°C. Сплави типу дюралюмініїв мають невисоку корозієстійкість, тому для захисту листів від корозії застосовують плакування. Воно полягає в тому, що на обидва боки листа наносять тонкий захисний шар чистого алюмінію. Крім листів, дюралюмінії випускають у вигляді прутів, труб, катаних і пресованих профілів. Дюралюмінії добре обробляються тиском (прокатуванням, куванням), легко піддаються обробці, після термічної обробки набувають значної міцності, яка наближається до міцності деяких марок сталі. Листи, дрітки, труби та інші профілі з дюралюмінію широко застосовують у літакобудуванні, ракетобудуванні. Дюралюмінії маркують літерою Д і числом, яке вказує на умовний номер сплаву. Літера П у марці свідчить про те, що дюралюміній плакувальний.

Деталі конструкцій ракети космічного призначення «МАЯК-22» з алюмінієвих сплавів, які зміцнюються термообробкою наведено в таблиці 4.3.

Кувальні сплави АК6, АК8 – це сплави системи Al + Cu + Mg леговані Ni та Fe. Відзначаються високою пластичністю, стійкістю до утворення гарячих тріщин, тому деталі з них отримують гарячою обробкою тиском: стикові вузли, кріпильні деталі, крильчатки вентиляторів, лонжерони.

Таблиця 4.3. Деталі конструкцій ракети космічного призначення «МАЯК-22» з алюмінієвих сплавів, які зміцнюються термообробкою

Обшивка доного екрану	Фітинг поздовжнього стику
	
Д16.А.Т, лист	АК 6, поковка

Сплав алюмінієвий Д1 (система Al-Cu-Mg), сплав-аналог 2017 – конструкційний деформівний. Застосовується виготовлення силових елементів конструкцій, що працюють при температурах від мінус 196 до плюс 100 °С. Сплав має середню міцність, задовільну зварюваність точковим зварюванням. При застосуванні металу необхідно нанесення антикорозійних покриттів. Сплав деформується у гарячому та холодному станах. Для підвищення корозійної стійкості напівфабрикати плакують.

Сплав алюмінієвий Д16 (система Al-Cu-Mg), сплав-аналог 2024. Застосовується для виготовлення високонавантажених деталей та елементів конструкцій (обшивка, силовий набір, кріпильні деталі тощо), що працюють при температурі від мінус 253 до плюс 100 °С. Листи алюмінієвого металу, плаковані алюмінієм – Д16.А.Т. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 490 до плюс 500 °С, охолодження у воді; старіння природне за кімнатної температури, не менше 36 годин на повітрі.

Сплав алюмінієвий АК6 (система Al-Cu-Mg-Si). Застосовується виготовлення штампозварених і кованих відповідальних силових деталей складної конфігурації, що працюють при температурі від мінус 253 до плюс 150 °С. Сплав застосовується в загартованому та штучно зістареному стані – АК6.Т1. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 505 до плюс 525 °С, охолодження у воді; старіння штучне за температури від плюс 150 до плюс 165 °С, витримка від 6 до 15 годин, охолодження на повітрі.

Сплав алюмінієвий АК8 (система Al-Cu-Mg-Si), сплав-аналог 2014. Застосовується для виготовлення високонавантажених деталей, що працюють в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 200 °С (корпуси, кільця, напрямні). Сплав застосовується у загартованому та штучно зістареному стані – АК8.Т1. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 495 до плюс 505 °С, охолодження у воді; старіння штучне за температури від плюс 165 до плюс 175 °С, витримка від 10 до 12 годин, охолодження на повітрі.

Сплав алюмінієвий В95 (система Al-Zn-Mg-Cu), сплав-аналог 7075. Застосовується для виготовлення силових елементів конструкцій, що працюють на стиск або зсув (обшивка крила, шпангоути, лонжерони, стрингери) в інтервалі температур від мінус 70 до плюс 125 °С. При застосуванні сплаву необхідно ретельно відпрацьовувати конструкційні форми та наносити антикорозійні покриття. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 460 до плюс 475 °С, охолодження у воді; штучне старіння за температури від плюс 115 до плюс 125 °С, витримка від 23 до 25 годин, охолодження на повітрі.

Алюмінієвий сплав В65 (система Al-Cu-Mg). Застосовується для виготовлення заклепок з поставкою в термічно зміцненому стані (гарт+старіння) без обмеження часу розклепування – В65.Т. Міцність на зріз становить щонайменше 250 МПа. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 520 до плюс 530 °С, охолодження у воді; старіння природне при температурі плюс 20 °С протягом 40 годин на повітрі.

Сплав алюмінієвий АВ (система Al-Mg-Si), сплав-аналог 6151. Застосовується для деталей літаків, двигунів, від яких потрібна висока пластичність у холодному та гарячому станах: лопатей вертольотів, штампованих та кованих деталей складної форми. Сплав застосовується у загартова-

ному та штучно зістареному стані – АВ.Т1. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 510 до плюс 530 °С, штучне старіння при температурі від плюс 160 до плюс 170 °С протягом 10-12 годин, охолодження на повітрі.

Сплав алюмінієвий АД1, сплав-аналог АІ99,3. Застосовується для виготовлення малонавантажених елементів конструкцій, що працюють в інтервалі температур мінус 150 до плюс 150 °С. Сплав володіє високим опором корозії, високою електро- та теплопровідністю.

Ливарні сплави алюмінію – це сплави алюмінію з кремнієм (від 8 до 13%) та невеликою кількістю добавок міді, марганцю і магнію, що називаються силуміни. Порівняно з алюмінієм силуміни відрізняються механічними властивостями, гарною оброблюваністю, високою рідкотекучістю і незначною усадкою при застиганні. Їх маркують літерами АЛ (алюміній ливарний) і цифрою, яка показує умовний номер сплаву (АЛ2, АЛ4 тощо). Силуміни застосовують для відливання деталей двигунів, корпусів, різних приладів. Ливані сплави алюмінію, що застосовуються в виробках РКТ ДП «КБ «Південне»: АЛ9, АЛ321, АК9 (АЛ4), АЛ2.

Алюмінієвий сплав АЛ321 (АМ5МцХКд – АІСu5MnCrCd). Застосовується для виготовлення навантажених тонкостінних деталей, що працюють в інтервалі температур від мінус 196 до плюс 200 °С. Сплав має високі механічні властивості, корозійну стійкість, зварюваність і ливарні властивості. Термічна обробка: нагрівання під загартування від плюс 530 до плюс 540 °С, від 7 до 8 годин, загартування з температури від плюс 535 до плюс 543 °С, від 8 до 10 годин, охолодження у воді від плюс 70 до плюс 90 °С; старіння штучне за температури від плюс 170 до плюс 180 °С, від 6 до 8 годин, охолодження на повітрі.

Сплав алюмінієвий АЛ9 (АК7ч - АІSi7MgFe), сплав-аналог SG70 А. Застосовується для виготовлення складних конфігурації деталей, що працюють при середніх навантаженнях в інтервалі температур від мінус 196 до плюс 150 °С. Сплав має гарні ливарні властивості, герметичність, зварюваність і корозійну стійкість. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 530 до плюс 540 °С, від 2 до 6 годин, охолодження у гарячій воді плюс 100 °С; старіння штучне за температури від плюс 150 до плюс 200 °С.

Алюмінієвий сплав АК9 (АЛ4), сплав-аналог GK-АІSi10Mgwa. Застосовується для виготовлення великих і середніх за габаритами, складних по конфігурації деталей, що працюють при середніх навантаженнях в інтервалі температур від мінус 196 до плюс 175 °С. Сплав має високі ливарні властивості та герметичність, хорошу корозійну стійкість і зварюваність.

Алюмінієвий сплав АЛ2, сплав-аналог АІSi2. Застосовується для виготовлення складних тонкостінних за конфігурацією деталей, що працюють при малих навантаженнях в інтервалі температур від мінус 196 до плюс 200 °С. Сплав має високі ливарні властивості та герметичність, хорошу корозійну стійкість і зварюваність.

Фізичні властивості алюмінієвих сплавів представлені у таблиці 4.5. Механічні властивості алюмінієвих сплавів представлені у таблиці 4.6.

Ми знаємо, що метали не є прозорими матеріалами. Найтонша пластинка металу не пропускає світла. А сьогодні вчені з цим висновком не погоджуються і стверджують, що метал може бути прозорим. Він втричі міцніший за сталь і при цьому прозорий. Це вже реальність. Перші зразки цього дива були отримані німецькими вченими з лабораторії фізики Фраунгофера. Технологія виготовлення такого металу полягає в спіканні найдрібніших часток алюмінію при дуже високих температурах. Правильно підібравши розміри часток, можна домогтися високої прозорості матеріалу. Для поліпшення оптичних властивостей у процесі спікання додають рідкоземельні домішки. Вчені прогнозують прозору алюмінію велике майбутнє.

Таблиця 4.5 – Фізичні властивості алюмінієвих сплавів в діапазоні температур 20- 400 С

Марка ма- теріалу	Щільність γ , г/см ³	Коефіцієнт теплопро- відності λ , Вт/(м·°С)	Питома теплоєм- ність c , Дж/(г·°С)	Коефіцієнт лінійно- го розширення $\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹
АМг1	2,70	84,0 - 193,0	0,922 -1,09	23,4 -26,2
АМг3	2,67	151,0 - 159,0	0,88 -1,05	23,5 - 26,1
АМг6	2,64	105,5 - 184,4	0,922 - 1,09	24,7 - 27,43
Д1	2,8	117,0 - 174,0	0,922 - 1,05	22,9 - 25,0
Д16	2,78	117,0 - 163,0	0,922–1,17	22,9–26,5
АК6	2,75	176,0 - 189,0	0,796 - 1,00	21,4 - 23,8
АК8	2,8	159,0 - 180,0	0,843 - 1,088	22,0 - 24,8
В95	2,85	155,0 - 163,0	0,522 - 1,05	23,1 - 25,1
В65	2,8	147,0 - 184,0	0,964 - 1,17	–
АВ	2,70	176,0 - 188,4	0,795 - 1,088	23,5 - 25,4
АД1	2,71	218,0 - 196,0	0,300 - 0,901	24,0 - 25,6
АЛ321	2,82	140,4 - 150,0	0,91	23,7 - 24,2
АЛ9	2,65	166,0	1,0	19,4
АК9	2,65	155,0	0,755	21,7
АЛ2	2,65	168,0	0,838	21,1

Таблиця 4.6 – Механічні властивості алюмінієвих сплавів.

Марка матеріалу	Температ. випробу- вання, °С	Межа міцно- сті σ_B , МПа	Межа плинно- сті $\sigma_{0,2}$, МПа	Модуль пружно- сті Е, ГПа	Відносе подов- ження δ , %	Віднос- не зву- ження ψ , %	Удар. в'язка · КСУ, Дж/с м ²	Коеф. Пуас- сона μ
АМг1	-70	130	–	70	35	–	–	–
	20	110	–	–	25	–	–	0,3
	150	100	–	–	30	–	–	–
	300	50	–	–	65	–	–	–
АМг3	-70	250	120	72,5	30,0	–	–	–
	20	230	120	71	25,0	–	40,0	0,32
	150	190	100	67	35,0	–	–	–
	300	100	60	52	60,0	–	–	–
АМг6.М	-70	350,0	–	74,5	26,0	–	–	–
	20	315,0	162,0	70,0	22,0	25,0	35,0	0,32
	150	245,0	137,0	67,7	42,0	–	–	–
	300	127,0	59,0	53,9	55,0	–	–	–
АМг6.НП П	20	431,0	329,0	70,0	12,6	20,5	15,0	0,32
	250	181,0	162,0	60,8	56,3	–	20,0	–
Д1	20	370,0	190,0	72,0	15,0	–	–	–
Д16.Т	-70	460,0	340,0	–	–	–	–	–
	20	426,0	270,0	67,6	19,0	15,7	18,0	0,33
	100	402,0	264,0	65,6	18,0	–	–	0,38
	250	274,0	182,0	57,8	9,0	9,8	–	0,4

Марка матеріалу	Температ. випробування, °С	Межа міцності σ_B , МПа	Межа плинності $\sigma_{0,2}$, МПа	Модуль пружності Е, ГПа	Відносне подовження δ , %	Відносне зрушення ψ , %	Удар. в'язка КСУ, Дж/с м ²	Коеф. Пуассона μ
АК6.Т1	20	390,0	290,0	70,0	12,0	25,0	18,0	0,31
	100	355,0	–	–	10,0	–	–	–
	300	100,0	180,0	–	23,0	70,0	–	–
АК8.Т1	20	470,0	375,0	72,1	12,0	–	–	–
	200	235,0	225,0	65,6	18,0	–	–	–
	250	195,0	–	63,2	18,0	–	–	–
В95.Т1	-70	635,0	570,0	–	–	–	–	–
	20	580,0	520,0	70,6	26,5	6,0	–	–
	100	540,0	490,0	–	–	6,0	–	–
	200	320,0	290,0	–	–	7,0	–	–
В65.Т1	20	392,0	255,0	69,5	20,0	50,0	–	0,31
	100	363,0	245,0	–	22,0	54,0	–	–
	300	147,0	88,0	–	23,0	77,0	–	–
АВ.Т1	20	342,0	314,0	–	12,0	–	–	–
	100	314,0	284,0	70,0	12,0	–	–	0,32
	250	157,0	127,0	–	12,0	–	–	–
АД1.М	-70	103,0	44,2	–	43,0	89,0	110,0	–
	20	78,4	40,0	69,6	35,0	80,0	90,0	0,28
	150	49,0	–	60,8	65,0	–	–	–
АЛ321	-70	392,0	350,0	–	3,0	6,7	–	–
	20	392,0	350,0	–	3,0	5,6	–	–
	200	309,0	290,0	–	6,8	15,5	–	–
АЛ9	20	220,0	160,0	72,0	3,0	–	–	–
АК9	20	260,0-290,0	160,0-200,0	70,0	2,0-4,0	–	–	–
АЛ2	20	160,0-190,0	80,0-120,0	70,0	5,0-6,0	–	–	–

5. СПЛАВИ ЗАЛІЗА (ЧАВУНИ, СТАЛІ), ЩО ЗАСТОСОВАНО ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ВИРОБІВ ДП «КБ «ПІВДЕННЕ»

Сплав заліза з вуглецем, який містить понад 2,14 (до 6,67) % вуглецю, називають чавуном.

Чавун – первинний матеріал металургійної переробки залізних руд. Матеріали для одержання (плавки) чавуну в доменній печі називають шихтою. Шихта складається із залізної руди, яку попередньо готують для плавки, вапняку, необхідного для утворення шлаків, і палива, яким є металургійний кокс. Перед завантаженням у доменну піч залізну руду подрібнюють за допомогою спеціальних машин до шматків розміром 30-100 мм і збагачують, відокремлюючи від неї, по можливості, порожню породу. Для розплавлення залізної руди в доменній печі необхідна висока температура, яка утворюється за рахунок спалювання палива. Основним паливом є кокс, який одержують шляхом сухої перегонки кам'яного вугілля. Для горіння палива потрібен кисень, який беруть з повітря, що нагнітається в доменну піч. Порожня порода має дуже високу температуру плавлення. Щоб полегшити її розплавлення, застосовують флюси. Флюси, взаємодіючи з порожньою породою і золою, утворюють легкоплавкий шлак. Зазвичай, як флюс застосовують вапняк. Таким чином, залізна руда, паливо і флюси утворюють шихту, яку в певному порядку завантажують у доменну піч.

Процеси кристалізації залізовуглецевих сплавів та перетворення в їх структурах при повільному охолодженні до кімнатної температури відображає діаграма стану залізовуглецевих сплавів (Fe-Fe₃C) (рис. 5.1). По горизонталі відкладають концентрацію вуглецю. Найбільший вміст його (6,87%) відповідає хімічній сполуці Fe₃C – карбїду заліза, який називається **цементитом**. Тому вісь концентрацій має подвійну шкалу, яка при співвідношенні 1:15 показує вміст вуглецю і цементиту в залізовуглецевих сплавах, і діаграму ще називають цементитною.

Лінію, яка характеризує початок твердіння сплавів, називають **лінією ліквідус** (від лат. liquidus – рідкий), а лінію, що характеризує закінчення твердіння – **солідус** (від лат. solidus – твердий). Вище лінії ліквідус всі сплави перебувають у рідкому стані, а нижче лінії солідус – у твердому.

Лінія ABCD (ліквідус) – геометричне місце точок, що відповідає **температурам початку кристалізації сплавів**. **Лінія ANJESF** є **лінією солідус**. Нижче цієї лінії всі залізовуглецеві сплави перебувають у твердому стані. Залежно від концентрації вуглецю утворені структурні складові мають різні властивості.

Ферит – твердий розчин проникнення вуглецю в α-залізі з граничною концентрацією 0,02% С при 727°C і 0,006% при кімнатній температурі, має невелику твердість і міцність, але високу пластичність.

Аустеніт – твердий розчин проникнення вуглецю в γ-залізі з граничною концентрацією 2,14% С при 1147°C і 0,38%С при 727°C також має невисоку твердість і високу пластичність. При кімнатній температурі у звичайних залізовуглецевих сплавах аустеніт відсутній.

Цементиту притаманна висока твердість, що в десять разів перевищує твердість чистого заліза і практично нульову пластичність. Його температуру плавлення 1250°C встановлено приблизно, оскільки в процесі нагрівання він розпадається з виділенням графіту.

Сталь, що містить 0,83%С, називається **евтектоїдною** або **перлітною**. Відповідно до цього сталі, розміщені ліворуч від точки S, називають **доевтектоїдними**, а ті, що праворуч, - **заевтектоїдними**.

Чавуни поділяються на **доевтектичні** з вмістом вуглецю від 2,14 до 4,3 %, **евтектичні** з вмістом вуглецю 4,3% і **заевтектичні** з вмістом вуглецю від 4,3 до 6,67%.

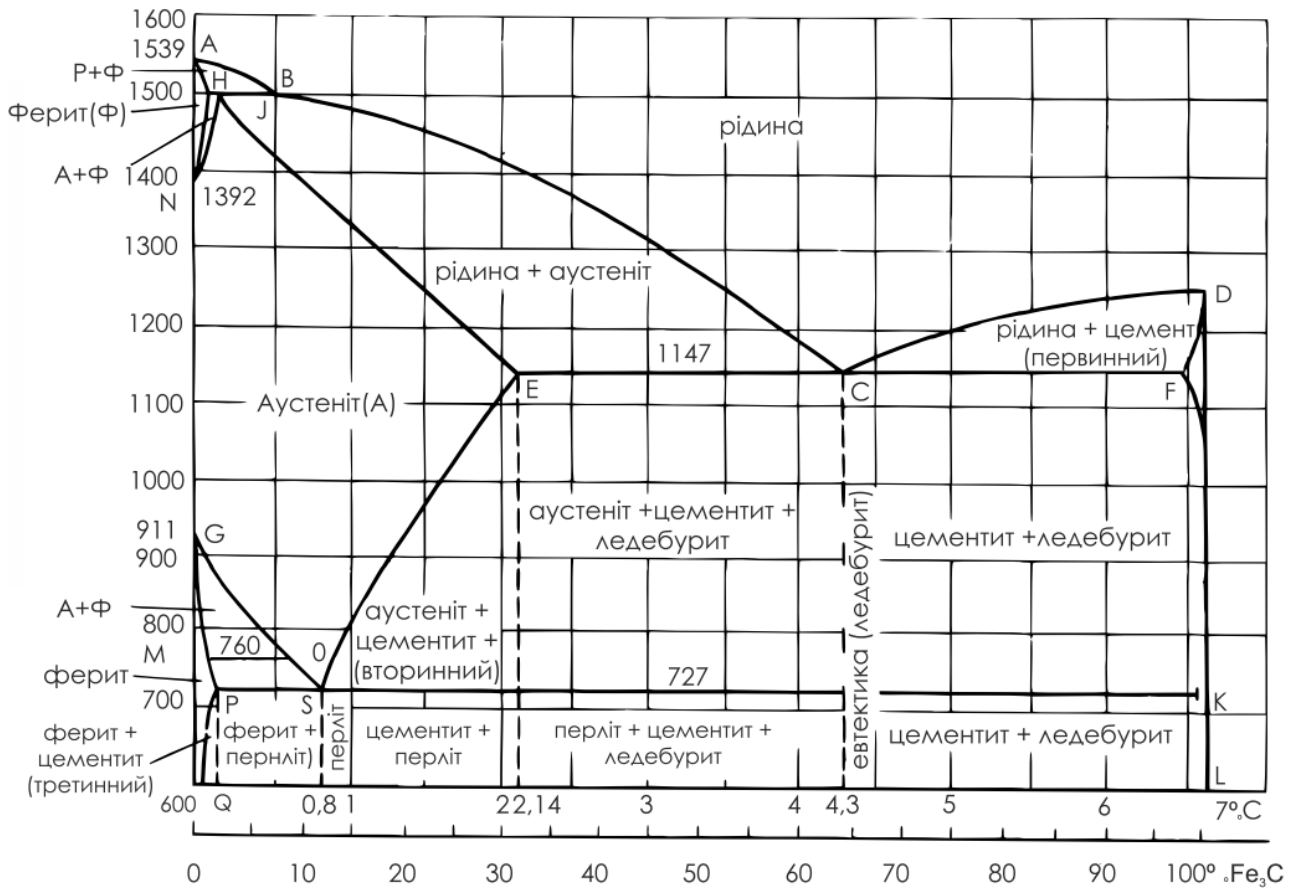


Рисунок 5.1 Діаграма стану залізовуглецевих сплавів

Механічні властивості вуглецевих сталей можна суттєво змінити за допомогою різних видів термічного оброблення.

В виробках «ДП «КБ «Південне» застосовують чавун СЧ20 (найближчі аналоги за хімічним складом GG20 Німеччина; EN-GJL-200 Євросоюз) – сірий чавун. Застосовується для виготовлення відповідальних виливків із товщиною стінок до 30 мм, що вимагають значної міцності: станини верстатів, корпуси електродвигунів, блоки циліндрів, гальмівні барабани тощо. Термообробка: відпал при температурі від плюс 500 до плюс 600 °С, охолодження з піччю до плюс 250 °С з подальшим охолодженням на повітрі; відпал при температурі від плюс 680 до плюс 750 °С, повільне охолодження; нормалізація за температури від плюс 850 до плюс 950 °С, охолодження на повітрі.

Сталь – сплав заліза з вуглецем, який містить до 2,14% вуглецю. Розрізняють вуглецеві і леговані сталі.

Вуглецеві сталі за призначенням поділяють на конструкційні ($C \leq 0,6\%$) і інструментальні ($C > 0,6\%$).

Конструкційні сталі звичайної якості призначені для виготовлення деталей методом холодного оброблення різанням і тиском. До цієї групи належать сталі марок Ст0, Ст1, Ст2, ..., Ст6. Сталь з більшим номером має більшу міцність ($\sigma_v = 320 \dots 750$ МПа), але меншу пластичність ($\delta = 22 \dots 8\%$). Якісні конструкційні сталі призначені для виготовлення деталей, які необхідно термічно оброблювати, тому їх хімічний склад регламентується. Ці сталі маркуються числом, що показує вміст вуглецю у сотих частках відсотка: 08, 10, 15, 20, ..., 60.

В виробках «ДП «КБ «Південне» застосовують вуглецеві сталі: Ст3, 08, 10, 20, 25, 35, 40, 45, 50, 70, 85.

Сталь Ст3, сталь-аналог DIN 1.0038 – вуглецева, застосовується у стані постачання для зварних конструкцій, що працюють за температур від мінус 20 до плюс 425 °С. Термічна обробка: відпал при температурі від 880 до 900 °С, охолодження на повітрі; нормалізація при температурі від плюс 880 до плюс 900 °С, відпустка при температурі плюс 650 °С, охолодження на повітрі.

Сталь 08, сталь-аналог AISI/SAE 1008. Застосовується для виготовлення деталей методом глибокої витяжки, що працюють в інтервалі температур від мінус 50 до плюс 400 °С.

Сталь 10, сталь-аналог AISI/SAE 1010 - сталь низьковуглецева, конструкційна, якісна. Застосовується для виготовлення трубок, прокладок, шайб, бачків, корпусів, муфт, шпильок та інших деталей високої пластичності загального машинобудування; у хімічному машинобудуванні – для патрубків, обіцянок, днищ, трубних ґрат та інших деталей, що працюють при температурах від мінус 20 до плюс 425 °С під тиском. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 790 до плюс 810 °С, охолодження у воді, відпустка при температурі від плюс 180 до плюс 200 °С, охолодження на повітрі.

Сталь 20, сталі-аналоги AISI/SAE 1020, DIN 1.1151 - сталь, що зварюється, цементується. Застосовується для деталей та конструкцій, що працюють за температур від мінус 20 до плюс 475 °С. Термічна обробка: відпал при температурі від 880 до 900 °С, охолодження на повітрі; нормалізація за температури від плюс 880 до плюс 900 °С, відпустка при температурі плюс 650 °С, охолодження на повітрі.

Сталь 25, сталі-аналоги AISI/SAE 1025, DIN 1.1158 - сталь маловуглецева, що зварюється. Застосовується для виготовлення болтів, гвинтів, гайок та інших не силових деталей, що працюють в інтервалі температур від мінус 20 до плюс 475 °С. Термічна обробка: відпал або нормалізація за температури від плюс 880 до плюс 920 °С, охолодження на повітрі.

Сталь 35, сталь-аналог AISI/SAE 1035 - сталь конструкційна, вуглецева, низької прожарюваності. Застосовується для виготовлення деталей, що працюють в інтервалі температур від мінус 50 до плюс 425 °С.

Сталь 40, сталь-аналог AISI/SAE 1040 - сталь середньовуглецева конструкційна якісна. Застосовується для деталей середніх розмірів простої конфігурації, до яких пред'являють вимоги підвищеної міцності і твердості, що працюють без ударних навантажень: ролики, цапфи, втулки, муфти тощо. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 820 до плюс 840 °С, охолодження у воді; відпустка за температури від плюс 490 до плюс 510 °С охолодження на повітрі.

Сталь 45, сталі-аналоги AISI/SAE 1045, DIN 1.1191 – сталь вуглецева конструкційна низької прожарюваності для деталей, що працюють при температурах від мінус 50 до плюс 150 °С, для несучих деталей застосовується тільки в термообробленому стані (відпаленому, високовідпущеному, нормалізованому, загартованому з відпусткою). Термічна обробка: загартування з температури від плюс 840 до плюс 860 °С, охолодження на повітрі або в олії; висока відпустка при температурі від плюс 560 до плюс 700 °С, охолодження на повітрі.

Сталь 50, сталі-аналоги AISI/SAE 1050, CSN 12051 - сталь середньовуглецева конструкційна, якісна. Застосовується для шпинделів, валів, вінців, цапф, бандажів, ресор, пружин, шестерень та інших деталей, що працюють на тертя. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 810 до плюс 830 °С, охолодження у воді; відпустка за температури від плюс 490 до плюс 510 °С охолодження на повітрі.

Сталь 70, сталі-аналоги AISI/SAE 1070; DIN 1.1231 – сталь конструкційна пружинна. Застосовується для виготовлення пружин та інших деталей, від яких потрібні підвищені міцнісні та пружні властивості, а також зносостійкість.

Сталь 85, сталь-аналог AISI/SAE 1085, CSN 12090 - сталь ресорно-пружинна вуглецева якісна. Застосовується для виготовлення круглих та плоских пружин різних розмірів, пружин клапанів двигуна автомобіля, регулювальних прокладок тощо, що працюють в умовах тертя та під дією статичних та вібраційних навантажень, а також дисків зчеплення, випускних клапанів компресора та ін. Сталь має погану зварюваність. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 800 до плюс 820 °С, охолодження в олії, відпустка при температурі від плюс 450 до плюс 480 °С, охолодження на повітрі.

Інструментальні сталі застосовують для виготовлення ріжучого інструменту. Вони мають високу твердість і зносостійкість. Інструментальні сталі поділяють на якісні і високоякісні. Маркуються вони літерою У і числом, що означає вміст вуглецю у десятих частках відсотка. В кінці марки високоякісної сталі додають літеру А, наприклад У7, У7А, У10, У10А, У12, У12А. З ін-

струментальних сталей виготовляють металорізальний інструмент і інструмент для металообробки.

В виробках «ДП «КБ «Південне» застосовують інструментальні сталі:

Сталь У7А, найближча сталь-аналог за хімічним складом BDS U7A – інструментальна нелегована високоякісна сталь. Застосовується для виготовлення інструменту, який працює в умовах, що не викликають розігріву робочої кромки – зубила, борідки, ножиць для різання металу, сокири, кувалди. Термічна обробка для прутків та смуг: загартування з температури від плюс 800 до плюс 820 °С, охолодження у воді; відпустка при температурі від плюс 150 до плюс 220 °С, охолодження в повітрі. Для стрічок застосовують відпал при температурі від 690 до 710 °С, охолодження - з піччю.

Сталь У8А, сталь-аналог DIN 1.1525 – вуглецева. Застосовується для виготовлення плоских та кручених пружин з патентованого дроту та стрічки, що працюють в інтервалі температур від плюс 20 до плюс 150 °С.

ЛЕГОВАНІ СТАЛІ

Легованими називають сталі, до складу яких додають легуючі елементи (Cr, Ni, W, Mo, V, Ti, Co, Mn, Si та ін.), що впливають на механічні і фізико-хімічні властивості сталі. Властивості легованих сталей визначаються складом і вмістом легуючих елементів, а також характером їх взаємодії з залізом і вуглецем. Легуючі елементи можуть розчинятися в залізі (Ni, Co, Al, Si, Mn), або утворювати карбіди (W, Mo, V, Ti та ін.). Карбіди і металеві сполуки підвищують міцність сталі. Маркування легованих сталей складається з літер і цифр. Перші дві цифри вказують на вміст вуглецю у сотих частках відсотка, літери позначають легуючі елементи, а цифри після літер – на вміст легуючих елементів у відсотках. Якщо цифра після літери відсутня, то вміст цього елемента приблизно 1%. В якості легуючих елементів найчастіше застосовують хром (Х), нікель (Н), марганець (Г), кремній (С), вольфрам (В), молібден (М) і ванадій (Ф), значно рідше — кобальт (К), титан (Т), алюміній (Ю) та інші метали. Наприклад, сталь марки 10X18H10T містить 0,1%С, 18%Cr, 10%Ni, 1%Ti.

За ступенем легування сталі поділяють на низьколеговані (вміст легуючих елементів до 2,5%), середньолеговані (вміст легуючих елементів до 2,5-10%) і високолеговані (вміст легуючих елементів більше 10%). Головна мета легування – підвищення міцності, стійкості проти корозії, теплостійкості, жаростійкості, жароміцності. При написанні марки сталі легуючі добавки позначають певними літерами: хром – **Х**, вольфрам – **В**, марганець – **Г**, нікель – **Н**, кремній – **С**, титан – **Т**, молібден – **М**, алюміній – **Ю**, мідь – **Д**, ванадій – **Ф**, **К** – кобальт, **Р** – бор тощо. Літера **А** в кінці марки означає, що сталь високоякісна і вміст шкідливих домішок найменший.

Вплив окремих легуючих елементів на властивості сталі. Хром — при кількості більше ніж 13% надає корозійної стійкості, понад 5% — жаростійкості. Нікель — одночасно з міцністю підвищує ударну в'язкість, а також жароміцність (понад 8%). Кремній — в ресорно-пружинних сталях надає пружності, а у високотемпературних сталях — жаростійкості. Вольфрам і молібден — утворюють важкорозчинні карбіди і при значній кількості (понад 5%) надають сталі теплостійкості. За призначенням леговані сталі поділяють на конструкційні, інструментальні і сталі з спеціальними властивостями.

Конструкційні леговані сталі призначені для виготовлення відповідальних деталей машин і конструкцій. Вони повинні мати високу міцність, в'язкість, а в деяких випадках також твердість і пружність. Приклади таких сталей: низьколеговані маловуглецеві сталі 09Г2, 10Г2С, 15ХСНД. Вони добре зварюються, тому їх використовують у машинобудуванні і будівництві для виготовлення зварних конструкцій, трубопроводів, котлів. Маловуглецеві хромомарганцеві і хромонікелеві сталі 18ХГТ, 20ХГР, 12ХН3А, 15ХГН2ТА використовуються для виготовлення деталей машин, що зазнають знакозмінних і ударних навантажень, а також зношування, наприклад, шестерні, вали, пресувальні матриці тощо.

До сталей з спеціальними властивостями належать високолеговані сталі, що мають особливі хімічні або фізичні властивості: магнітні, електричні, високу корозійну стійкість, жаростійкість, жароміцність.

Корозійностійкі сталі мають високу корозійну стійкість у хімічно активних газових і рідких середовищах, що досягається за рахунок вмісту хрому понад 13%. Стійкість проти корозії підвищується при введенні до складу сталі нікелю, алюмінію, кремнію. Ці елементи утворюють безперервну міцну оксидну плівку. При вмісті хрому понад 12% сталь різко змінює свій електродний потенціал з електронегативного (-0,6В) на електропозитивний (+0,2 В). На поверхні утворюється щільна захисна плівка оксиду Cr_2O_3 . Сталь, що містить 12-14% Cr, стійка проти корозії на повітрі, у морській воді, ряді кислот, лугів і солей. Хромисті сталі корозійностійкі при температурі до 300 °С у водопровідній воді, вологій атмосфері, розчинах азотної кислоти і багатьох органічних кислотах. У морській воді хромисті сталі схильні до корозійного розтріскування при значних механічних навантаженнях. Приклади таких сталей: 10X13, 40X13, 10X25, 12X18H9, 10X18H10T.

Жаростійкі і жароміцні сталі мають здатність чинити опір газовій корозії при підвищених температурах та зберігати достатню міцність при високих температурах. Жаростійкість забезпечується легуванням сталей хромом, кремнієм та алюмінієм, які утворюють захисні плівки $(Fe,Cr)_2O_3$, SiO_2 , Al_2O_3 . До жаростійких сталей відносяться леговані сталі 25X6C10, 40X9C2, 15X25T, 12X18H10T. Жароміцність досягається легуванням тугоплавкими хімічними елементами (хром, нікель, молібден). Як правило, жароміцні сталі мають і високу жаростійкість. Це сталі 15X2MФС, 15X11MФ, 40X10C2M, 10X18H10T, 40X15H7Г7Ф2МС.

У виробках «ДП «КБ «Південне» застосовують такі леговані сталі та сплави:

– жаростійкі та жароміцні корозійностійкі сталі: 12X18H10T, 09X16H4Б, 03X11H10M2T, 03X11H8M2Ф, 01X19H9, 06X19H9T, 08Г2С, 12X18H9, 07X16H6, 10X11H23T3MP, 15X18H12C4ТЮ, 18X2H4МА, 07X21Г7АН5, 07X25H16АГ6Ф, 12X21H5T, 42X11M3Ф, 20X13, 40X13, 12ХН3А, 20ХН3А, 20Х2Н4А, 40ХН, 38ХС, ШХ15;

– високоміцна легована сталь: 28X3СНМВФА;

– вуглецеві леговані сталі: 10ХСНД, 45Х1, 40Х, 51ХФА, 30ХГСА, 09Г2С, 60С2А, 65Г;

– сталі підвищеної оброблюваності: А12, А20;

Сталь А12, сталь-аналог AISI/SAE 1113 – сталь конструкційна підвищеної оброблюваності, що добре обробляється різанням. Застосовується для малонавантажених деталей, що обробляються на верстатах-автоматах, до яких висуваються підвищені вимоги щодо якості поверхні та точності розмірів: осі, валики, втулки, кільця, зубчасті колеса, шестірні, пальці, гвинти, болти. Сталь випускають без термообробки гарячекатаної та каліброваної нагартованої.

Сталь А20, сталь-аналог AISI/SAE 1120 - сталь конструкційна підвищеної оброблюваності. Застосовується в машинобудуванні для дрібних малонавантажених деталей швейних, лічильних машин та приладів, до яких висуваються вимоги високої точності розмірів та чистоти поверхні. Сталь випускають без термообробки гарячекатаної та каліброваної нагартованої;

– електротехнічна сталь: 10880. Сталі-аналоги CSN12014, DIN 1.1013 – сталь електротехнічна, нелегована, застосовується в магнітних ланцюгах електричних апаратів та приладів;

– магнітом'який сплав: 16Х (16Cr), найближчі сплави-аналоги 430F, Пермінокс 2. Сплав із високою індукцією у слабких та середніх полях та низькою коерцитивною силою. Сплав корозійностійкий у середовищі підвищеної вологості (до 98 %), бідистилляти води при температурі до плюс 200 °С та тиском до 200 МПа, у тропічних умовах, а також у морському тумані. Сплав застосовується для магнітопроводів, деталей електричних машин, електромагнітних клапанів, якорів, статорів та роторів електричних машин без захисних покриттів;

– дисперсійно-твердіючий сплав: 36НХТЮ (36NiCrTiAl), сплав-аналог А286. Сплав немагнітний, корозійностійкий. Застосовується виготовлення пружних чутливих елементів приладів і деталей, що працюють у азотної кислоти та інших агресивних середовищах в інтервалі температур від мінус 196 до плюс 300 °С;

– ливарні сталі: 30Л, 35Л, 10X18H11БЛ, 32X06Л, 35ХГСЛ;

Сталь 30Л, сталь-аналог DIN 1.0551 – для виливків нелегована. Застосовується виготовлення важелів, кронштейнів, деталей зварно-литих конструкцій, станин, балок та інших деталей, які працюють під впливом середніх статистичних і динамічних навантажень. Термічна обробка: нор-

малізація за температури від плюс 800 до плюс 900 °С; відпустка при температурі від плюс 610 до плюс 630 °С, охолодження в повітрі.

Сталь 35Л, сталь-аналог DIN 1.0552 – сталь вуглецева, що зварюється низькою прожарюваністю. Застосовується для виготовлення станин прокатних валків, засувок, діафрагм та інших деталей, що працюють під дією статичних та динамічних навантажень в інтервалі температур від мінус 50 до плюс 425 °С. Термічна обробка: нормалізація за температури від плюс 800 до плюс 900 °С; відпустка за температури від плюс 610 до плюс 630 °С, повітря.

Сталь 10X18H11БЛ (10Cr18Ni11Nb), сталь-аналог J92640. Сталь корозійностійка, для виливків, зварюється, жароміцна до плюс 800 °С. Має стійкість проти міжкристалітної корозії. Застосовується для деталей, що працюють при малих навантаженнях в інтервалі температур від 253 до плюс 800 °С. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 1100 до плюс 1500 °С, охолодження у воді.

Сталь 32X06Л (32Cr06), найближча сталь-аналог з хімічного складу: BDS 30ChL. Сталь конструкційна легована для виготовлення виливків. Застосовується для виготовлення різних деталей вагобудування, а також кронштейнів, балансирів, ковзаник та інших відповідальних деталей зі стінкою завтовшки до 50 мм та загальною масою деталі до 80 кг. Обмежено зварювана. Термообробка: загартування з температури від плюс 890 до плюс 910 °С, охолодження в маслі; відпустка за температури від плюс 620 до плюс 660 °С, охолодження на повітрі.

Сталь 35ХГСЛ (35CrMnSi) – сталь для виливків звичайна, застосовується для виготовлення виробів, до яких пред'являються вимоги підвищеної зносостійкості – зубчасті колеса, зірочки осі, вали, муфти та інші відповідальні деталі. Обмежено зварювана – зварювання можливе при підігріві від плюс 100 до плюс 120 °С та подальшій термообробці. Термічна обробка: загартування від температури плюс 880 до плюс 900 °С, охолодження в маслі; відпустка за температури від плюс 570 до плюс 630 °С, охолодження в маслі;

– жароміцні сплави: ХН60ВТ, ХН67МВТЮ; ХН77ТЮРУ

Сплав ХН60ВТ (CrNi60WТi) – жаростійкий та жароміцний. Застосовується для зварювальних конструкцій, деталей турбін та камер згоряння, що працюють в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 1000 °С. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 1150 до плюс 1200 °С, охолодження на повітрі або у воді.

Сплав ХН67МВТЮ (CrNi67MoWТiAl) – жароміцний та жаростійкий, сплави-аналоги Inconel 625, DIN 2.4856. Застосовується для штампо-зварних конструкцій, що працюють в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 900 °С. Сплав застосовують у литому та деформованому стані. Термічна обробка: загартування від температури плюс 1100 до плюс 1150 °С, витримка 5 годин, охолодження на повітрі; старіння за плюс 800 до плюс 850 °С, витримка в інтервалі часу від 5 до 10 годин, охолодження на повітрі.

Сплав ХН77ТЮРУ (CrNi77TiAlB) - сплав жароміцний. Застосовується в турбобудуванні (робочі лопатки, турбінні диски, кільця та інші деталі газових турбін) для служби при температурах до плюс 750 °С, для виготовлення пружин, що працюють в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 500 °С, для виготовлення роторів електроерозійним методом (з наступним паянням бандажу), що працюють при температурах до плюс 750 °С. Термічна обробка: нагрівання до плюс 1080 °С, витримка 8 годин, охолодження на повітрі; штучне старіння при температурі від 750 до 775 °С, витримка 16 годин, охолодження на повітрі;

– будівельні сталі: С245, С345, С590, С590К.

Сталь С245 - сталь будівельна, марка сталі Ст3, низьковуглецева. Застосовується для виготовлення гарячекатаного фасонного та листового прокатів та гнутих профілів, призначених для будівельних сталевих конструкцій зі звареними або іншими з'єднаннями. Механічні властивості: $\sigma_b \geq 370$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 245$ МПа, $\delta \geq 25$ %.

Сталь С345 - сталь будівельна, марка сталі 09Г2С (09Mn2Si), вуглецева низьколегована підвищеної міцності. Застосовується для виготовлення гарячекатаного фасонного та листового прокатів та гнутих профілів, призначених для будівельних сталевих конструкцій зі звареними та іншими з'єднаннями. Механічні властивості: $\sigma_b \geq 490$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 345$ МПа, $\delta \geq 21$ %.

Сталь С590 - сталь будівельна, марка сталі 12Г2СМФ (12Mn2SiMoV), конструкційна низьколегована вуглецева. Застосовується для виготовлення гарячекатаного фасонного прокату та гнутих профілів, призначеного для будівельних сталевих конструкцій зі звареними та іншими з'єднаннями. Механічні властивості: $\sigma_v \geq 685$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 590$ МПа, $\delta \geq 14$ %.

Сталь 590К - сталь будівельна, марка сталі 12ГН2МФАЮ (12MnNi2MoVNAI), конструкційна низьколегована вуглецева. Застосовується для виготовлення гарячекатаного фасонного прокату та гнутих профілів, призначеного для будівельних сталевих конструкцій зі звареними та іншими з'єднаннями. Механічні властивості: $\sigma_v \geq 685$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 590$ МПа, $\delta \geq 14$ %.

Запитання для самоперевірки:

1. Що таке вуглецеві сталі?
2. Від який чинників і як залежать властивості вуглецевих сталей?
3. Що таке леговані сталі?
4. З якою метою сталі легують?
5. Як леговані сталі поділяють за використанням?
6. Що таке чавун?

6. СПЛАВИ ТИТАНУ ТА КОЛЬОРОВІ СПЛАВИ ДЛЯ ВІТЧИЗНЯНИХ РН ТА ОТРК

Титан (Ti) – метал сріблясто-білого кольору. Температура плавлення – 1660°C. Має дві поліморфні модифікації. При температурі 882°C титан зазнає поліморфне перетворення, -титан з гексагональної ґратами Ti α (ГГ) переходить в - титан з об'ємно-центрованої кубічної ґратами Ti β (ОЦК). Наявність поліморфізму у титану створює передумови для поліпшення властивостей титанових сплавів за допомогою термічної обробки.

Щільність 4320кг/м³. Титан має низьку теплопровідність. Титан має високу міцність, гарну пластичність, його механічні властивості: $\sigma_B=500$ МПа, $\delta=30\%$. Чистий титан обробляється тиском, зварюється, однак обробка різанням ускладнена. Титан, внаслідок утворення на поверхні окисної плівки має стійкість проти корозії. При нагріванні вище 500°C стає дуже активним елементом. Він або розчиняє майже всі дотичні з ним речовини, або утворює з ними хімічні сполуки.

Титанові сплави добре обробляються тиском, мають гарні ливарні і механічні властивості, їх використовують для виготовлення деталей високої питомої міцності.

Титанові сплави мають ряд переваг в порівнянні з іншими:

- поєднання високої міцності з хорошою пластичністю;
- мала щільність, що забезпечує високу питому міцність;
- хороша жароміцність до 600 ... 700 °C;
- висока корозійна стійкість в агресивних середовищах.

Однорідні титанові сплави, які не піддаються старінню, використовують в криогенних установках до гелієвих температур.

Для покращення механічних та технологічних властивостей з титану легуванням (Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zr, Si) отримують сплави. Титанові сплави в залежності від їх складу можна піддавати термічній обробці. За структурою розрізняють α -сплави, що не зміцнюються і $\alpha + \beta$ – сплави, які зміцнюються гартуванням з старінням. Найбільше поширення отримали α – сплави ВТ5, ОТ4 та $\alpha + \beta$ – сплави ВТ6, ВТ8, ВТ14. Збільшення порядкового номеру сплаву відповідає зростання міцності. В результаті легування титанових сплавів можна отримати потрібний комплекс властивостей. Легуючі елементи, що входять до складу промислових титанових сплавів, утворюють з титаном тверді розчини заміщення і змінюють температуру алотропічного перетворення.

Часто титанові сплави легують алюмінієм, він збільшує міцність і жароміцність, зменшує шкідливий вплив водню, збільшує термічну стабільність. Для підвищення зносостійкості титанових сплавів їх піддають цементації або азотуванню.

Основним недоліком титанових сплавів є погана оброблюваність ріжучим інструментом.

За способом виробництва деталей різняться деформовні (ВТ 9, ВТ 18) і ливарні (ВТ 21л, ВТ 31Л) сплави.

В сучасних виробках ДП «КБ «Південне» під час проектування закладено такі титанові сплави: ВТ6, ВТ6С, ВТ23, ВТ20, ВТ20Л, ВТ14, ОТ-4, ВТ3-1, ВТ5, ВТ8.

Титановий сплав ВТ6 ($\alpha+\beta$ сплав), сплав-аналог Ti-6Al-4V, DIN 3.7165; DIN 3.7164. Застосовується для виготовлення силових деталей, які працюють тривалий час в інтервалі температур від мінус 50 до плюс 450 °C. Сплав має високу корозійну стійкість в умовах промислової та морської атмосфер, у морській воді. Термічна обробка: відпал при температурі від плюс 800 °C, витримка 60 хвилин, охолодження в повітрі. У складі ракети космічного призначення «МАЯК-22» з цього сплаву виробляється шпангоут донного захисту корпусу ХО.

Титановий сплав ВТ6С ($\alpha+\beta$ сплав), сплав-аналог Ti-6Al-4V ELI. Застосовується для виготовлення штампозварних силових деталей, працює довго за температури до плюс 400 °C і короткочасно до плюс 800 °C. Сплав має високу міцність, технологічність при обробці тиском, хороші ливарні властивості, зварюється всіма видами зварювання. Термічна обробка: відпал при температурі від 750 до 800 °C, витримка від 15 до 60 хвилин, охолодження на повітрі. У складі ракети космічного призначення «МАЯК-22» із цього сплаву виготовляються балони наддуву корпусу бака окислювача.

Титановий сплав ВТ23 ($\alpha+\beta$ сплав, Ti-5Al-4,5V-2Mo-1Cr-0,6Fe), найближчий сплав-аналог SP-700 (Ti-4,5Al-3V-2Mo-2Fe). Застосовується для виготовлення штампозварних конструкцій аерокосмічної техніки (шпангоути, обшивка, корпуси та ємності високого внутрішнього тиску), що працюють при температурах від мінус 100 до плюс 500 °С. Сплав корозійностійкий у морській воді та вологій морській атмосфері. Термічна обробка: відпал при температурі плюс 825 °С, охолодження на повітрі; загартування з температури плюс 775 °С, охолодження у воді; старіння за температури плюс 450 °С, витримка 10 годин, охолодження повітря.

Титановий сплав ВТ20, ВТ20Л (α -сплав, Ti-6Al-1,5V-1,5Mo-2Zr-0,3Fe), сплав-аналог Ti6242S. Жароміцний сплав, застосовується в деталях газотурбінного двигуна, корпусних деталях, зварних вузлах, які тривало (до 5000 годин) працюють при температурі плюс 500 °С, і короткочасно (до 5 хвилин) при температурі до плюс 800 °С. Сплав застосовується у відпаленому стані. Термічна обробка: відпал при температурі від 780 до 800 °С, витримка від 15 до 60 хвилин, охолодження на повітрі.

Титановий сплав ВТ14 ($\alpha+\beta$ сплав), сплав-аналог Ti-431. Застосовується для виготовлення силових конструкцій, у тому числі для деталей кріплення, що працюють при температурах від мінус 196 до плюс 450 °С, та ємностей високого тиску, що працюють в інтервалі температур від мінус 50 до плюс 80 °С. Термічна обробка: нагрівання за температури від плюс 870 до 910 °С, охолодження у воді; старіння за температури від плюс 480 до плюс 560 °С, охолодження на повітрі.

Титановий сплав ОТ-4 (Ti-4Al-1,5Mn), найближчий сплав-аналог TC2 (Ti-3Al-1,5Mn). Застосовується для виготовлення деталей, вузлів, у тому числі зварних, які тривало працюють в інтервалі температур від мінус 196 до плюс 300 °С. Також застосовується у конструкційному та обшивальному матеріалі, що працює тривало при температурі від плюс 350 до плюс 450 °С. Сплав має високу корозійну стійкість в умовах промислової та морської атмосфер, добре деформується в гарячому стані та обмежено в холодному, добре зварюється.

Титановий сплав ВТ3-1 ($\alpha+\beta$ сплав), сплав-аналог IMI 551 (Ti-4Al-4Mo-4Sn-0,5Si). Застосовується для виготовлення лопаток, дисків, кілець, кріплень та інших деталей, що працюють тривалий час за температур до плюс 400 °С (6000 годин і більше) і до 2000 годин при плюс 450 °С. Застосовують у відпаленому та термічно зміцненому станах. Термічна обробка: нагрівання за температури плюс 870 °С, витримка 60 хвилин, охолодження до плюс 650 °С, витримка 120 хвилин, охолодження на повітрі.

Титановий сплав ВТ5 (α -сплав). Застосовується для виготовлення деталей та конструкцій, що працюють тривало від плюс 350 до плюс 450 °С. Термічно непорушний, має гарні ливарні властивості, задовільно обробляється різанням. Сплав має гарну зварюваність. Термічна обробка: відпалювання при температурі від плюс 800 до плюс 850 °С з подальшим охолодженням на повітрі.

Титановий сплав ВТ8 ($\alpha+\beta$ сплав), сплав-аналог Ti-7-4 (Ti-7Al-4Mo). Застосовується для виготовлення поковок, штампувань, прутків та плит, що працюють тривалий час (6000 годин та більше) у відпаленому стані при температурах до плюс 500 °С; у термічно зміцненому стані до плюс 450 °С та короткий час (100 годин) при плюс 500 °С. Сплав термічно зміцнюється, задовільно деформується в гарячому стані. Термічна обробка: подвійний відпал при температурі від плюс 920 до плюс 950 °С, витримка від 1 до 4 годин, охолодження на повітрі; нагрівання при температурі від плюс 570 до плюс 600 °С, витримка 1 година, охолодження на повітрі.

Фізичні властивості титанових сплавів представлені таблиці 8. Механічні властивості титанових сплавів представлені таблиці 9.

Таблиця 8 – Фізичні властивості титанових сплавів

Марка матеріалу	Щільність γ , г/см ³	Температура випробувань, °С	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·°С)	Питома теплоємність c , Дж/(г·°С)	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹
BT6	4,43	20	9,0	–	–
		200	10,9	0,587	8,9
		500	13,8	0,796	10,5
BT6C	4,45	25	8,4	–	–
		200	10,5	0,587	8,7
		500	14,7	0,712	9,6
BT14	4,5	20	8,9	–	–
		200	10,5	0,545	8,2
		600	15,5	0,712	8,7
BT23	4,57	20	8,37	–	–
		200	11,3	0,586	8,6
		400	13,4	0,668	10,5
BT20	4,45	20	8,0	–	–
		200	10,2	0,587	8,9
		600	15,1	0,755	9,5
OT-4	4,43	20	–	–	8,0
		200	11,3	0,566	9,1
		500	14,6	0,755	9,8
BT3-1	4,5	20	8,0	–	–
		200	10,1	0,608	9,5
		600	15,5	0,712	10,5
BT5	4,4	20	8,8	–	–
		200	10,5	0,587	8,6
		500	14,2	0,712	9,5
BT8	4,48	20	7,1	–	8,3
		200	9,6	0,545	8,7
		500	14,2	0,628	8,8

Таблиця 9 - Механічні властивості титанових металів

Марка матеріалу	Температура випробування, °С	Межа міцності σ_b , МПа	Межа плинності $\sigma_{0,2}$, МПа	Модуль пружності E , ГПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Удар В'язк. КСУ, Дж/с м ²	Коефіцієнт Пуассона μ
BT6	20	1127,0	1029,0	122,5	8,0	30,0	24,0	0,33
	300	853,0	735,0	100,0	8,0	40,0	–	–
	400	804,0	588,0	99,0	9,0	50,0	–	–
BT6C	-196	1284,0	1245,0	–	7,0-10,0	20,0-	39,0	–
	20	882,0	804,0	117,0	10,0-15,0	40,0	59,0	0,33
	200	735,0	657,0	108,0	12,5	30,0-	–	–
	500	588,0	490,0	83,3	14,0	70,0	–	–

Марка матеріалу	Температура випробування, °С	Межа міцності σ_b , МПа	Межа плинності $\sigma_{0,2}$, МПа	Модуль пружності Е, ГПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Удар В'язк. КСУ, Дж/см ²	Коефіцієнт Пуассона μ
ВТ14	20	1030,0	820,0	120,0	6,0	6,0-14,0	59,0-118,0	0,33
	350	834,0	686,0	–	3,5	–	–	–
	500	686,0	490,0	67,0	6,0	6,0-10,0	–	–
ВТ23	-70	1127,0	–	–	9,0	–	30,0	0,3
	20	1078,0	980,0	113,0	14,0	16,0-	30,0	0,31
	100	980,0	882,0	111,0	18,0	30,0	–	0,31
	300	833,0	686,0	105,0	15,0	–	–	0,31
ВТ20	-196	1380,0	1320,0	–	6,0	20,0	24,0	–
	20	932,0	834,0	118,0	10,0-20,0	15,0	48,0	0,34
	350	687,0	588,0	95,0	10,0	40,0	–	–
	550	580,0	421,0	75,0	–	50,0	–	–
ВТ20Л	-70	1079,0	–	–	5,0	13,0	–	–
	20	883,0	784,0	105,9	8,0	20,0	0,34	–
	350	618,0	481,0	91,2	10,0	34,0	–	–
	500	549,0	431,0	79,4	12,0	35,0	–	–
ОТ4	20	784,0-	686,0	107,8	9,0	47,0	–	0,3
	300	509,6	431,2	84,28	8,0	62,0	–	–
	550	441,0	333,2	71,54	11,0	76,0	–	–
ВТ3-1	20	980,0	911,4	112,7	4,0-10,0	30,0	24,5	–
	100	931,0	784,0	110,74	6,0	45,0	29,4	–
	400	780,0	617,4	98,0	6,0	55,0	–	–
	600	519,4	176,4	78,4	–	80,0	–	–
ВТ5	20	735,0	637,0	104,0	5,0	12,0	30,0	–

МІДЬ ТА ЇЇ СПЛАВИ

Мідь має гранецентровану кубічну решітку. Щільність міді 8,94 г/см³, температура плавлення 1083 °С.

Характерним властивістю міді є її висока електропровідність, тому вона знаходить широке застосування в електротехніці. Технічно чиста мідь маркується: М00 (99,99% Cu), М0 (99,95% Cu), М2, М3 і М4 (99% Cu). Механічні властивості міді відносно низькі: межа міцності становить 150 ... 200 МПа, відносне подовження - 15 ... 25%. Тому як конструкційний матеріал мідь застосовується рідко.

В виробках «ДП «КБ «Південне» застосовують:

Мідні сплави М1, сплав-аналог С12200, сплав М3, сплав-аналог С14200. Застосовуються для виготовлення контактів, шин струмоведучих деталей, і навіть ущільнювальних кілець, шайб, заклепок, що працюють при температурах від мінус 253 до плюс 250 °С. Термічна обробка: відпал при температурі від плюс 500 до плюс 700 °С залежно від товщини матеріалу, охолодження на повітрі.

Підвищення механічних властивостей досягається створенням різних сплавів на основі міді.

Розрізняють дві групи мідних сплавів: латуні - сплави міді з цинком, бронзи - сплави міді з іншими (крім цинку) елементами.

ЛАТУНІ.

Латуні можуть мати у своєму складі до 45% цинку. Підвищення вмісту цинку до 45% призводить до збільшення межі міцності до 450 МПа. Максимальна пластичність має місце при вмісті цинку близько 37%. При сплавці міді з цинком утворюється ряд твердих розчинів. Латуні мають хорошу корозійну стійкість, яку можна підвищити додатково присадкою олова. Латунь ЛО70-1 стійка проти корозії в морській воді і називається "морський латунню". Додавання нікелю і заліза підвищує механічну міцність до 550 МПа. Ливарні латуні також маркуються буквою Л, Після літерного позначення основного легуючого елемента (цинк) і кожного наступного ставиться цифра, що вказує його усереднене вміст у сплаві. Наприклад, латунь ЛЦ23А6Ж3Мц2 містить 23% цинку, 6% алюмінію, 3% заліза, марганцю 2%. Найкращою жидкотекучістю володіє латунь марки ЛЦ16К4. До ливарним латуням відносяться латуні типу ЛЗ, ЛК, ЛА, ЛАЖ, ЛАЖМц. Ливарні латуні не схильні до ліквідації, мають зосереджену усадку, виливки виходять з високою щільністю. Латуні є хорошим матеріалом для конструкцій, що працюють при негативних температурах. В виробках «ДП «КБ «Південне» застосовують:

Мідно-цинковий сплав Л63, сплав-аналог С27400. Застосовується для виготовлення деталей нескладної конфігурації, що працюють в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 250 °С. Добре обробляється тиском у гарячому і холодному станах, задовільно зварюється і паяється, обробляється різанням, має задовільну корозійну стійкість в атмосферних умовах.

Мідно-цинковий сплав ЛС59-І, сплав-аналог С38000. Застосовується для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя в інтервалі температур мінус 253 до плюс 250 °С. Добре обробляється тиском у гарячому стані, задовільно зварюється та паяється, корозійностійка у морській воді.

БРОНЗИ

Сплави міді з іншими елементами крім цинку називається бронзами. Бронзи поділяються на деформівні і ливарні. При маркуванні деформівних бронз на першому місці ставляться літери Бр, потім літери, що вказують, які елементи, крім міді, входять до складу сплаву. Після букв йдуть цифри, позначають зміст компонентів у сплаві. Наприклад, марка БрОФ10-1 означає, що в бронзу входить 10% олова, 1% фосфору, решта - мідь. Маркування ливарних бронз також починається з букв Бр, потім вказуються літерні позначення легуючих елементів і ставиться цифра, що вказує його усереднене вміст у сплаві. Наприклад, бронза БрОЗЦ12С5 містить 3% олова, 12% цинку, 5% свинцю, решта - мідь.

Олов'яні бронзи. При сплавці міді з оловом утворюються тверді розчини. Ці сплави дуже схильні до ліквідації через великий температурний інтервал кристалізації. Завдяки ліквідації сплави із вмістом олова вище 5% мають в структурі евтектоїдних складову, що складається з м'якої і твердої фаз. Така будова є сприятливим для деталей типу підшипників ковзання: м'яка фаза забезпечує хорошу приробку, тверді частинки створюють зносостійкість. Тому олов'яні бронзи є хорошими антифрикційними матеріалами. Олов'яні бронзи мають низьку об'ємну усадку (близько 0,8%), тому використовуються в художньому литті. Наявність фосфору забезпечує хорошу жидкотекучість. Олов'яні бронзи поділяються на деформівні і ливарні. В деформівних бронзах зміст олова не повинно перевищувати 6%, для забезпечення необхідної пластичності, БрОФ6 ,5-0, 15. В залежності від складу деформівні бронзи відрізняються високими механічними, антикорозійними, антифрикційними і пружними властивостями, і використовуються в різних галузях промисловості. З цих сплавів виготовляють прутки, труби, стрічку, дріт. Ливарні олов'яні бронзи, БрОЗЦ7С5Н1, БрО4Ц4С17, застосовуються для виготовлення пароводяної арматури та для виливків антифрикційних деталей типу втулок, вінців черв'ячних коліс, вкладишів підшипників.

Алюмінієві бронзи, БрАЖ9-4, БрАЖ9-4Л, БрАЖН10-4-4. Бронзи з вмістом алюмінію до 9,4% мають однофазну будова твердого розчину. При вмісті алюмінію 9,4 ... 15,6% сплави системи мідь – алюміній двофазні. Оптимальними властивостями володіють алюмінієві бронзи, що містять 5 ... 8% алюмінію. Збільшення вмісту алюмінію до 10 ... 11% внаслідок появи другої фази веде до різкого підвищення міцності і сильного зниження пластичності. Додатко-

ве підвищення міцності для сплавів з вмістом алюмінію 8 ... 9,5% можна досягти загартуванням.

Позитивні особливості алюмінієвих бронз в порівнянні з олов'яними:

- менша схильність до внутрікристалічних ліквідацій;
- велика щільність виливків;
- більш висока міцність і жароміцність;
- менша схильність до хладколамкості.

Основні недоліки алюмінієвих бронз:

- значна усадка;
- схильність до утворення стовпчастих кристалів при кристалізації і росту зерна при нагріванні, що збільшує крихкість сплаву;
- сильне газопоглинання рідкого розплаву;
- самоотпуск при повільному охолодженні;
- недостатня корозійна стійкість в перегрітому парі.

Для усунення цих недоліків сплави додатково легують марганцем, залізом, нікелем, свинцем. З алюмінієвих бронз виготовляють відносно дрібні, але високо відповідальних деталі типу шестерень, втулок, фланців литтям та обробкою тиском. З бронзи БрА5 штампуванням виготовляють медалі і дрібну розмінну монету.

Крем'янисті бронзи, БрКМц3-1, БрК4, застосовують як замітники олов'яних бронз. Вони немагнітні і морозостійкі, перевершують олов'яні бронзи за корозійної стійкості та механічними властивостями, мають високі пружні властивості. Сплави добре зварюються і піддаються паянню.

В виробках «ДП «КБ «Південне» застосовують бронзові сплави: БрБ2, БРАЖМц 10-3-1,5; БРАЖ9-4; БрБНТ-1,9.

Бронзовий сплав БрБ2 (CuBe2Ni), сплав-аналог С17200. Застосовується для виготовлення пружин, пружинних контактів та мембран, сильфонів, що працюють при підвищених знакозмінних навантаженнях в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 150 °С. Сплав обробляється тиском у загартованому стані, добре обробляється різанням і паяється, при ударі не дає іскри.

Бронзовий сплав БрАЖМц 10-3-1,5 (CuAlFeMn 10-3-1,5), сплав-аналог С62400. Застосовується для виготовлення деталей, що працюють при температурах від мінус 253 до плюс 300 °С, зі знакозмінним навантаженням в умовах тертя, при питомому тиску до 20 МПа. Має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах, у прісній та морській воді. Термічна обробка: відпал при температурі від 650 до 750 °С, охолодження на повітрі; загартування з температури від плюс 850 до плюс 880 °С, охолодження на повітрі; відпустка за температури від плюс 300 до плюс 350 °С, охолодження на повітрі.

Бронзовий сплав БрАЖ9-4 (CuAlFe 9-4), сплав-аналог С61900. Застосовується для виготовлення деталей, що працюють при температурах від мінус 253 до плюс 300 °С, зі знакозмінним навантаженням в умовах тертя при питомому тиску до 20 МПа. Має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах і морській воді.

Бронзовий сплав БрБНТ-1,9 (CuBeNiTi-1,9). Застосовується для виготовлення пружин, пружинячих деталей відповідального призначення, які працюють при підвищених знакозмінних навантаженнях в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 130 °С. Має високу міцність, зносостійкість та високі пружинні властивості, хороші антифрикційні властивості, середню електропровідність та теплопровідність. Сплав стійкий у різних атмосферних умовах: у прісній та морській воді. Термічна обробка: загартування з температури від плюс 760 до плюс 780 °С, охолодження у воді; штучне старіння за нормальної температури плюс 320 °С.

Молібденові сплави: ВМ-1, М-МП.

Молібденовий сплав ВМ-1, сплав-аналог TZM. Застосовується для зварювальних конструкцій, камер згоряння, сопел, турбінних лопаток, що працюють при підвищених температурах (до плюс 2000 °С) у відновлювальному або нейтральному середовищах. Мають

високу корозійну стійкість в атмосферних умовах. Термічна обробка: відпал при температурі від плюс 1350 до плюс 1450 °С для рекристалізації при температурі плюс 1100 °С, для зняття внутрішніх напруг.

Сплав М-МП – сплав молібденовий, порошковий. Застосовується для беззварних конструкцій, що працюють при підвищених температурах (до плюс 2000 °С) у відновному або нейтральному середовищі, має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах. При роботі металу в окисному середовищі необхідне застосування захисних покриттів.

Ніобієвий сплав Нб5В2Мц (Nb5W2MoZr), сплави-аналоги F-48, F-50. Сплав призначений для виготовлення складних штампозварних і трубчастих конструкцій, що працюють в інтервалі температур від мінус 253 до плюс 1800 °С у вакуумі, нейтральному середовищі та у рідких й пароподібних лужних металах. Під час роботи в окислювальних середовищах сплав повинен мати захисне покриття – дисілідид молібдену MoSi₂. Термічна обробка: відпалювання при температурі плюс 1600 °С у вакуумі 10⁻⁴ або 10⁻⁵ мм рт. ст. або серед нейтральних газів (аргон, гелій).

Мідно-нікелеві сплави

Cu з Ni утворюють тверді розчини. Ni збільшує твердість, міцність і електроопір, зменшує коефіцієнт лінійного розширення, підвищує корозійну і теплостійкість. Мідно-нікелеві сплави виділені в особливу групу (ГОСТ 492 – 73). Їх поділяють на конструкційні – мельхіор, нейзильбер, куніаль, та електротехнічні – копель, константан, манганін. З мельхіору (МНЖМц30-0,8-1) виготовляють конденсаторні трубки, медичний інструмент, деталі точної механіки і хімічної апаратури; нейзильбер (МНЦ15-20) використовують для електротехнічних плоских пружин, реле, термопар, реостатів, деталей карбюраторів; куніаль (МНА13-3) застосовують для деталей підвищеної міцності, пружин; копель (МНМц43-0,5) і константан (МЕМц40,1,5) ідуть на виготовлення дроту вимірювальних і нагрівальних приладів, термопар, компенсаторів; манганін (МНМц3-12) має малу термо е.д.с та електроопір і використовується в резисторах, електроприладах.

Мідно-нікелевий сплав МНЦ 15-20 (CuNiZn 15-20), найближчі сплави-аналоги з хімічного складу: сплав CuNi15Zn22; сплав CuNi15Zn21. Застосовується для виготовлення деталей приладів точної механіки та електротехнічних цілей. Відрізняється високою корозійною стійкістю, досить хорошими механічними властивостями, задовільно обробляється тиском у гарячому та холодному стані, має задовільну корозійну стійкість. Термічна обробка: відпал при температурі від 650 до 750 °С, охолодження на повітрі; відпал для підвищення пружних характеристик після холодної деформації за температури плюс 300 °С, охолодження на повітрі.

Мідно-нікелевий сплав МН19 (CuNi19). Застосовується для виготовлення деталей у точній механіці, хімічній промисловості, медичного інструменту, сіток. Відрізняється високою корозійною стійкістю, високими механічними властивостями, добре обробляється тиском у гарячому та холодному станах. Термічна обробка: відпал при температурі від 650 до 780 °С, охолодження на повітрі; відпал для зменшення залишкової напруги при температурі від плюс 280 до плюс 350 °С.

7. ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ З МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ.

Процес проектування виробів ракетно-космічної техніки розподіляється на чотири основних етапи: розробка тактико-технічного завдання, розробка технічних пропозицій, ескізне проектування та робоче проектування. Після затвердження робочого проекту відбувається технологічна підготовка виробництва: розробляються робочі технологічні процеси, проектується та виробляється технологічне оснащення, підбирається технологічне обладнання та інше.

Загальний технологічний процес складається з окремих технологічних процесів виготовлення окремих деталей, окремих складальних одиниць, агрегатів, відсіків та виробів в цілому, а також їх контролю та випробування.

Технологічний процес виготовлення та складання ракети містить у собі такі основні технологічні процеси:

- 1 Виготовлення основних елементів оболонок конструкції.
- 2 Виготовлення фермових і каркасних корпусів.
- 3 Виготовлення трубопроводів, кулебалонів, елементів автоматики, електричної мережі, приладів та іншої внутрішньої арматури.
- 4 Виготовлення двигунних та рульових установок.
- 5 Складання приладових, хвостових і перехідних відсіків та обтичників.
- 6 Складання, зварювання баків.
- 7 Загальне складання окремих ступенів та носія в цілому.

Конструкції ракет-носіїв повинні бути жорсткими, з мінімальним запасом міцності та оптимальними ваговими характеристиками. Але носій складається з нежорстких елементів, які мають складні форми і сполучення, великі габарити та різноманітні стикувальні деталі, що потребує особливого методу виробництва для забезпечення високої точності та взаємозамінності, який називається плазово-шаблонним методом, тому на підприємстві повинен бути цех з високоточним обладнанням.

При цьому методі проектування та ув'язування зовнішніх контурів агрегатів виробляють у натуральну величину на теоретичних плазах, які є кресленням виробу, окремої його частини або деталі, що виконаний у натуральну величину на будь-якій жорсткій плоскій поверхні. Робочі креслення деталей замінюють плоскими металевими шаблонами - жорсткими носіями форми та розмірів деталей. Шаблони є вимірювальними інструментами, а часом і пристроями. Виготовлення та контроль деталей та технологічного оснащення виконують за конструктивними плазами та шаблонами. Розвиток обчислювальної техніки, математичного та програмного забезпечення, створення засобів автоматизації введення та виведення графічної інформації дозволили, на сьогоднішній день, повністю відмовитися від конструктивних та технологічних плазів, а також від шаблонів основної групи (шаблони контрольно-контурні (ШКК) та відбитки контрольні). Першоджерелом виробництва робочих шаблонів тепер служить математична модель деталі, створена у пам'яті комп'ютера. Виготовлення шаблонів, технологічного оснащення, еталонів поверхонь, а також деталей здійснюється на верстатах з ЧПУ, контроль шаблонів - за розмірами знятими з комп'ютера, а контроль оснастки та, у разі складних контурів, механооброблених деталей - за шаблонами.

Корпус носія складається з листових деталей, тому підприємство повинне мати цехи з потужними пресами листового та об'ємного штампування та великогабаритні згинальні стани для отримання обичайок, днищ, панелей та інше, що пов'язано з великою кількістю штампів і валків. Для з'єднання обичайок та панелей між собою та зі стикувальними елементами складальні цехи повинні бути оснащені великогабаритними стендами клепаючого і зварювального, а також стендами вимірювання геометричних параметрів та випробування.

Важливим елементом технологічного процесу є операція. Технологічною операцією називається кінцева частина технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці для одної деталі або декільких деталей при складанні. Операції розподіляють на основні та допоміжні. Основні операції – це операції, які спрямовані на зміну геометричних форм і розмірів, внутрішньої структури або властивостей оброблюваних об'єктів виробництва, зміну розташування деталей при складальних роботах, а також випробування деталей, вузлів, агрегатів, відсіків та виробу в цілому. Окрім цього до основних операцій відносяться: термообробка, рентгеноконтроль, вимивання та сушіння, фарбування та інше.

Допоміжними операціями є операції контролю якості, комплектування, маркування, складування та інше.

Таким чином, агрегати і системи ракетно-космічної техніки з металів та сплавів, до яких відносяться оболонки корпусу, фермово-каркасні корпуси, кулебалони високого тиску, трубопроводи, двигуни, виготовляють шляхом виконання певних технологічних операцій.

Виготовлення основних елементів оболонок корпусу

Основними елементами оболонок корпусу є обшивки, обичайки, деталі силового набору та з'єднувальні деталі.

Виготовлення обшивок і обичайок.

Обшивкою називається зовнішній листовий елемент оболонки корпусу, який створює форму і сприймає механічні, аеродинамічні і температурні навантаження. Вони виготовляються з алюмінієвих сплавів типу Амг6, Д16Т, титанових сплавів типу ВТ6С, ОТ4-1, сталей типу 12Х18Н10Т, 30ХГСА.

Існує чотири види обшивок: площинні, однієї кривизни, подвійної кривизни, складної форми зі знакозмінною кривизною

Основні операції технологічного маршруту виготовлення обшивок:

1. Кроїння плоских заготовок.
2. Формування плоскої заготовки у криволінійну
3. Вирізання вікон, виготовлення рифтів, підсічок та інших місцевих зміцнень обшивки, свердлення отворів.
4. Кінцеве калібрування форми обшивки.
5. Кінцева обробка кромки обшивки за кінцевими розмірами.
6. Контроль геометричних розмірів та форми обшивки.
7. Нанесення покриття.

Кроїння тонких заготовок відбувається на гільйотинних ножицях. Товсті листи з титану або високоміцних сплавів, нагрівають до 600-700 °С перед кроїнням.

Основними способами формоутворення обшивок однієї кривизни є згинання прокату у тривалкових станах. Обшивки подвійної або складної кривизни витягують на пресах, виколочують пневмолотами по оправці або формують вибухом у рідині.

Обичайкою називається замкнена листова деталь оболонки корпусу, яка утворює її зовнішній контур. Обичайки можуть бути циліндричними, конічними, сферичними, оживальними або фасонними.

За наявністю поздовжнього зварювального або клепаного з'єднання обичайки розподіляються на безшовні або з поздовжнім швом.

Основні операції технологічного маршруту виготовлення обичайок з поздовжнім швом такі:

1. Кроїння площинних листових заготовок по шаблонах.
2. Згинання циліндричних і конічних обичайок, витягування сферичних обичайок на потужних пресах, штампування або ротаційна обробка для оживальних і фасонних обичайок.
3. Утворення місцевих ускладнень форми.
4. Зварювання або клепання поздовжнього шва.
5. Кінцеве калібрування форми та доводка кромки.

6. Контроль геометричних розмірів та форми.

7. Нанесення покриття.

Обичайки, які не мають поздовжніх швів, виготовляються витягуванням у штампах, обкаткою або розкаткою.

Виготовлення деталей силового набору та з'єднувальних елементів

До силового набору в конструкції обичайки відносяться стрингери, шпангоути та дрібні з'єднувальні деталі.

Деталі силового набору виготовляються з тих же матеріалів, що і обшивка, для уникнення додаткових внутрішніх термічних напружень між обшивкою і стрингерами при аеродинамічному нагріванні за рахунок відсутності різниці значень коефіцієнтів лінійного розширення.

Технологія виготовлення стрингерів залежить від початкових заготовок, якими можуть бути стандартні профілі або листи.

Основні операції технологічного маршруту виготовлення стрингерів з листових заготовок:

1. Кроїння листа на стрічки.
2. Прокатування стрічки за профілем перетину.
3. Розрізання профілів по довжині з припуском.
4. Зачищення задирок та клеймування.
5. Правлення профілю від загвинчування.
6. Отримання місцевих ускладнень форми (скосів, радіусів та інше).
7. Торцювання припусків по довжині.
8. Термічна обробка.
9. Нанесення покриття.
10. Контроль розмірів та прямолінійності.

Коли початковою заготовкою є стандартний профіль, тоді відсутні дві перші операції.

Шпангоутом називається елемент поперечного силового набору корпусу, який забезпечує необхідну його форму, підсилює оболонку корпусу і стрингери. Шпангоути виробляються з тих же самих матеріалів, що й обшивка.

Шпангоути підрозділяються на силові-стикувальні та проміжні.

Проміжні шпангоути мають такі самі профілі, що й стрингери, та виготовляються за аналогічною технологією, тільки після операції торцювання припусків по довжині виконується згинання шпангоута в кільце, рихтування кільця, зварювання або клепаання кільця.

Силові шпангоути з внутрішньою порожниною отримують продавленням гарячого металу через філь'єру, яка має зовнішній профіль шпангоута. Шпангоути без внутрішньої порожнини виробляються пресуванням, штампуванням, катанням або зварюванням зі стандартних катаних або пресованих профілів. Згинання всіх шпангоутів відбувається на спеціальних профілезгинальних роликівих верстатах.

Шпангоути великих діаметрів після згинань мають, як правило, по два або три сегменти. Зварювання сегментів в кільце здійснюється на великогабаритному стенді електроконтактним способом. Інші методи зварювання поступаються контактному за швидкістю зварювання та додатковими умовами. Після зварювання та термообробки шпангоути проходять завершальне калібрування на пресах за допомогою розтискних кінець. На шпангоути наноситься покриття. Контролюються геометричні розміри та форма профілю.

Виготовлення фермово-каркасних корпусів

Фермові корпуси використовуються в якості перехідних відсіків між ступенями носія для стикування двигунних установок з баками, в якості платформи для з'єднання незалежних агрегатів або декількох супутників.

Основні деталі фермово-каркасних корпусів це: тяги, стійки, розкоси, стержні з трубчастим або профільованим перетином, кронштейни, косинці, кутівники, накладки, стикува-

льні силові шпангоути або сегменти шпангоутів (рис. 7.1). Матеріалами для цих деталей служать високоміцні сталі, титанові та алюмінієво-магнієві сплави.

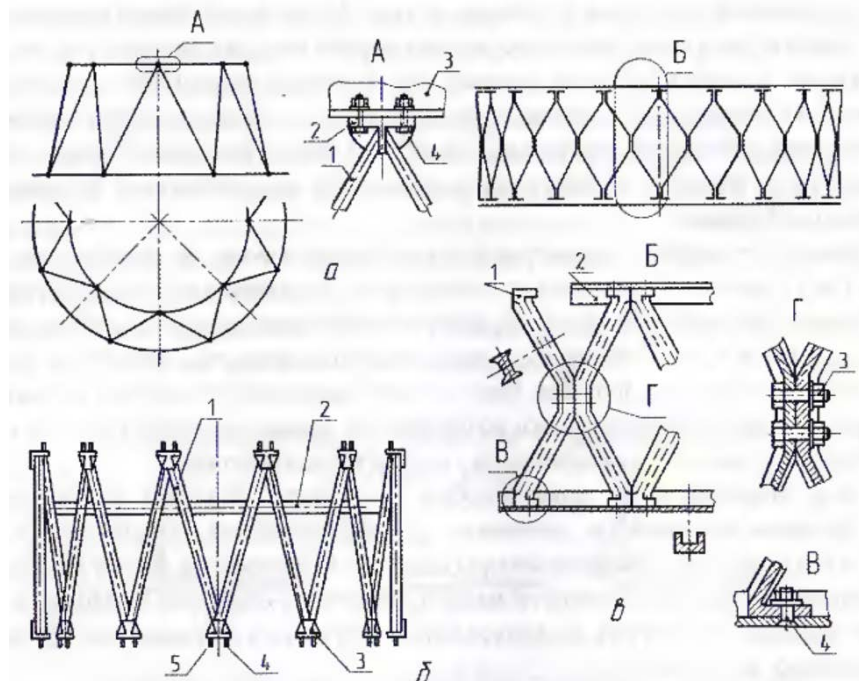


Рисунок 7.1. Конструктивно-технологічні схеми фермових відсіків:

- а – конічний фермовий відсік: 1 – стержень, 2 - фітинг, 3 – шпангоут верхнього відсіку, що стикається з фермовим, 4 – силова косинка фітинга;
- б – циліндричний фермовий відсік: 1 – стержень, 2 – проміжний шпангоут, 3 – фітинг, 4,5 – закріплюючі елементи;
- в – циліндричний фермово-каркасний відсік, виконаний з профілів: 1 – профільний стержень, 2 – торцевій стикувальний шпангоут, 3,4 - закріплюючі елементи

Основні операції технологічного маршруту виготовлення фермово-каркасних корпусів:

1. Виготовлення трубчастих або профільованих деталей.
2. Виготовлення стикувальних шпангоутів.
3. Виготовлення з'єднувальних деталей.
4. Складання вузлів.
5. Загальне складання конструкції.
6. Термообробка конструкцій.
7. Доробка стикувальних поверхонь.
8. Нанесення покриття.
9. Контроль геометричних параметрів.
10. Випробування конструкцій.

Стикувальні шпангоути виготовляються за вищенаведеними технологіями. Виробництво трубчастих деталей – це різання труб за встановленою довжиною та підготування їх кінців до складання і зварювання. Вузлове і загальне складання фермових корпусів здійснюється в пристосуваннях, які забезпечують жорстку фіксацію з'єднувальних деталей для запобігання зварювальним деформаціям та зміні геометричних розмірів конструкції. Зварювання деталей виконується за встановленим порядком з метою зменшення внутрішніх напружень. Для ліквідації внутрішніх напружень корпус відпалюється.

Виготовлений корпус проходить статичні та динамічні випробування на міцність з подальшим вторинним контролем геометричних розмірів.

Виробництво кулебалонів високого тиску

Кулебалони високого тиску використовуються у складі конструкції носія космічного апарата для наддуву баків, функціонування клапанів системи автоматики, роботи кормових двигунів третього ступеню або дорозгінного блока для корекції орбіти або виходу на задану орбіту.

В якості матеріалів для цих балонів використовуються титанові сплави типу ВТ6-С.

Основні операції технологічного маршруту виготовлення кулебалонів високого тиску:

1. Виготовлення півсфер.
2. Виготовлення штуцерів.
3. Зварювання півсфер зі штуцерами.
4. Термообробка зварених швів.
5. Складання і зварювання півсфер одна до однієї.
6. Термообробка зварених швів.
7. Рентгеноконтроль швів.
8. Випробування балонів на міцність та герметичність.
9. Вимивання та сушіння.
10. Контроль геометричних параметрів.
11. Консервація кулебалонів.

Півсфери виготовляються з листового матеріалу до 20 мм завтовшки методом гарячого штампування. Листи розмічаються шаблонами і обрублюються по колу. Завантажуються у піч, де нагріваються до 900 °С. Лист встановлюють на матрицю преса. Пуансон утворюють півсферу за декілька переходів. Після кожного переходу змінюють пуансон та матрицю, заготовка проходить термообробку. На карусельному верстаті відрізають по колу поясок защемлення в штампі та припуск. На програмному токарному верстаті за копіром в спеціальних пристосуваннях зовнішня та внутрішня поверхні півсфери оброблюються до встановленої товщини. Ця обробка поверхні пов'язана з тим, що титановий сплав при нагріванні насичується киснем та воднем, які погіршують фізико-механічні властивості поверхні металу.

Півсфери підганяються одна до одної з зазором у стикові не більше 0,2 мм. Щілина контролюється щупом. Дві підігнані півсфери не змішуються з іншими та передаються для подальших операцій.

Штуцери півсфер виробляються з нержавіючих сталей типу 12Х18Н10Т. Для з'єднання сталевих штуцера з титановою півсферою використовують двометалевий перехідник з ніобію та меді. Мідна частина перехідника з'єднується з ніобієвою дифузійним зварюванням. Мідна частина зі сталеву зварюється тертям, а ніобієва з титановою півсферою аргонодуговим зварюванням.

Виготовлення трубопроводів

У складі носія космічних апаратів трубопроводи займають значне місце. Вони використовуються в магістральних, пневматичних, гарячих та інших системах.

Трубопроводи повинні бути міцними, жорсткими, герметичними, стійкими до ерозії, корозії та криогенних температур, точними за геометричними розмірами та мати необхідну шорсткість поверхні.

Трубопроводи в залежності від функціонального призначення виготовляються з нержавіючих сталей типу 12Х18Н10Т, титанових сплавів ОТ4-1, ВТ14, жаростійких сталей типу ХН60ВТ, алюмінієвих сплавів типу АМг6, Д16.

Конструктивно трубопроводи можуть бути прямими, криволінійними, плоскими або мати просторову кривизну, роз'ємними та нероз'ємними. Роз'ємні трубопроводи можуть з'єднуватися за допомогою ніпельних та штуцерних з'єднань з використанням накидних гайок, фланцевих та муфельних з'єднань з болтами і гайками. Нероз'ємні з'єднання трубопроводів утворюються за допомогою зварювання або паяння.

В якості заготовок для виготовлення трубопроводів використовують безшовні стандартні труби або листовий метал.

Основні операції виготовлення трубопроводів із безшовних стандартних труб такі:

1. Відрізання труби за встановленою довжиною.
2. Зачищення заусенців.
3. Очищення внутрішньої та зовнішньої поверхонь труби.
4. Згинання труби за встановленою формою, контроль розмірів та форми.
5. Підготування зварювальних кромek або кінців труби та відповідних арматурних деталей для зварювання або паяння.
6. Зварювання або паяння труби з арматурою.
7. Зачищення швів.
8. Рентгеноконтроль швів.
9. Випробування на міцність.
10. Випробування на герметичність.
11. Проливання тракту труби.
12. Промивання та сушіння.
13. Консервація.

Відрізання труби за встановленою товщиною виконується абразивними вулканітовими дисками, дисковими або стрічковими пилами та на токарних верстатах.

Зачищення заусенців, які створюються під час відрізання труби, виконується ручним або механізованим способом.

Очищення поверхонь трубопроводів від жиру та поверхневого кисню виконується знежиренням бензином, гідроабразивним способом або з використання ультразвуку. Травлення відбувається у лужній (алюмінієві трубопроводи) або кислотній (сталеві) ваннах.

Згинання трубопроводів відбувається спеціальними згинальними пристроями роликів типу, на згинальних плитах або в штампах. З метою уникнення або зменшення дефектів при згинанні трубопроводи наповнюються піском, парафіном або легкоплавким сплавом вісмута, свинця та кадмія – церробендом. Церробенд застосовується для гнуття сталевих та титанових трубопроводів, а для алюмінієвих використовують парафін.

Геометричні параметри трубопроводів у процесі згинання забезпечуються використанням площинних або просторових шаблонів.

З'єднання трубопроводів з арматурою, як правило, відбувається автоматичним аргонодуговим зварюванням. Після зварювання шви зачищаються та проходять рентгенконтроль на суцільність.

Виготовлені трубопроводи проходять необхідних комплекс випробувань на міцність, герметичність, а також на відповідь наданим вимогам при статичних і динамічних випробуваннях.

Виготовлення двигунів на рідинному паливі.

Конструкція двигунової установки визначається конструкцією носія космічного апарата і має ряд типових елементів:

- ємності високого тиску – паливні баки,
- камера згоряння,
- система подачі компонентів палива з баків в камеру за допомогою турбонасосного агрегата (ТНА) або витискної системи,
- з'єднане з камерою згоряння сопло, яке формує потік газів, що витикають з камери згоряння, і надає йому певного напрямку,
- гагогенератор (ГГ), який створює газ для обертання турбіни ТНА,
- клапани керування і виконавчі механізми,
- система трубопроводів,
- система живлення або створення робочих речовин для забезпечення роботи клапанів і виконавчих механізмів,
- силова рама для з'єднання всіх елементів двигунаї передачі сили тяги літальному апарату,

- система керування вектором тяги (механізми відхилення осі камери, система вдування газів у сопло, кермові двигуни),
- електросистема.

Основними елементами двигуна є камера згоряння і форсункова головка. У камері умовно виділяють середню її частину, безпосередньо камеру згоряння і нижню частину – критичний переріз і сопло, яке може мати насадок, що не охолоджується (рис. 7.2).

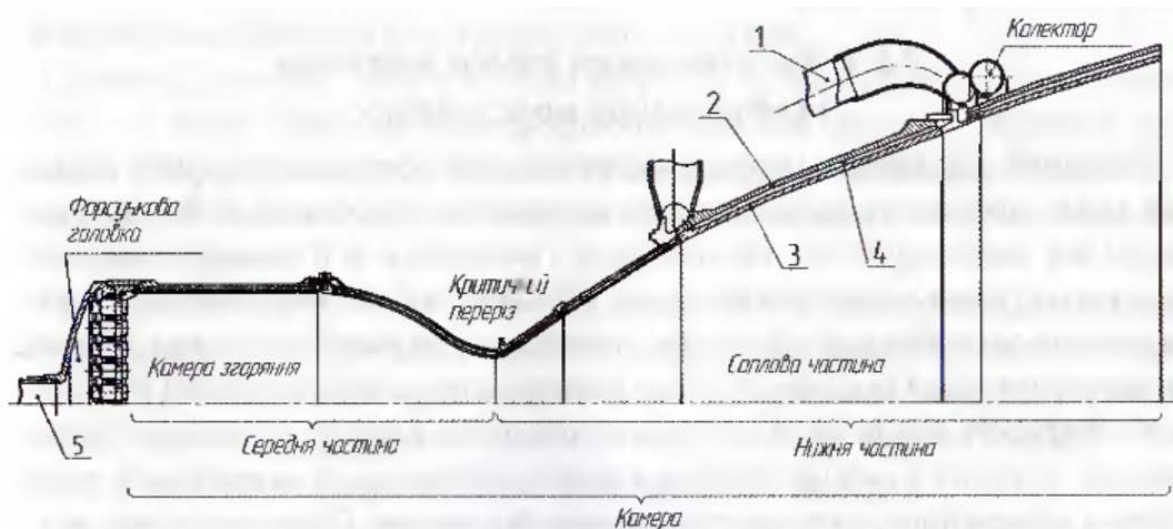


Рисунок 7.2. Загальна схема двигуна на рідинному паливі: 1 – патрубок для подавання охолоджувального компонента палива, 2 – сорочка, 3 – стінка, 4 – внутрішній тракт (міжсорочковий простір), 5 – патрубок для подавання другого компонента палива.

Камери РРД під час польоту працюють при високих температурах, високих тисках, переваженнях і вібраціях, під постійним ерозійним і корозійним впливом гарячих газів та компонентів палива. Тому при виробництві камер згоряння необхідно виконувати такі вимоги:

- забезпечення заданої геометрії,
- забезпечення заданої міцності, жорсткості та жаростійкості,
- забезпечення ерозійної та корозійної стійкості,
- забезпечення герметичності,
- забезпечення заданого режиму течії компонентів палива в міжсорочковому просторі,
- забезпечення заданого розходування компонентів палива та перепаду тиску в магістралях окислювача і пального.

Виготовлення камер згоряння з гофровою проставкою (рис. 7.3).

Подібний тип камер має особливу схему виготовлення і складання. В її основі поділ всієї конструкції камери згоряння на окремі обичайки, які складаються зі з'єднаних за допомогою пайки поясків стінки, сорочки і гофрованої проставки. Заготовками для гофрованих проставок служать стрічки, які вирізаються з листа механічними ножицями за допомогою шаблонів. Формування гофр на стрічках здійснюється штампуванням в спеціальних пресах або прокатуванням у валках з зубцями евольвентного профілю. Гофровані стрічки розрізаються за шаблоном на необхідну довжину, встановлюються в технологічне пристосування і зварюються роликівим або ручним аргонно-дуговим зварюванням.

Обичайки виготовляються паралельно і далі в спеціальному пристосуванні їх складають і зварюють кільцевими швами в готові блоки середньої і нижньої частини камери. Середня і нижня частини також складаються й зварюються разом, зібрана камера проходить контроль і випробування. Після цього весь вузол подається на складання з форсунковою головкою

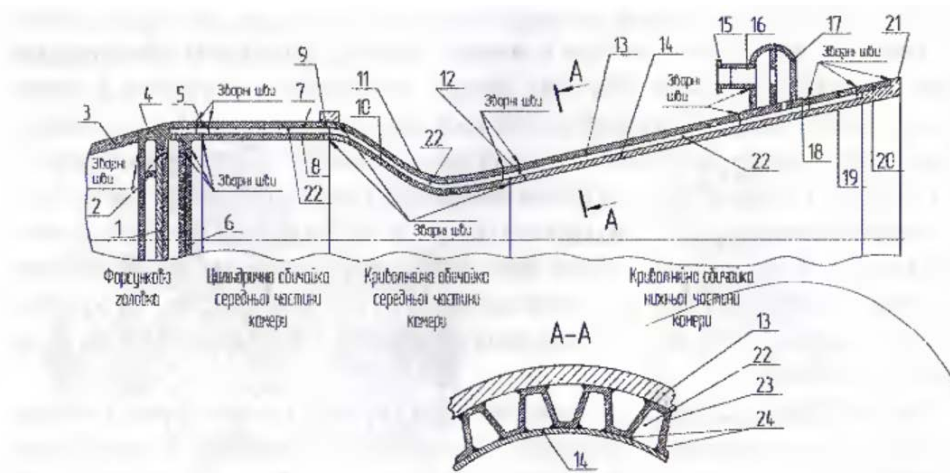


Рисунок 7.3 Схема перетину камери згоряння з гофровою проставкою

1 - середнє днище ФГ, 2 – перегородка, 3 – газовід, 4 – силоче кільце ФГ, 5 - силоче кільце, 6 – вогневе днище, 7,11,13,19,20 – частини сорочки, 8,10,12,14 – вогневі стінки, 9 – опора, 15 – фланець, 16 – патрубок, 17 – колектор, 18 – силоче кільце сорочки, 21 – силоче кільце на зрізі сопла, 22 – охолоджуючий тракт, 23 – гофрована проставка, 24 – галтелі паяних швів.

Виготовлення трубчастих камер згоряння

Корпуси трубчастих камер згоряння мають деякі переваги у порівнянні з камерами згоряння з гофрованими проставками – це зниження ваги до 15%; підвищення питомої тяги двигуна, зменшення трудомісткості при виготовленні.

Конструктивно трубчаста камера згоряння не має сорочки і стінки, а складається з великої кількості (до 500 штук) трубочок змінного перетину, які повторюють профіль камери згоряння (рис. 7.4).

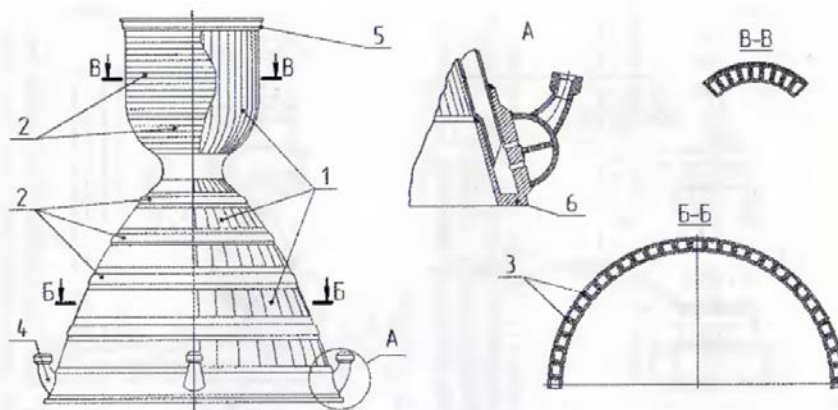


Рисунок 7.4 Зовнішній вигляд і поперечний перетин трубчастої камери згоряння

1 – трубка, 2 – конструкційні бандажі, 3 – паяні шви, 4 – колектор, 5- верхнє кільце для з'єднання форсунковою головою, 6 – нижнє кільце з колектором.

В якості конструкційного матеріалу трубок використовуються нержавіючі сталі типу Х18Н19Т, Х18Н10Т, нікелеві або титанові сплави.

Особливість формування змінного перетину самих трубок уздовж профілю камери в їх незмінній кількості, тобто кількість трубок, яка створює циліндричну частину камери, повинна вийти до критичного перетину і після цього розійтись до срізу сопла, не порушуючи суцільність камери згоряння та забезпечуючи необхідний режим течії охолоджувального компонен-

та палива й перепад тиску на вході і виході корпусу. Такі трубки з перетином, змінним по профілю камери, називаються профільованими.

Виготовлення профільованих труб здійснюється їх протягуванням через профілюючу філь'єру у холодному стані, з подальшою обкаткою трубки роликками. Також для виготовлення трубок можуть використовуватись процеси гідроформування, штампування з листової заготовки.

Складання корпусу камери згоряння відбувається за допомогою оправки, зовнішня поверхня якої відповідає внутрішній поверхні камери за геометричними розмірами та формою. По завершенню складання верхній і нижній технологічні бандажі замінюються на конструкційні. Оправка виймається з корпусу камери.

На внутрішню поверхню корпусу наноситься припій стрічками або металізацією. За рахунок капілярного ефекту і змочування припій заповнює всі щілини між трубками, а також формує внутрішню і зовнішню поверхні корпусу. Після паяння камера контролюється на цілісність і якість швів.

На внутрішню поверхню камери для запобігання ерозійного і корозійного впливу гарячих продуктів згоряння палива, а також захисту паяних швів наноситься термостійке покриття з діоксиду цирконію або карбиду вольфраму.

На заключному етапі трубчасті камери вимірюються, проливаються, випробуються на міцність та герметичність, миються та сушаться.

Виготовлення камер згоряння з U-подібних профілів.

Поперений перетин камери згоряння з U-подібних профілів наведено на рис. 7.5.

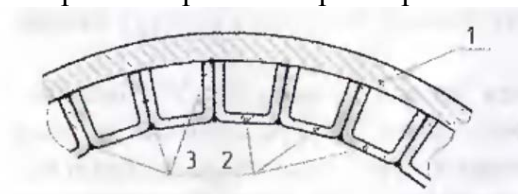


Рис. 7.5 Поперений перетин камери згоряння з U-подібних профілів:
1 – сорочка, 2 - U-подібні профілі, 3 – припій.

Конструктивно така камера має сорочку і U-подібні профілі, які з'єднуються один з одним та з сорочкою паянням. Сорочка камери виготовлена за технологією, аналогічною технології виготовлення сорочки камери згоряння з гофрованими проставками. U-подібні профілі виготовляються штампуванням з одночасним отриманням профілю по контуру камери згоряння.

Виготовлення камери згоряння з виштамповками

Конструктивно камера згоряння з виштамповками має гладку стінку і сорочку з конічними виштамповками, через які вона з'єднується зі стінкою точковим зварюванням. Ця камера не має прямокутних каналів, а охолоджувальний компонент тече просто між оболонками стінки і сорочки.

Більшість технологічних операцій її виготовлення такі, як для камери з гофровою проставкою.

Виготовлення форсуноквих головок

У будь-якому рідинному ракетному двигуні при подаванні палива в камеру згоряння його необхідно рівномірно розподілити по поперечному перетину камери. Цю задачу виконує форсунокова головка. Компоненти топлива поступають через форсунки в об'єм камери згоряння, змішуються, випарюються і згорають. Схеми типових конструкцій форсуноквих головок наведені на рис. 7.6.

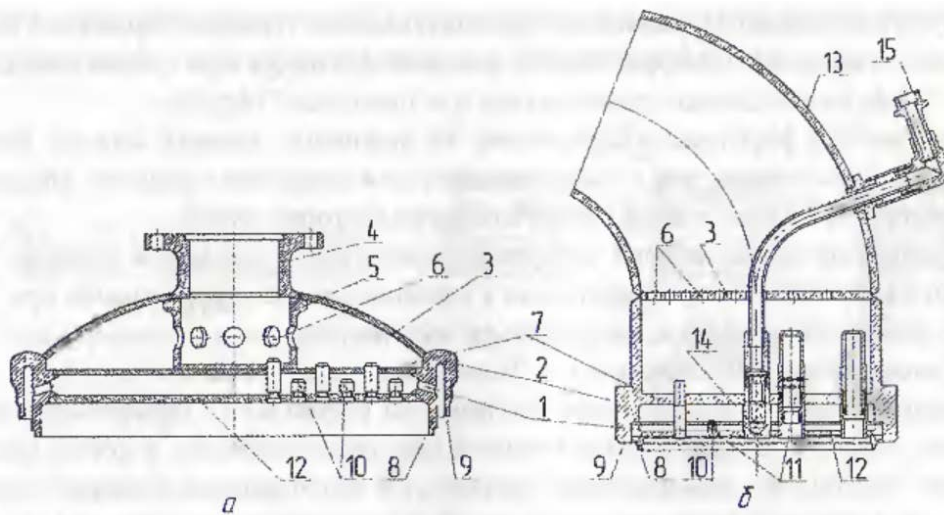


Рисунок 7.6. Схеми типових конструкцій форсуноквих головок:

а – форсунокова головка двигуна без допалювання генераторного газу, б - форсунокова головка двигуна з допалюванням генераторного газу; 1 – отвір для подавання охолоджувального компонента палива до форсунок, 2 – силове кільце, 3 – верхнє днище, 4 – патрубок для подавання пального, 5 – перехідник, 6 – отвір для пального, 7 – середнє днище, 8 – місце стикування сорочки, 9 – місце стикування стінки, 10 – форсунка для розпилу охолоджувального компонента палива, 11 – форсунка для розпилу іншого компонента, 12 – нижнє – вогневе днище, 13 – газовід, 14 – форсунка-запальник, 15 – трубопровод подачі в камеру запалювальної речовини.

Конструктивно форсунокова головка складається з верхнього, середнього та нижнього днищ, скріплених силовим кільцем. В якості матеріалів верхнього і середнього днищ використовують сплави типу EI1811, для нижнього днища – сталь X18N9T, а для силового кільця – сплави типу EI654 і EI 711.

До конструкції форсунокової головки пред'являються високі вимоги з міцності та жорсткості, герметичності, корозійної та ерозійної стійкості, жаростійкості. Технологія виготовлення форсуноквих головок повинна забезпечити співпадання осей факела суміші компонентів палива с віссю камери згоряння, рівномірність розпилування компонентів палива через кожен форсунку, точність розташування форсунки, задані швидкості тічей компонентів.

Днища форсуноквих головок виготовляються з листового металу вирубкою в штампах. Верхнє днище вирубуеться з одночасним формуванням сфери та центрального отвору для з'єднання з патрубком і далі проходить механічну обробку – зрізаються припуски на зовнішньому і внутрішньому колах, кромки готують під зварювання.

У середині нижнього і середнього днищ після вирубки свердлять один або декілька отворів. Днища нанизують на спеціальну оправку та стягуються в пакет за допомогою болтових з'єднань. Пакет днищ встановлюється на токарний верстат і виконується обробка його зовнішньої поверхні за діаметром днищ.

У нижньому днищі через кондуктор свердлять отвори для встановлення охолоджувального компонента палива. Для встановлення форсунок іншого компонента палива необхідно забезпечити співвісність отворів у нижньому та середньому днищах. Це досягається складанням їх в пакет у спеціальному пристосуванні та подальшою тимчасовою фіксацією за допомогою прихвачування-зварювання. Отвори свердлять через кондуктор одночасно в обох днищах, і ці днища вже не змішують з іншими.

Силові кільця виготовляють з монолітних штампованих кільцевих заготовок прямокутного перетину точінням на спеціальних карусельних верстатах з забезпеченням високої точності обробки поверхонь.

Форсункові частини головки встановлюють пайкою в вакуумі.

Після контролю якості паяння проводять випробування на міцність і герметичність форсункової головки, її проливання, вимивання і сушіння.

Загальне складання камери згоряння виконують у вертикальному положенні на монтажному столі складального стапеля. Форсункова головка з підготовленими до зварювання кромками за допомогою технологічного пристосування з'єднується з камерою згоряння і притискується до неї. Зварювання відбувається в спеціальному пристосуванні для зварювання кільцевих швів, що забезпечують співвісність головки і камери, базування по внутрішніх поверхнях для забезпечення точного з'єднання сорочки і стінки з силовим кільцем. Шви зачищаються і проходять рентгенконтроль. Далі з використанням накладних з'єднувальних кілець з силовим кільцем зварюється сорочка. До корпусу камери приварюються опори для з'єднання з перехідною рамою та інші елементи. На внутрішню поверхню вогневих стінок наноситься спеціальне захисне покриття.

Виготовлення турбонасосних агрегатів

Турбонасосний агрегат (ТНА) забезпечує подачу компонентів палива в камеру згоряння. Він складається з двох насосів, турбіни і корпусу. Конструктивно перший насос і ротор турбіни знаходяться на спільному валі. Колесо ротора турбіни має лопатки спеціального профілю, які сприймають дію генераторного газу і передають обертовий момент на вал через шліцьове з'єднання колеса ротора з валом. Лопатки колеса турбіни виготовляють методами надточного лиття.

Насоси мають колесо з крильчаткою, лівий та правий шнеки, які з'єднуються з валом за допомогою шліців і евольвентних зубів. Заготовки шнеків виготовляються з поковок точінням.

Корпуси насосів і турбіни можуть виготовлятися методами точного лиття. Окремі елементи корпусів турбіни і насосів виготовляються об'ємним штампуванням з подальшим їх зварюванням з основною частиною корпусу.

Загальна технологічна схема складання ТНА містить такі етапи:

1. Складання газогенератора;
2. Складання газогенератора зі статором;
3. Складання першого насоса;
4. Складання газогенератора і статора з першим насосом;
5. Складання турбіни;
6. Складання першого насоса з турбіною;
7. Складання другого насоса;
8. Складання ТНА;
9. Випробування ТНА.

Загальне складання двигуна на рідинному паливі.

Основні операції технологічного маршруту складання двигунової установки:

- вхідний контроль всіх деталей та вузлів;
- Підготування камери двигуна та встановлення її на спеціальний стапель для складання та нівелювання (рис 7.7);

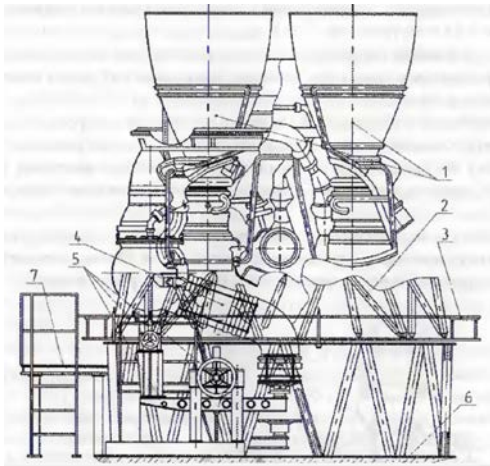


Рисунок 7.7 Схема стапеля для складання двигуна:

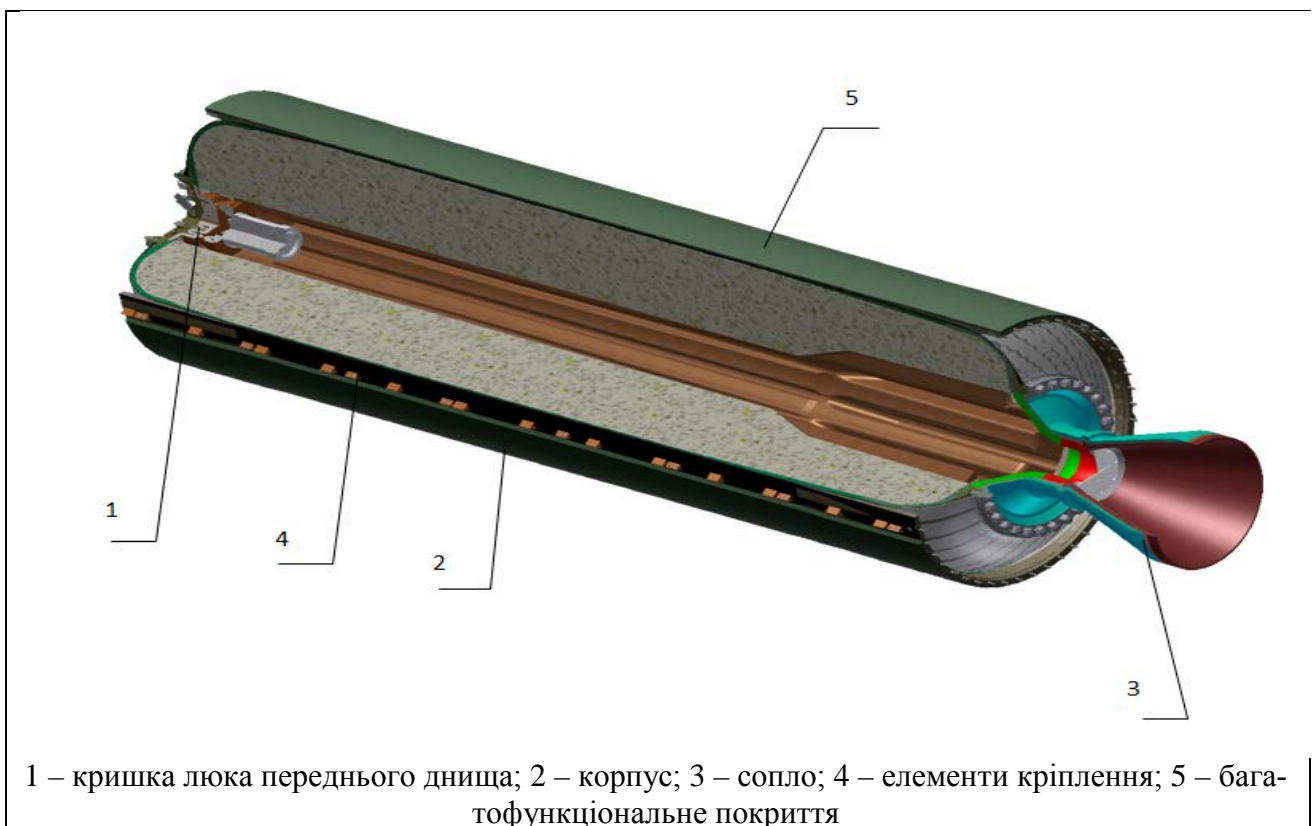
1 - камери двигуна, 2 – рама двигуна, 3 – станина стенда, 5 – механізми стапеля для монтажу і нівелювання вузлів двигуна, 6 – фундамент стапеля, 7 – круговий майданчик для робітників.



- Монтаж всіх деталей, вузлів, систем;
- приварювання газогенератора, трубопроводів та інших систем;
- паяння ніпельних з'єднань;
- стикування гідро- та електроприводів з розподільвачем та перевірка на герметичність;
- монтаж кабелів і приладів та електричні випробування;
- визначення ваги двигуна.

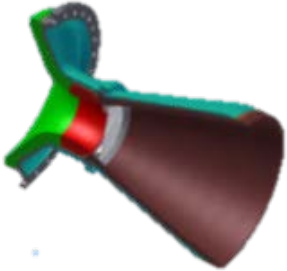
Виготовлення двигунів на твердому паливі.

Технологія виготовлення двигунів на твердому паливі в ДП КБ «Південне» наведена в табл. 7.1

Таблиця 7.1 Технологія виготовлення двигуна на твердому паливі



<p>КРИШКА ЛЮКА ПЕРЕДНЬОГО ДНИЩА МД</p> 	- корпус кришки	- сплав титановий VT20, поковка	- мехобробка - термообробка на необхідні механічні властивості - перевірка на міцність та герметичність - мийна - Контроль геометрії - піскоструминна обробка - зважування, - остаточне здавання
	- фланець	- сплав титановий VT20, поковка	- заготівельна - мехобробка - термообробка на необхідні механічні властивості - мийна - контроль геометрії - зважування, остаточне здавання
	- штуцер, газозабірник	- сталь 09X16H4Б, пруток	- мехобробка
	- шпилька, гайка	- сталь 03X11H10M2T, пруток	
	- кронштейн, пластина	- сталь 12X18H10T, лист	- листове штампування
	- втулка	- сталь 12X18H10T, пруток	- мехобробка
	- дріт	- сталь 15X18H12C4ТЮ, дріт	- рубка дроту на заготівлі - шліфування опорних поверхонь - гальванохімічне покриття
	- заглушка	- сталь 09X16H4Б, пруток	- мехобробка
	- кільце	- сплав титановий VT6С, пруток	
	- бобишка		
	<p>КОРПУС</p> 	- фланець передній, фланець задній	- сплав титановий VT6С, поковка
- шпилька		- сталь 03X11H10M2T, пруток	- мехобробка
- штифт		- сталь 09X16H4Б, пруток	
- втулка		- сталь 12X18H10T, пруток	
- дріт		- сталь 12X18H9T, дріт	- різання у розмір
- болт		- сталь 35, пруток	- мехобробка
- шайба		- сталь 65Г, лист - сталь 12X18H10T, лист	- розкрій листової заготовки - штампування

КОРПУС З ПРИНАЛЕЖНОСТЯМИ	- кільце передне	- сталь 30ХГСА, кільце цільнокатанне (поковка)	- мехобробка
	- цапфа	- сталь 30ХГСА, круг	- мехобробка - гальванохімічне покриття
	- кришка передня, кришка задня	- сплав алюмінієвий АМг6, плита	- мехобробка
	- ручка, скоба	- сплав алюмінієвий АМг6.М, пруток	- штампування
	- штир	- сталь 12Х18Н10Т, пруток	- мехобробка
	- заглушка	- сталь 20, пруток	- мехобробка - гальванохімічне покриття
	- гайка	- сталь 03Х11Н10М2Т, пруток	- мехобробка
	- дріт (контр-рвовочний)	- сталь 12Х18Н10Т, дріт	- різання у розмір
	- болт	- сталь 12Х18Н10Т, пруток	- мехобробка
	- шайба	- сталь 65Г, лист - сталь 12Х18Н10Т, лист	- розкрій листової заготовки - штампування
	- пломба	- сплав алюмінієвий АД1.М, лист	
	- прокладка	- сплав мідний МЗ, лист	- листове штампування
	- шпилька	- сталь 30ХГСА, пруток	- мехобробка
	- рим-болт	- сталь 20, штамповка	- мехобробка - гальванохімічне покриття
	СОПЛО 	- корпус - фланець	- сталь 09Х16Н4Б, пруток (поковка с прошитим отвором)
корпус розтруба			- мехобробка - термообробка для надання необхідних властивостей - мехобробка - мийна - контроль геометрії - зважування, остаточне здавання
- корпус заглушки		- сплав алюмінієвий АМг6.М, пруток	- мехобробка - випробувальна (для заглушки)
- заглушка		- сплав алюмінієвий АД1.М, плита	- перевірка на спрацювання) - мийна - контроль геометрії - зважування, остаточне здавання
- гвинти, шпильки, гайки		- сталь 30ХГСА, пруток	- мехобробка
- шайби		- сталь 65Г, смуга	- листове штампування

МАРШОВИЙ ДВИГУН У ЗБОРІ			<ul style="list-style-type: none"> - вхідний контроль комплекту-ючих - складання корпусу з соплом - пневмовипробування - електровипробування - приклеювання кронштейнів - монтаж жолобів БКС - контроль ВГП - визначення МЦХ - остаточне здавання
-------------------------	--	--	--

8. ВИДИ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІЦІ. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (ПКМ).

Основні типи неметалевих матеріалів, що застосовуються у ракетно-космічній техніці такі:

Полімерні матеріали, до яких відносяться також полімерні композити;

Теплозахисні і теплоізоляційні матеріали і покриття;

Ерозійностійкі матеріали;

Клеї, герметики, пінопласти.

За походженням однорідні полімерні речовини ділять на природні і штучні (синтетичні).

Природні полімери - природний графіт, натуральний каучук, целюлоза, слюда, азбест, природні смоли (янтар, копал, шелак), білки і нуклеїнові кислоти, з яких побудовані клітини живих організмів та ін.

Синтетичні полімери утворюються в результаті хімічного синтезу. Існує два основні методи їх отримання - полімеризація і поліконденсація.

За фізичним станом для полімерів виділяють скловидний, високоеластичний і в'язко-текучий стан. Через високу молекулярну масу полімери не здатні утворювати низько в'язкі рідини або переходити в газоподібний стан.

По електричним властивостям полімери діляться на *полярні* і *неполярні*. Полярність визначається наявністю диполів і несиметричністю їх в будові. В неполярних полімерах дипольні моменти зв'язків атомів компенсуються, тому вони є високо якісними діелектриками.

По відношенню до нагріву розрізняють термопластичні і термореактивні полімерні речовини.

Термопластичними називають такі полімери або пластмаси, які з підвищенням температури розм'якшуються, плавляться, при формуванні не зазнають ніяких хімічних змін, у міру охолодження тверднуть і зберігають здатність пластично деформуватися при повторному нагріві.

Термореактивними називають такі полімери і пластмаси, які при нагріві і формуванні зазнають істотних хімічних змін, тверднуть і втрачають здатність пластично деформуватися при повторному нагріві.

Будова полімерних речовин

До групи однорідних полімерних речовин відносяться *мономери*, *олігомери*, *смоли* і власне *полімери*.

Мономер - речовина, кожна молекула якої може утворювати одну або декілька складових ланок, які повторюються.

Олігомер - речовина, молекули якої містять складові ланки, сполучені чином, що повторюється, один з одним, а комплекс властивостей змінюється при додаванні (або видаленні) одного або декількох складових ланок.

Смола - твердий, напівтвердий або псевдотвердий органічний матеріал, який має визначену і звичайно відносно високу молекулярну масу і який під впливом тепла розм'якшується або плавиться в певному діапазоні температур.

Полімер - речовина, що характеризується багатократним повторенням одного або більш складових ланок, сполучених між собою в кількості достатній для прояву комплексу властивостей, який залишається практично незмінним при додаванні або видаленні одного або декількох складових ланок. Будову полімерних речовин визначають молекули.

Молекула - якнайменша частинка речовини, що володіє його основними хімічними властивостями, яка складається з атомів, сполучених між собою хімічними зв'язками. Число атомів в молекулах складає від двох (H_2 , O_2 , KCl) до сотень і тисяч. Атоми в молекулі зв'язані між собою в певній послідовності і певним чином розташовані в просторі. Розташування атомів в молекулі завжди володіє певною симетрією. Загальні характеристики молекули - молекулярна маса, склад і структурна формула, що вказує на послідовність хімічних зв'язків.

Молекула полімерної речовини, що складається з тисяч і одиниць однакових або близьких по будові груп атомів, що більш повторюються, називається *макромолекулою* і її хімічна будова практично відповідає хімічній будові структурної одиниці. Елементами макромолекули є основний ланцюг, складова ланка і бічні групи.

Під *основним ланцюгом* полімеру розуміють таку послідовність хімічно зв'язаних атомів, яка має істотно більшу довжину, ніж довжина бічних груп.

Складова ланка - група атомів, за допомогою якої можна описувати будову всього ланцюга макромолекули, що виділяється.

Бічними групами (радикалами) є атоми (водню, галогенів), групи атомів (ОН, CN, -C₆H₅ і ін.) або відрізки полімерних молекул різної довжини. Бічні групи уздовж головного ланцюга можуть розташовуватися безладно або мають впорядковану розстановку. Полімери з впорядкованою розстановкою бічних груп називаються регулярними.

По хімічному складу основного ланцюга існує класифікація на органічні, елементоорганічні і неорганічні полімерні речовини.

В *органічних* полімерних речовинах (карболанцюгові полімери, каучук) основний ланцюг утворений, головним чином, вуглецевими атомами. Разом з вуглецем, в них можуть бути присутні атоми кисню, фосфору, фтору, хлору чи сірки. Атоми кисню сприяють підвищенню гнучкості ланцюга, атоми фосфору і хлору підвищують вогнестійкість, атоми сірки додають газонепроникність, атоми фтору надають полімеру високу хімічну стійкість.

Елементоорганічні (гетеро ланцюгові) полімерні речовини містять у складі основного ланцюга, окрім вуглецю, атоми неорганічних елементів (Al, Ti, Si і ін.), що поєднуються з органічними радикалами CH₃, C₆H₅, CH₂ і ін. Атоми неорганічних елементів, знаходячись в основному ланцюзі, істотно впливають на властивості полімерів, наприклад, збільшують теплостійкість. Органічні радикали в таких полімерах додають матеріалу міцність і еластичність. Елементоорганічних полімерів в природі не зустрічається. Їх одержують штучним шляхом, наприклад, кремнійорганічні з'єднання.

Неорганічні полімери - полімери, основний ланцюг яких не містить вуглецю, не має органічних бічних груп. Основний ланцюг неорганічних полімерів складений з оксидів кремнію, алюмінію, магнію, кальцію і ін. Виняток становлять деякі модифікації вуглецю, вуглецеві ланцюгові неорганічні полімери (графіт). Неорганічні полімери відрізняються більш високою густиною і тривалою теплостійкістю, але вони не можуть існувати у високо еластичному стані, крихкі і погано переносять динамічні навантаження. Неорганічні полімери можуть мати природне (азбест) і штучне (кераміка) походження.

Макромолекули можуть бути побудовані з однакових по хімічному складу (*мономери*) або різних (*сополімери*) складових ланок. В макромолекулах полімерних речовин існують наступні види зв'язків: ковалентні (хімічні) і водневі зв'язки, а також Ван-дер-ваальсова взаємодія. Ковалентні і водневі зв'язки реалізуються між атомами основного ланцюга; Ван-дер-ваальсова взаємодія розповсюджується на атоми основного ланцюга і бічних груп також на зв'язок макромолекул в цілому.

Види структури полімерів та їх характеристика

Макромолекули полімерів утворюють певну просторову конфігурацію. По виду цієї конфігурації розрізняють чотири групи будови полімерів: *лінійну, розгалужену, стрічкову (сходову) і сітчасту* (рис. 8.1). Просторова конфігурація макромолекул визначає фізичні стани і властивості полімерів.

Лінійні макромолекули полімеру є довгими зигзагоподібними або закрученими в спіраль ланцюжками (глобули).

Розгалужені макромолекули, будучи також лінійними, відрізняються наявністю бічних відгалужень, що перешкоджає їх щільній упаковці (поліізобутилен). Полімери, що мають лінійну або розгалужену конфігурації макромолекул (поліетилен, полівінілхлорид, полістирол і ін.), при нагріванні володіють здатністю розм'якшуватися, а при охолодженні тверднути називають *термопластичні*. Лінійній конфігурації макромолекул відповідають високо елас-

тичний (макромолекула володіє здатністю згинатися) і в'язкий (вся макромолекула рухома) стани.

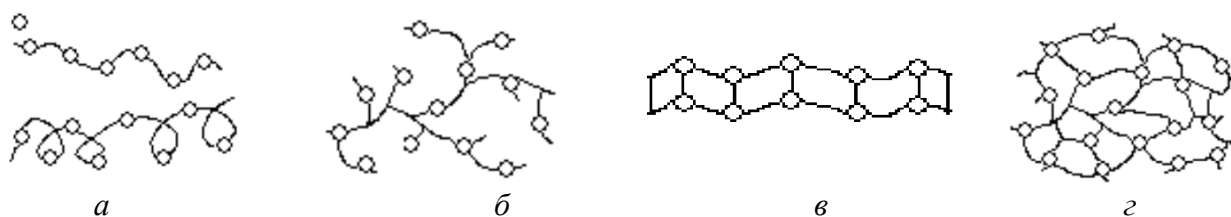


Рисунок 8.1. – Форми макромолекул полімерів: а – лінійна; б – розгалужена; в – сходово-ва (стрічкова); г – сітчаста.

Макромолекула стрічкового полімеру складається з двох ланцюгів, сполучених хімічними зв'язками. Сходові полімери мають більш жорсткий основний ланцюг і володіють підвищеною теплостійкістю, більшою жорсткістю, вони не розчинні в стандартних органічних розчинниках (кремнійорганічні полімери).

Полімери з сітчастою просторовою конфігурацією макромолекул утворюються при з'єднанні макромолекул між собою в поперечному напрямі міцними хімічними зв'язками безпосередньо або через бічні групи. В результаті утворюється сітчаста структура з різною густиною сітки. Рідко сітчасті полімери втрачають здатність розчинятися і плавитися, вони володіють пружністю (м'які гуми). До сітчастих полімерів відносяться також пластинчасті полімери (наприклад, графіт). Густи сітчасті (просторові) полімери відрізняються твердістю, підвищеною теплостійкістю, нерозчинністю. Просторові полімери (фенол-формальдегіди, поліефірні і ін.) знаходяться тільки в скловидному стані і є термореактивними, вони не можуть зворотно змінювати свої властивості і при нагріванні перетворюються на неплавкі і нерозчинні речовини, не здібні до повторного формування.

При сітчастій конфігурації макромолекул в полімерах реалізується надмолекулярна структура, тобто певні форми впорядкування: а саме, глобули (клубки), пачки, стрічки і пластини. Впорядкованість в структуроутворенні визначається гнучкістю лінійних і розгалужених макромолекул, здатністю їх міняти форму, переміщатися по частинах; великий вплив надають жорсткість ланцюга і сили міжмолекулярного тяжіння. Надмолекулярна структура визначає фазовий стан полімерів при цьому глобулам відповідає аморфний стан, а пластинам кристалічний.

Надмолекулярні структури в кристалічному полімері - це кристали (зерна) різної форми і розмірів, але з однаковими кристалічними ґратами. Для кристалічних полімерів характерні високі температура плавлення, густина, міцність, жорсткість, теплостійкість і низькі показники розчинності, набухання, погані прозорість і проникність. Аморфні полімери характеризуються ближнім впорядкуванням в розташуванні ланок або сегментів макромолекул, швидко зникаючим у міру їх видалення один від одного.

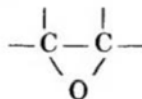
В більшості випадків реальні полімери містять і аморфну, і кристалічну фази. Відносний зміст цих фаз залежить від форми ланцюга, величини міжмолекулярних сил і зовнішніх умов. Вміст в полімері (у відсотках) речовин в кристалічному стані називається ступенем кристалічності. Утворення кристалітів приводить до втрати полімером еластичності, до збільшення його жорсткості і зменшення здібності до деформації. Надмолекулярні структури можуть змінюватися при зовнішній дії.

Полімерні композиційні матеріали – це гетерофазні системи, які складаються із суцільної фази (зв'язуючий матеріал, матриця), що сприймає зовнішні навантаження і перерозподіляє їх на другу фазу – наповнювач; між фазами відбувається взаємодія.

У полімерних композиційних матеріалах **матрицею є синтетичні полімери**, ефективність яких визначається не тільки технологічними властивостями, а й реалізацією низки специфічних властивостей (теплостійкості, радіаційної стійкості, пружно-міцнісних тощо). В ра-

кетно-космічної техніки в якості зв'язника найчастіше використовують епоксидні та феноло-формальдегідні смоли.

Епоксидні смоли. До епоксидних полімерів належить велика група високомолекулярних сполук, що утворюються під час полімеризації епіхлоргідрину, - діанові або дифенілпропану – новолачні, що містять у молекулі особливе угруповання атомів, яке називається епоксидною групою, з двохатомними спиртами:



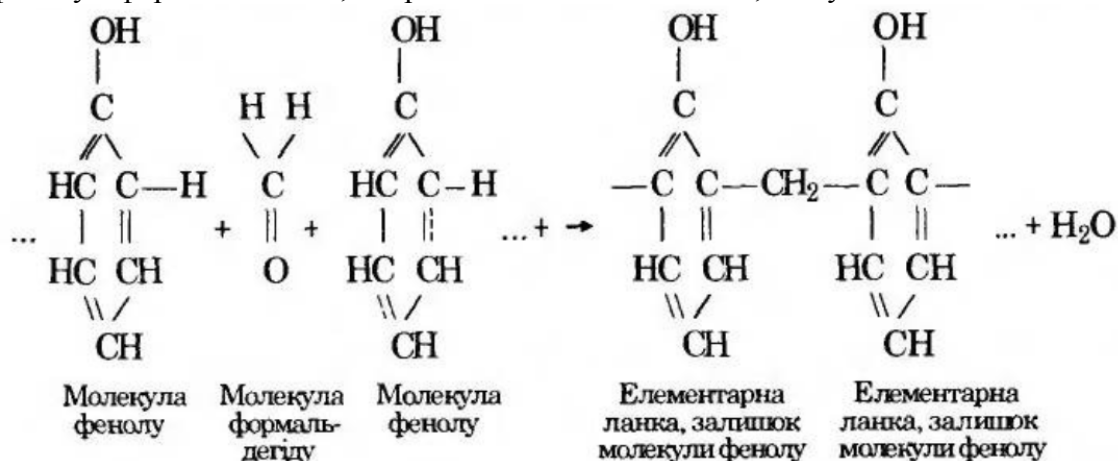
Утворені речовини, що мають складну будову ланцюга, називаються епоксидними смолами. Епоксидні полімери, отримані внаслідок реакції полімеризації, є твердими крихкими речовинами з низькою температурою розм'якшення (300-360 К) і невисокою молекулярною масою. Вони добре розчиняються в ацетоні, толуолі та інших органічних розчинниках.

Розчини епоксидних полімерів – це в'язкі, тягучі речовини з клеючими властивостями. Внаслідок введення в епоксидні полімери ароматичних амінів, двохосновних органічних кислот, або фенолів вони тверднуть і втрачають здатність плавитися під час нагрівання, розчиняються в органічних розчинниках і набувають комплексу нових фізичних властивостей.

Залежно від співвідношення полімеру й отвердника у вихідній суміші, а також хімічного складу й будови, тверднення відбувається за різних температур (від звичайної до 470 К). Є щонайменше 10 хімічних типів епоксидних смол, які тверднуть під дією 20 різних отвердників. Затверділі епоксидні полімери мають низку цінних властивостей: малу щільність (1,14-1,25 г/см³), високу стійкість до дії різних хімічних реагентів, а також чудову міцність зчеплення (адгезію) з поверхнями неметалів і металів, технологічні. Великою перевагою епоксидних полімерів є їх здатність добре поєднуватися з другими полімерами (наприклад, фенол-формальдегідними) й доповнювати своїми властивостями недостатні властивості інших компонентів композиції.

Фенол-формальдегідний смоли. Фенол (C₆H₅OH) – найпростіший представник ароматичних спиртів, який ще називають «карболовою кислотою», добувають сухою перегонкою викопного вугілля. Це тверда кристалічна речовина, розчина у воді й багатьох органічних розчинниках.

З формальдегідом – мурашиним альдегідом $\text{HC}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{H}$ (за звичайної температури – газоподібна речовина), фенол вступає в реакцію з утворенням високомолекулярного полімеру. Взаємодія фенолу з формальдегідом, що реакцією поліконденсації, відбувається за такою схемою:



Зі схеми реакції видно, що молекули фенолу й формальдегіду з'єднуються в суворій послідовності. Внаслідок втрати молекулами фенолу атомів водню, а молекулами формальдегіду – атомів кисню утворюються вільні зв'язки. Далі відбувається зв'язування мономера у полімер. Атоми водню і кисню, що вивільнилися, з'єднуючись, утворюють молекулу води, що є побічним продуктом реакції.

Зі схеми реакції також випливає, що елементарні ланки ланцюга полімеру відрізняються за складом від мономера вихідної суміші, що є характерною ознакою полімерів, отриманих методом поліконденсації.

Добутий полімер у техніці називають фенол-формальдегідною смолою. Реакцію поліконденсації фенолу з формальдегідом проводять за наявності каталізаторів: кислот або лугів. Залежно від змісту одного з компонентів вихідної суміші і характеру середовища одержують полімери, різко відмінні за властивостями.

Полімери, отримані за наявності кислот, є термопластичними, їх називають новоласком.

Полімери, отримані за наявності лугів, є термоактивними, їх називають резолами.

Феноло-формальдегідні смоли виявляють високу механічну міцність, електроізоляційні властивості, антикорозійну стійкість, мають коксове число 55-70%.

Також в якості зв'язників застосовуються смоли: силіційорганічні, полісиланові, полісилоксанові, полікарбосиланові, полікарбосилоксанові, поліорганометалсилоксанові та полімери: поліетилен, поліпропілен, полістирол, фторопласти, поліметілметакрилат, поліаміди, полііміди, полівінілхлорид.

Важливе місце в полімерних композиційних матеріалах посідають **наповнювачі** – **армувальні хімічні волокна**, що є протяжними тілами з поперечними розмірами від одиниць до сотень мікрометрів. Промисловість випускає як моноволокна, так і волокна у вигляді філаментних і текстильних ниток з найрізноманітніших матеріалів. До армувальних матеріалів ставлять чи мало вимог, головними з яких є: високий модуль пружності, міцність, високі тепло- і термостійкість, які забезпечуються умовами одержання ПКМ, добра адгезія і задовільна довговічність адгезійного контакту між армувальним волокном і зв'язником; стійкість компонентів композиту до впливу експлуатаційних факторів.

Основними армувальними матеріалами для виробів РКТ є вуглецеві волокна.

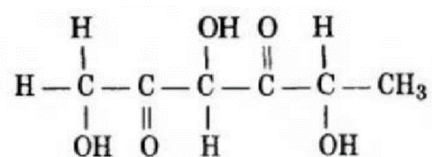
Вуглецеві волокна мають комплекс цінних, а за окремими показниками – унікальних механічних і фізико-хімічних властивостей. Вуглецевим волокнам властиві висока теплостійкість та стійкість до атмосферних впливів і хімічних реагентів, низькі коефіцієнти тертя і термічного розширення, різні електрофізичні властивості (від напівпровідників до провідників). Вуглецеві волокна мають високі значення питомих механічних характеристик.

Є два основні типи вихідних матеріалів для вуглецевих волокон:

- гідроцелюлозні волокна (ГЦВ) або поліакрилонітрильні (ПАН) волокна;
- вуглецеві пеки.

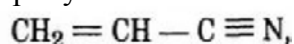
ГЦВ – це полімер природного походження (бавовна, деревина тощо), що має загальну формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Структурна формула мономера ГЦВ така:



Як бачимо, молекула має кратні (подвійні) зв'язки, внаслідок розривання яких і здійснюється полімеризація.

ПАН-волокно – це полімер акрилонітрилу:



Який кипить за температури 350, 6 К і також має кратні зв'язки.

Процес одержання вуглецевих волокон з ПАН-волокна включає текстильну підготовку матеріалу, окиснювання, високотемпературну обробку (карбонізацію і графітизацію). Окиснювання полегшує дегідрування полімеру, забезпечує умови для створення оптимальної структури вуглецю. Щоб запобігти усадці волокна, під час окиснення проводять витяжку для поліпшення якості волокна. У процесі високотемпературної обробки органічне волокно переходить у вуглецеве, що супроводжується складними процесами ароматизації вуглецю і фор-

мування структури вуглецевого волокна. Обробку проводять у вакуумі або інертному середовищі (азот, гелій, аргон). Кінцева температура термообробки істотно впливає на властивості вуглецевих волокон. Змінюючи її, можна керувати властивостями волокна.

Дешевшими й доступнішими вихідними матеріалами є нафтові і кам'яновугільні пеки – суміш олігомерних продуктів. Волокно з них формують, пропускаючи розплав за температури 370-620 К крізь філери діаметром 0,3 мм. Потім сформоване волокно витягають до ступеня витяжки 100 000 – 500 000 %. При цьому досягається висока орієнтація макромолекул волокна. Пекові волокна карбонізують і графітують аналогічно ПАН-волокнам.

Вуглецеві волокна, які застосовують для армування конструкційних матеріалів, умовно поділяють на дві групи: високомодульні ($E=300\dots600$ ГПа, $\sigma_b=2000-2500$ МПа) і високоміцні ($E=200\dots250$ ГПа, $\sigma_b=3500-6500$ МПа). Отримано також волокна, в яких поєднуються висока міцність і високий модуль пружності.

Як армувальні елементи у конструкційних вуглепластиках застосовують безперервні волокна у вигляді ниток, джгутів, тканин або односпрямованих стрічок. Вугленаповнювачі у великих кількостях виробляють у найбільш розвинених країнах: США («Hercules», «Union Carbide», «NITCO», «Celanese»), Японії («Toyuka»), Німеччині, Великій Британії, Франції, Китаї, Росії.

У таблиці 1.1 наведено властивості вугленаповнювачів виробництва японської фірми «Тогаука», які вважають одними з найкращих. Маркування Т означає, що волокна високоміцні, маркування М – високомодульні.

Таблиця 1.1 Властивості вуглеволокон фірми «Тогаука»

Марка волокна	Лінійна щільність, текс	Міцність на розтяг, МПа	Модуль пружності, ГПа	Відносне видовження, %	Щільність $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³
T300	66 – 800	3530	230	1,5	1,76
T800S	223 – 445	5490	294	1,9	1,81
T1000G	485	6370	294	2,2	1,80
M35J	225 – 450	4700	343	1,4	1,75
M55J	218	4020	540	0,8	1,91
M60J	100 – 200	3920	588	0,8	1,94

Через високу вартість вуглеволокон, як зв'язники для вуглепластиків доцільно використовувати тільки ті їхні типи, які забезпечують максимальну реалізацію вихідних властивостей волокна в композиті. Виходячи з практичного досвіду, найчастіше застосовують епоксидні та епоксифенольні зв'язники.

Композити на основі високоміцних вуглецевих волокон - композиційні вуглепластики є найперспективнішим видом композиційних матеріалів. Вони різняться високими питомими характеристиками міцності і твердості, близьким до нуля температурним коефіцієнтом лінійного розширення, ерозійною стійкістю та стійкістю до агресивних середовищ.

Інші види волокон, такі як скловолокна, органічне, керамічне, борне, карбідне також застосовуються в виробках РКТ.

Склопластики – це полімерні композиційні матеріали, наповнювачем яких є скляні волокна. Нині випускають склопластики з орієнтованим (односпрямованим) і перехресним (хатичним) розміщенням волокон. Односпрямовані склопластики використовують для виготовлення профільних виробів, для посилення і зменшення маси конструкцій.

Матеріали з перехресним армуванням застосовують як конструкційні (корпуси ракетних двигунів) і теплоізоляційні.

Органопластики – це полімерні композиційні матеріали, наповнювачем в яких є органічні волокна. В останні роки розроблено нові типи органічних волокон на основі ароматич-

них поліамідів, що добре піддаються переробці, зберігаючи не менш ніж 90% вихідної міцності. За об'ємної частки цих волокон 60% односпрямовані органоластики на епоксидній основі мають щільність $1,36 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, міцність на розтяг уздовж волокон 1,4 ГПа, упоперек волокон 28 МПа, модуль пружності на стиск уздовж волокон 85 ГПа і 5,6 МПа – упоперек волокон. Недолік органоластиків – їх низька міцність на стиск. Органоластики використовують для виготовлення деталей, вузлів і виробів аерокосмічної і ракетної техніки для яких істотним фактором є питома міцність.

Межа поділу наповнювач - зв'язний.

Специфіка гетерогенних систем ґрунтується на безперервності матриці і характері взаємодії її з наповнювачем.

Між матрицею і наповнювачем можуть бути такі типи зв'язків: механічний, зв'язок при змочуванні і розчиненні, реакційний і об'ємна-реакційний. В полімерних композиційних матеріалах в разі просочення волоконного пористого каркаса смолою за відсутності хімічних реакцій реалізується зв'язок при змочуванні і розчиненні під впливом сил поверхневого напруження і супроводжується незначним розчиненням компонентів.

Сила зчеплення рідини з твердим тілом характеризується роботою адгезії W_a , що дорівнює роботі їхнього розділення.

Адгезія – це прилипання двох різнорідних речовин, когезія – прилипання однорідних речовин, вірніше, в одній і тій самій речовині.

Робота когезії, що характеризує силу зв'язку всередині фази, дорівнює роботі утворення нової поверхні під час розривання однорідної рідини, тобто

$$W_k = 2\sigma S_p,$$

оскільки утворюються дві поверхні; $2\sigma S_p$ – поверхнева енергія; W_k – характеризує силу зв'язку всередині фази.

Розглянемо межу поділу рідина – тверде тіло на прикладі краплі, що знаходиться на поверхні твердого тіла (рис. 8.2).

Проаналізуємо рівновагу цих сил:

$$\sigma_{12} + \sigma_{13} \cos \theta = \sigma_{13}$$

$$\sigma_{13} - \sigma_{12} = \sigma_{23} \cos \theta.$$

1. Якщо $\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta$ (рис. 9.2, а), то крапля розтікається, і якщо $\theta = 0$, тобто $\cos \theta = 1$, то це умова повного змочування.

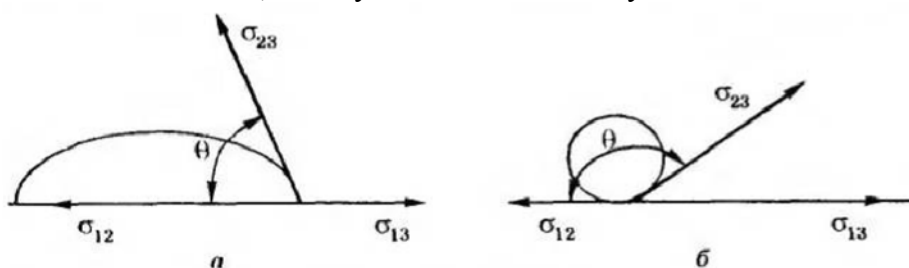


Рисунок 8.2. Схема сил, що діють під час змочування

σ_{12} , σ_{11} , σ_{21} – сили поверхневого натягу відповідно між твердим тілом і рідиною, твердим тілом і газом та між рідиною і газом, θ – кут між дотичною до краплі рідини і поверхнею твердого тіла.

2. Якщо $\sigma_{13} < \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta$ (див. рис. 8.2, б), то крапля стягується до середини. Кут θ збільшується, а значення $\cos \theta$ зменшується і, перейшовши через $\theta=90^\circ$ ($\cos \theta=0$), стає від'ємним, а при $\theta=180^\circ$ $\cos \theta=-1$. За значення $\cos \theta=-1$ спостерігається повне незмочування, крапля набуває форми кулі.

Робота адгезії відповідно дорівнює:

$$W_a = \sigma_{13} + \sigma_{23} - \sigma_{12};$$

$$W_a = (\sigma_{13} - \sigma_{12}) + \sigma_{23};$$

$$W_a = \sigma_{23} \cos \theta + \sigma_{23};$$

$$W_a = \sigma_{23}(1 + \cos \theta).$$

Отже, для визначення W_a потрібно знати тільки коефіцієнт поверхневого натягу рідини і крайовий кут. Робота адгезії великою мірою залежить від поверхневого натягу рідини і властивостей твердого тіла.

9. МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ З ПКМ

Створення конструкцій із композиційних матеріалів неможливо відділити від технології. Якщо говорити про матеріали, то жоден з класичних матеріалів не здатен задовольнити всі вимоги, що висуваються перед конструкціями РКТ, авіації і інших областей техніки. Останні три-чотири десятиліття позначені швидким розвитком такого напрямку матеріалознавства, як композиційні матеріали, що сполучають усі кращі якості вихідних і отриманих нових компонентів.

Виготовлення конструкцій з ПКМ здійснюється в два етапи: її формування та отвердження.

Методи формування конструкцій з ПКМ.

Основні технологічні процеси формування, які застосовують у виробництві полімерних композиційних конструкцій, а також рекомендовані види армувальних наповнювачів і зв'язників для цих процесів наведено в табл. 9.1.

Кожен технологічний процес має свої особливості, переваги і недоліки. Крім того, кожен процес обумовлений граничними технологічними можливостями формування виробів, параметрами процесу, геометрією форми, ступенем автоматизації і реалізації вихідної міцності компонентів і т.д. Ці граничні можливості, з одного боку, закладені в самому методі формування, а з іншого – обмежені параметрами технологічного устаткування й оснащення.

Таблиця 9.1 Основні технологічні процеси формування виробів з вуглепластиків.

Технологічний процес	Рекомендовані компоненти	
	Наповнювач	Зв'язник
Контактне формування ручне викладання напилення автоматизоване викладання	Короткі волокна Стрічки Тканини Мати Стрічки	Поліефірні Епоксидні Фенольні Фуранові Термопластичні
Формування з еластичною діафрагмою вакуумне вакуумно-автоклавне	Тканини Мати Стрічки	Епоксидні Поліефірні Поліамідні Фенольні Полісульфон
Формування тиском просочення під тиском просочення у вакуумі	Тканини Мати Стрічки Короткі волокна	Епоксидні Поліефірні Поліамідні Фенольні
Пресування у формах пряме виливане	Тканини Стрічки Мати Короткі волокна	Епоксидні Поліефірні Поліамідні Фенольні
Намотування	Нитки Стрічки Джгути Тканини Препреги	Епоксидні Поліефірні Поліамідні Фенольні

Розглянемо загальну характеристику технологічних процесів формування виробів з вуглепластиків.

9.1 Контактне формування

Технологічний процес контактного формування полягає в тому, що на підготовлену поверхню відкритої форми укладають вручну (чи за допомогою автомата) або напилюють армувальний наповнювач, потім просочують його зв'язником і отверджують. Розглянемо особливості метода контактного формування.

Ручне викладання. У разі контактного формування методом ручного викладання (рис. 9.1) використовують відкриту форму без застосування тиску. Форма може бути позитивною чи негативною залежно від того, наскільки гладенькою має бути внутрішня або зовнішня поверхня виробу.

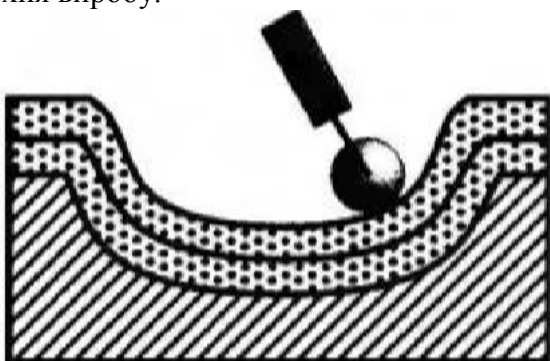


Рис. 9.1 Схема ручного викладання

Негативна форма точно відтворює контур формованої деталі, а позитивна – внутрішній контур. Характерна ознака цього методу – одержання точних розмірів і гладенької поверхні тільки тієї частини виробу, що безпосередньо прилягає до форми в процесі виготовлення.

Щоб одержати форму можна використовувати будь-який матеріал, що має достатню твердість і забезпечує одержання потрібної геометрії виробу в процесі виготовлення. Основна умова полягає в тім, щоб матеріал форми не подавалася хімічному впливу смоли і шкідливо не впливав на швидкість твердіння останній.

Для виготовлення форми можна застосовувати дерево, фанеру, гіпс, бетон, метали. Кольорові метали допустимо використовувати тільки у лудженому чи хромованому стані, тому що вони чутливі до дії деяких каталізаторів, що входять у зв'язник, і впливають на швидкість твердіння. У разі використання зв'язника гарячого твердіння формування виробів відбувається на формах, виготовлених із склопластику, піщано-полімерних сумішей, алюмінію.

Під час підготовки форми слід реалізувати такі вимоги:

- геометрія форми має відповідати геометрії виробу з урахуванням усадки матеріалу і допуску на розміри;
- поверхня форми має бути такою, щоб сформований виріб можна було вийняти без великих зусиль;
- має забезпечувати можливість контролю рівномірності і повноти нанесення зовнішніх покриттів, а також якості просочення армувального матеріалу за кольором форми.

Першою стадією під час одержання будь-якого виробу у відкритій формі є нанесення на її поверхню антиадгезійного покриття. Вибір і ефективність роздільних покриттів визначають три фактори:

- тип матеріалу застосованої форми і зв'язника;
- ступень глясватості готової поверхні виробу, наявність чи відсутність вторинних оздоблювальних операцій (наприклад, фарбування);
- період часу, потрібний для сушіння плівки роздільного шару, відносно загального часу циклу формування.

Після правильної підготовки форми і нанесення зовнішнього смоляного шару приступають до укладання армувальних матеріалів та їх просочення. Усі види армувальних матеріалів надходять на виробництво у вигляді великих рулонів різної ширини. Лист потрібної довжини вирубують з рулону, а потім, у разі потреби обрізають за шаблоном за допомогою універсального бритвеного ножа, великих ножиць, чи електричної машинки для різання тканин, аналогічної той, що застосовують у швейній промисловості.

Потім ретельно змішують зазеленить відміряні кількості смоли і каталізаторів. Композицію можна наносити на волокно, як поза формою, так і всередині неї. Залежно від типу ар-

мувального матеріалу у виробках, отриманих методом контактного формування ручним викладанням, вміст волокна в матеріалі становить 35-50%.

Напилення. Оскільки метод напилення фактично є механічним варіантом формуванням ручним викладанням, для нього цілком придатні всі рекомендації, що стосуються підготовки форми, нанесення роздільних і поверхневих смоляних шарів.

Схему напилення рубленого короткого волокна із зовнішнім змішуванням компонентів зв'язника наведено на рис. 9.2.

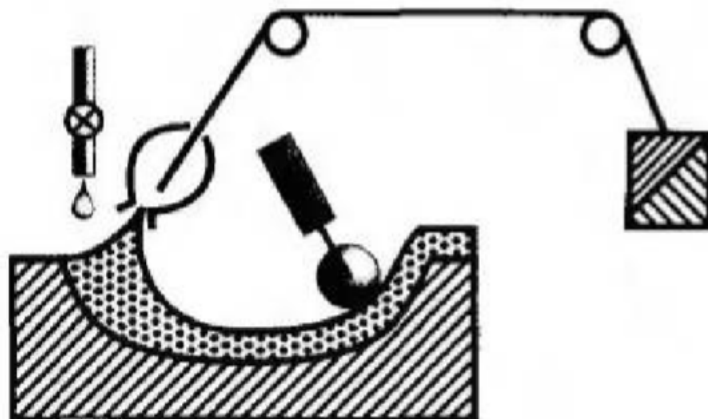


Рис. 9.2 Схema напилення

Подрібнено волокно і смоли одночасно вводять у відкриту форму чи на неї. Ровінг волокна проходить крізь рубальний пристрій і вдувається в потік смоли, яку спрямовує у форму розпилювальна система із зовнішнім або внутрішнім змішуванням компонентів.

Після введення у форму суміші смоли з волокном, шар, що утворився, накочують вручну для видалення повітря, ущільнення волокон та одержання гладенької поверхні.

До складу установки для напилення входять пристрої для подавання смоли і каталізатора по шлангах до розпилювача, насоси, нагнітальні бачки, рубальний пристрій для армувального матеріалу, розпилювальний пристрій, регулятор подачі повітря і вимірювальні прилади.

У разі масового виготовлення виробів ручного викладання і напилення зазвичай застосовують роботів. Перевага робота полягає в тому, що його використання під час формування напиленням дає змогу виконувати жорсткі вимоги охорони здоров'я і безпеки праці на виробництві.

Автоматизоване викладання. Для одержання відкритих оболонок складної форми з довільною твірною використовують технологію автоматизованого викладання препрега, яка полягає в укладанні його за заданими у схемі армування напрямками на оправку. Автоматизоване викладання препрега здійснюють відповідно до програми переміщення головки викладального верстата. Викладення роблять у напрямках, що забезпечують рівновагу препрега, що укладається, на оправці і не є геодезичними. Щоб усунути нещільність прилягання шарів препрега, викладання зазвичай супроводжують накоченням препрега нежорсткими роликками. У разі викладання препрега досить великої ширини слід раціонально розкрювати напівфабрикат з метою підвищення коефіцієнту використання матеріалу.

Препрег з односпрямованої стрічки може викладатися автоматом без утворення складок тільки на лінійних поверхнях, утворених рухом прямої лінії по довільних траєкторіях. Якщо поверхня виробу апроксимована лінійними поверхнями, то під час викладання використовують односпрямований препрег мінімальної ширини або тканий препрег полотняного плетива.

Схему автоматизованого викладання препрегом наведено на рис. 9.3.

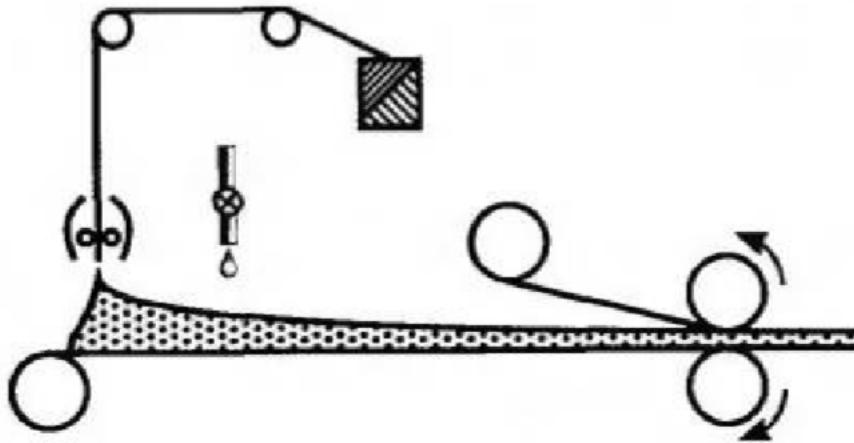


Рис. 9.3 Схема автоматичного викладання

Підігрівання препрега, що укладається, підвищує його деформовність у площині армування, і за певної ширини вдається викладати односпрямований препрег на положисті поверхні подвійної кривизни.

9.2 Формування з еластичною діафрагмою

Процеси формування з еластичною діафрагмою полягають у викладанні заготовок на плоску чи криволінійну форму з наступним формуванням за рахунок різниці тисків усереднені і зовні мішка по всій поверхні, що формується. Формувальний тиск може наближатися до атмосферного, коли всередині мішка створюється розрідження (вакуумний метод), або перевищувати його, якщо формування здійснюється в автоклаві під тиском стиснених газів на заготовку, вакуумовану всередині еластичного мішка (вакуумно-автоклавний метод). Розглянемо ці методи детальніше.

Вакуумне формування. Вакуумне формування застосовують для виготовлення виробів з різними габаритними розмірами.

Прикладений зовнішній тиск, діючи на матеріал заготовки через еластичну діафрагму, має виконати такі функції:

- ущільнити послідовні шари армувального матеріалу, викладені на формі;
- забезпечити якісне, глибоке просочення волокна зв'язником;
- видавити з порожнин легкі побічні продукти реакції і бульбашки повітря;
- видавити надлишок смоли із шарів матеріалу.

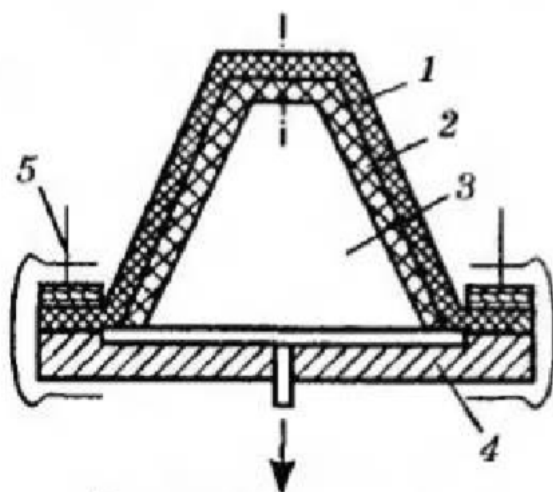
Тому за матрицю вибирають зв'язники холодного або гарячого твердіння, які під час полімеризації не виділяють побічних газоподібних продуктів, здатних створити в матеріалі значно більший протитиск, ніж тиск формування, і тим самим спричинити розшарування деталі.

В останні роки за матрицю використовують термопластичні зв'язники типу полісульфону, поліаміду, полікапроаміду та ін.

Схему вакуумного формування наведено на рис. 9.4.

Вибір матеріалу для форми зумовлений обсягом виробництва продукції, габаритами і формою виробу, тепловими характеристиками матеріалу форми. У разі використання термоактивних зв'язників гарячого твердіння форми виготовляють в основному з металів, рідше – з гіпсу і шаруватих пластиків. Для зв'язників холодного твердіння для невеликої партії виробів (5-10 формувань) застосовують дерев'яні форми. Алюмінієві форми вважають найменш дорогим оснащенням, але вони менш довговічні, ніж сталеві і мають велике відносне лінійне подовження в разі зміни температури оснащення, що відбивається на точності виробів.

Перед використанням форми вкривають антиадгезійним покриттям. Як останнє використовують пастоподібний парафін.



До вакуумного насоса

1 - гумовий мішок; 2 – заготовка ПКМ; 3- форма; 4 – основа; 5 – струбцина

Рис. 9.4 Схема вакуумного формування

На підготовлену таким способом форму по черзі наносять шари попередньо просоченої тканини або мати, які ретельно накочують роликком по формі і між собою з метою створення контакту і видалення повітря, що залишилося.

На покладену поверхню заготовки виробу викладають роздільні дренажні тканини або плівки, які здатні виконувати функції зовнішньої поверхні сформованого виробу чи адсорбувати надлишок смоли з матеріалу в процесі твердіння. Іноді на роздільний шар вміщують пористі вбирні шари скломат чи склотканини, а поверх них – перфоровані шари або плівки грубої тканини, що виконують вентиляційні функції і забезпечують неприлипання еластичного мішка до пакета.

Вакуумний мішок – це багатошарова система, що забезпечує рівномірний розподіл тиску в усіх зонах формованого виробу і запобігає утворенню застійних зон, що викликають недопресування матеріалу. Матеріал діафрагми насамперед має витримувати температуру гарячого твердіння і мати невисоку газопроникність для забезпечення сталості тиску під час формування і врешті-решт якості виробу. Найбільш придатними матеріалами для еластичної діафрагми є гуми, однак термін їх служби невеликий, оскільки вони руйнуються під впливом смол і високих температур. Особливо важлива проблема створення термостійких вакуумних мішків для формування термопластичних ПКМ, тому що температура їх формування знаходиться в діапазоні 523-613 К.

У разі формування під тиском діафрагми використовують як ємність для стисненого газу, що видаляється з композиту під час твердіння. Якщо тиск під діафрагмою сумірний з дією зовнішнього тиску, то діафрагма залишається інертною, й ущільнення матеріалу не відбувається. Для створення зниженого тиску під формованим матеріалом передбачено систему випускних отворів. Однак застосування препрегів під час формування заготовок дає змогу отверджувати виріб під вакуумом без системи випускних отворів, що значно знижує складність і вартість форм.

Вакуумно-автоклавне формування. Для підвищення якості виробів використовують метод вакуумно-автоклавної формування. Процес формування здійснюють під впливом високих тисків стиснених газів або рідини на формований виріб, що вакуумується на формі еластичним мішком і вміщений в автоклав. Схему вакуумно-автоклавної формування наведено на рис. 9.5.



1 - гумовий мішок; 2 – заготовка ПКМ; 3- форма; 4 – основа; 5 – струбцина, 6 - автоклав

Рис. 9.5 Схема вакуумно-автоклавного формування

Автоклав - найуніверсальніше устаткування для виготовлення виробів з композитів. Автоклав – це герметична посудина великого об’єму, в якому можна створювати значні надлишкові тиски робочого тіла (повітря, інертного газу, азоту) в діапазоні 1-3 МПа за температур 423 – 653 К. Характеристики автоклавів, застосованих у вітчизняній промисловості, подано в табл. 9.2.

Таблиця 9.2 Технічні характеристики автоклавів.

Модель автоклава	Параметр виробу, завантаженого в автоклав, мм		Робочий тиск, МПа	Максимальна робоча температура, К
	діаметр	довжина		
A25.576	800	1000	3,0	723
A25.578	2000	6000	1,6	653
A25.580	3000	8000	1,6	653
A25.582	3000	16 000	1,6	653
A25.584	4500	26 000	1,6	523

Процес вакуумно-автоклавного формування (схема підготовки форми, порядок укладання шарів пакета заготовки, герметизація форми) багато в чому подібний до вакуумного формування.

Вакуумно-прес-камерне формування. Цей метод ґрунтується на передачі тиску пресування повітря крізь діафрагму до заготовки, покладеної на тверду матрицю-форму. Внутрішня поверхня виробу оформлюється матрицею, а зовнішня – гумовим мішком і цулагою. Пакет з ПКМ на форму укладають вручну за допомогою прийомів, описаних вище.

Еластичний мішок закріплюють на основі форми, при цьому утворюється герметично замкнений об’єм. Цулагу жорстко скріплюють з формою накладними притискачами. Пресування здійснюють при подачі в мішок стисненого повітря. Під тиском мішок розтягується в камері і щільно притискається з одного боку до покладеної на форму заготовки, а з іншого – до поверхні цулаги. Після цього матрицю піддають нагріванню, і виріб твердіє. Режими термообробки і пресування визначаються властивостями компонентів ПКМ, конструкцією і габаритами виробу. Зазвичай тиск пресування в камері не перевищує 0,5 МПа, щоб запобігти зміні форми, готовий виріб охолоджують під тиском і лише після цього знімають з форми.

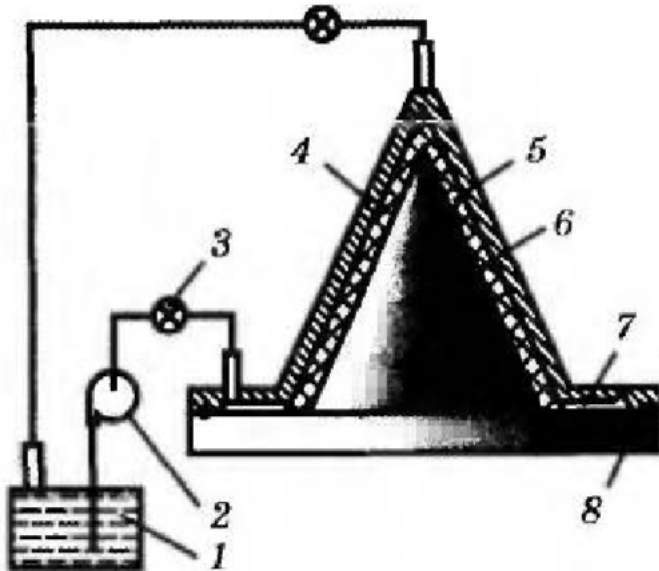
Через різницю тиску всередині еластичного мішка і навколишнього середовища повітря форма зазнає значних навантажень. Тому форми для пневматичного формування роблять міцнішими і твердішими, ніж для вакуумного.

Цим методом можна формувати практично будь-які волокнисті і шаруваті матеріали.

9.3 Формування тиском

Здатність смоли розтікатися в замкнутому об'єму форми під дією тиску використовують для виготовлення виробів простої симетричної форми. Цей метод формування дає змогу одержувати конструкції з високоточними геометричними розмірами, сталою щільністю по об'єму матеріала стінки, при цьому стінка практично не матиме порожнин та місцевих розширень. Такі вимоги слід виконувати, наприклад під час виготовлення різних типів обтічників літальних апаратів. У цій сфері метод і достав найширше застосування.

Просочення під тиском. Суть цього методу формування полягає в тому, що зв'язник подають під тиском до нижнього отвору форми і поступово воно заповнює простір між матрицею і пуансоном, витісняючи повітря з матеріалу, покладеного на матрицю (рис. 9.6).



1 - зв'язник, 2 – компресор, 3 – запірний пристрій, 4 – ковпак, 5 – заготовка ПКМ, 6 – форма, що обігривається, 7 – канал для зв'язника, 8 – ущільнювач

Рис. 9.6 Схема просочення під тиском

Спосіб виготовлення форм для просочення відрізняється від способу виготовлення форм для контактного формування, він трудомісткіший, оскільки потрібно з високою точністю забезпечити зазор між матрицею і пуансоном, що дорівнює товщині стінки виробу. Тому для виготовлення металевих і неметалевих форм застосовують модель з цього матеріалу і з такою самою товщиною стінок, як у виробу. Цю модель зазвичай формують на гіпсовій оправці, і вона є точним об'ємним макетом поверхні виробу. Водночас модель слугує технологічним оснащенням для виготовлення нижньої частини форми (матриці) і верхньої частини (пуансона). Товщина стінок матриці і пуансона для конкретного виробу визначають експериментально.

Підготовка поверхонь матриці і пуансона полягає в нанесенні антиадгезійних мастил або роздільних плівок так само, як і вразі контактного формування. Сухий армувальний матеріал викладають на матрицю до закриття, після цього встановлюють верхню частину форми і згвинчують їх між собою.

Перед просоченням матеріал покладений між позитивною і негативною формами, варто висушити. Для сушіння крізь форму пропускають потік гарячого повітря від калорифера. Іноді під час виготовлення малогабаритних виробів армувальний матеріал «проминають» тією ж смолою, що входить до складу зв'язника. У такий спосіб видаляють бульбашки повітря з матеріалу і тим самим усувають небезпеку утворення у виробі незаповнених смолою ділянок. Однак для великогабаритних виробів операція «проминання» економічно невигідна.

Тиск зв'язника в процесі просочення, впливаючи на стінки матриці і пуансона, розширює зазор між ними і сприяє рівномірному заповненню зв'язником армувального матеріалу. Тому в цьому разі невелика нерівномірність при укладенні матеріалу на матрицю не має істо-

тного значення. Швидкість підймання зв'язника по формі обмежена умовами якісного просочення. Як що швидкість перевищити, то зв'язник залле повітряні бульбашки до того, як вони відокремляться від волокна. Тоді бульбашки можна буди видалити тільки «промиванням» новою порцією чистої смоли, таке промиванні настільки тривало, що цілком знецінює всі інші переваги процесу.

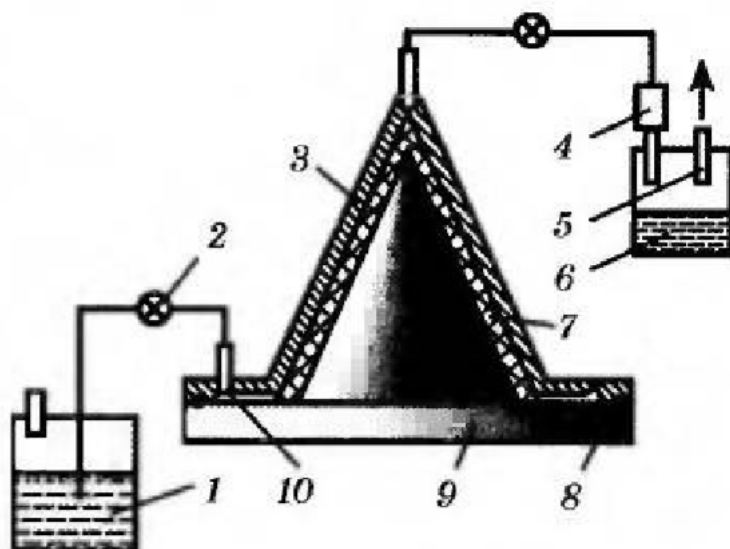
Для якісного просочення потрібно регулювати і контролювати температуру, в'язкість і швидкість підймання зв'язника.

Після того, як зв'язник з'явиться у вивідних отворах у верхній частині форми, подачу його припиняють, і з метою прискорення процесу твердіння форму починають обігрівати. Іноді просочення матеріалу здійснюють у вже розігрітій формі, для чого використовують відповідні обігрівальні пристрої. Часом як нагрівник використовують мідний дріт, обмотаний навколо форми. У деяких випадках твердіння виробів проводять у печах, у які вміщують форму. Параметри твердіння визначають за типом застосованого зв'язника.

Якщо потрібно забезпечити високу продуктивність процесу, використовують короткі рубані волокна (50-70мм), попередньо відформовані за конфігурацією виробу. Однак у цьому разі неможливо одержати високоміцний матеріал.

Просочення у вакуумі. Процес формування виробів просоченням у вакуумі (технологія підготовки форми, укладання матеріалу заготовки) аналогічний процесу формування просоченням під тиском. Схему процесу просочення у вакуумі наведено на рис. 9.7.

У разі використання вакууму елементи форми мають бути твердими, щоб запобігти здавлюванню армувального матеріалу і порушенню вільного перетікання смоли при можливому сплющуванню матриці або пуансона. Якщо матеріал по формі розподілений нерівномірно, то крізь деякі ущільнені ділянки смола не проходить і вони залишаються непросоченими. В міру наближення смоли до верхнього вивідного отвору для забезпечення подальшого її руху потрібно збільшувати вакуум.



1 - зв'язник, 2 — запірний пристрій, 3 – ковпак, 4 – оглядове скло, 5 – вакуумна система, 6 – уловлювач, 7 - заготовка ПКМ, 8 – канал для зв'язника, 9 – форма, 10 – ущільнювач

Рис. 9.7 Схema просочення у вакуумі

9.4. Формування пресуванням у формах.

У загальному випадку метод формування виробів пресуванням – це процес, за якого матеріал у прес-формі набуває заданої конфігурації, зумовленої матрицею і пуансоном, причому твердіння його відбувається у формі.

Нині близько 50% усіх виробів з армованих пластмас одержують цим методом. Його застосовують у разі, коли потрібні високі продуктивність, точність і відтворюваність деталей. При цьому досягається висока якість виробів за мінімальної вартості. Проте навіть якщо обсяг виробництва невеликий, наприклад одержання деталей аерокосмічних апаратів та інших виробів з особливими експлуатаційними властивостями, вимоги до точності і відтворюваності деталей змушують застосовувати методи формування в прес-формах.

Для всіх випадків такого формування використовують прес-форми. Форма чи комплект формувальних деталей зазвичай складається з двох основних частин: матриці і пуансона, причому один з них входить і іншу у разі змикання форми з дотриманням заданого зазору між ними, що дорівнює товщині формованої деталі.

Залежно від застосованого армувального матеріалу, конструкції форми, способу завантаження матеріалу у форму розрізняють два основні методи формування виробів з ПКМ: пряме і виливане пресування.

Пряме пресування. Цей метод є одним з найпоширеніх у виробництві конструкцій пресуванням. Метод прямого пресування армованих композицій неістотно відрізняється від формування пластмас. Головна відмінність полягає в природі самого матеріалу, з якого пресують деталь. Замість вільно текучих смол чи порошків на формування надходить липка волокниста маса, таблетованні ПКМ, просочені мати або попередньо відформовані заготовки з ПКМ чи премікси.

Премікс – армована волокном термореактивна композиція, що після одержання не потребує подальшого отвердіння і може бути відформована в разі прикладання тиску, достатнього тільки для плинності і ущільнення матеріалу.

Для пресування виробів з ПКМ здебільшого застосовують гідравлічні преси, оскільки вони забезпечують сталий тиск на пресовану деталь упродовж усього часу пресування і, крім того, вони простіші і надійніші в експлуатації за механічні.

Пряме пресування (рис. 9.8) полягає в тому, що той чи інший пресувальний матеріал вміщують у матрицю, нагріту до температури формування, на який діє тиск $P_{зв}$ верхньої половини прес-форми – пуансона, нагрітої до такої самої температури. Під впливом температури матеріал набуває необхідної пластичності і під тиском розподіляється по оформлювальній порожнині, заповнюючи її. Повне закриття форми (замикання) відбувається в момент остаточного оформлення деталі. Замикання прес-форми здійснюють з малою швидкістю, щоб повітряні вclusions встигли вийти з порожнин. Відформований виріб витримують у прес-формі під тиском упродовж деякого часу, потрібного для охолодження термопластичного композита або нагрівання термореактивного матеріалу, після чого прес-форму відкривають і виріб виймають за допомогою виштовкувача із зусиллям P_B .

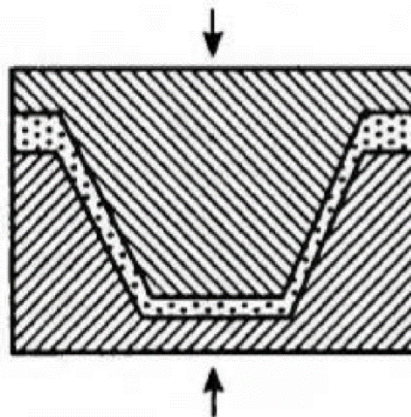


Рис. 9.8. Схема прямого пресування

У разі неправильного вибору режимів чи пресування неякісних матеріалів у виробках можуть з'явитися такі дефекти: бульбашки повітря довкола виступаючих ділянок на поверхні деталі, місця, що містять недостатню кількість зв'язника через надлишок армувального наповнювача, розтріскування зв'язника і місця, що містять його надлишок, матова поверхня плями на виробі.

Кожен дефект має свої причини виникнення, рекомендації щодо їх усунення зазвичай наводять у такому документі, як технологічний регламент.

Розглянемо особливості прямого пресування.

1. Під час оформлення деталі в неї можна запресувати різноманітну арматуру (гвинти, гайки, стрижні тощо), що міцно утримуватиметься в деталі.

2. Прогрівання матеріалу відбувається поступово від стінок нагрітої прес-форми всередину й, отже, у процесі формування виробу різні шари матеріалу можуть мати різну температуру.

3. Різниця температур по товщині виробу спричиняє виникнення внутрішніх напружень і дефектів внаслідок нерівномірного перебігу процесу тверднення чи вулканізації.

4. Є небезпека пошкодження тонких і маломіцних оформлювальних елементів прес-форми або впресовуваної у деталь арматури, оскільки матеріал під тиском починає заповнювати оформлювальну порожнину ще до того моменту, коли він весь прогріється і набуде достатньої пластичності. Для запобігання цій небезпеці здебільшого програмують режим тиску і застосовують декілька попередніх підпресувань. Крім того, за допомогою підпресувань видаляють летучі речовини і пару вологи за короткий проміжок часу початкової стадії тверднення матеріалу.

5. На відформованих виробках завжди утворюється задирки (грат) у площині рознімання прес-форми.

6. Методом прямого пресування можна виготовляти вироби з будь-яких матеріалів – як термопластичних, так і термореактивних. Практично цей метод застосовують переважно для виготовлення деталей з термореактивних КМ. Використання його для формування деталей з термопластів недоцільно, тому що в цьому разі потрібно поперемінно нагрівати й охолоджувати прес-форму упродовж кожного циклу формування, а це значно збільшує тривалість процесу.

Приблизні режими прямого пресування деталей, на які орієнтуються під час відпрацювання процесу формування, наведені в табл. 1.3.

Таблиця 9.3. Приблизні режими прямого пресування

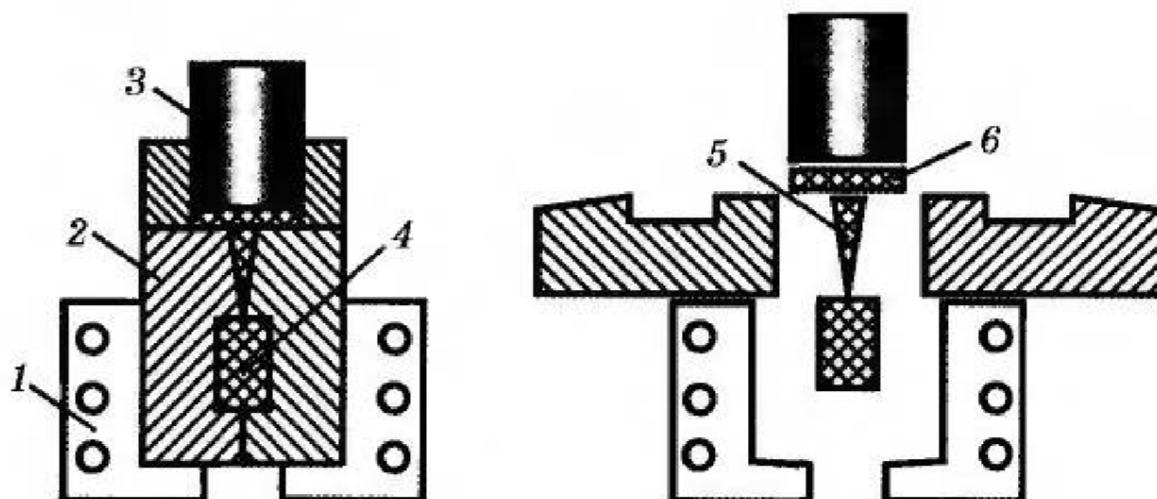
Найменування матеріалу	Температура, К	Питомий тиск min/max, МПа	Час витримки, с	Усадка, %
Термопластичні КМ	393 – 523	2/15	300 – 900	1 – 3
Еластомери	343 – 473	0,4/25	180 – 3600	1 – 23
Термореактивні КМ	393 – 473	3,0/75	180 – 900	0,2 – 1,2
Премікси	393 – 473	3,5/7,0	60 – 180	0,5 – 1,0

Різні методи просочення армувального матеріалу і режими пресування дають змогу добитися вмісту наповнювача в композиті від 20 до 50 %.

Виливане пресування.

Виливане пресування полягає в тім, що пресований матеріал вміщують в завантажувальну камеру попередньо замкненої прес-форми (рис. 9.9). Нагріваючись від стінок завантажувальної камери і набуваючи при цьому необхідної пластичності, матеріал під тиском виливаного пуансона надходить крізь ливниковий канал у формувальну порожнину прес-форми і

заповнює її. Після витримки, потрібної для тверднення, прес-форму розкривають і виймають готовий виріб разом з ливниковим залишком.



1 – форма, що обігрівается, 2 – матриця, 3 – пуансон, 4 – деталь, 5 – ливник, 6 - завантажувальна камера

Рис. 9.9. Схема вилитого пресування

Особливості вилитого пресування перелічено нижче.

1. Можна виготовляти деталі з маломічною чи наскрізною арматурою і деталі з глибокими отворами малого діаметра, тому що матеріал надходить в оформлювальну порожнину прес-форми вже в пластичному стані і не може викликати впливу на оформлювальні елементи прес-форми і впресовану арматуру значних сил деформації.
2. Процес формування відбувається швидше, ніж за звичайного пресування.
3. У деталях, отриманих наливним пресуванням, не виникають великі внутрішні напруження внаслідок меншого перепаду температури по товщині стінок деталі.
4. На деталях, виготовлених вилитим пресуванням, практично не залишається задирок, тому що оформлювальна порожнина прес-форми, утворена пуансоном і матрицею, щільно замикається ще до заповнення її матеріалом. Точність дотримання розмірів деталей за цього метода висока, а механічна доробка деталей зводиться тільки до відрізання ливників і зачищення міст зрізу.
5. У разі вилитого пресування витрачається більш матеріалу, ніж за прямого пресування, тому що матеріал заповнює ливникові канали й у завантажувальній камері заповнюється залишок.
6. Прес-форми для вилитого пресування складніші і дорожчі за прес форми для прямого пресування.

Методом вилитого пресування можна виготовляти вироби з гумових сумішей і порошкоподібних пластичних мас. Пластмаси з волокнистими наповнювачами втрачають до 50% своєї міцності. Шарувати пластики переробляти вилитим методом не можна, оскільки матеріал не зможе пройти із завантажувальної камери прес-форми в її формувальну порожнину крізь вузькі ливникові канали.

9.5 Формування намотуванням

Метод намотування у 60-х роках ХХ ст. став справжнім прогресом у технології виробництва конструкцій з ПКМ. Це закономірно, оскільки він давав змогу одержати високоміцні матеріали для конструкцій аерокосмічної і ракетної техніки й містив у собі величезні можливості вдосконалення, багато з яких сьогодні реалізовано.

Намотування – технологічний процес, за якого суцільний армувальний наповнювач у вигляді ниток, стрічок, джгутів, тканини, плівок просочують полімерним зв'язником, пода-

ють на оправку, що має конфігурацію внутрішньої поверхні виробу й укладають по її поверхні в заданому напрямку. Після одержання потрібної схеми армування, заданих товщини і структури матеріалу виріб подають твердненню тим чи іншим способом і видаляють оправку. Іноді оправка може бути елементом намотувальної конструкції, наприклад герметизувальною оболонкою.

Методом намотування виготовляють вироби, що мають форму обертання: балони тиску, баки, корпуси ракетних двигунів, головні частини, відсіки ракет, транспортно-пускові контейнери, корпуси підводних апаратів, стволи гармат и корпуси снарядів, рідконаливні цистерни, трубопровідні магістралі, коробчасті шпангоути, повітрязабирачі літаків, лопаті гвинтів гелікоптерів, різні профілі, просторово вигнуті труби і т.д.

Залежно від способу нанесення зв'язника на волокнистий матеріал і забезпечення необхідного вмісту його в матеріалі виробу розрізняють кілька технологічних методів формування виробу намотуванням (рис. 9.10).

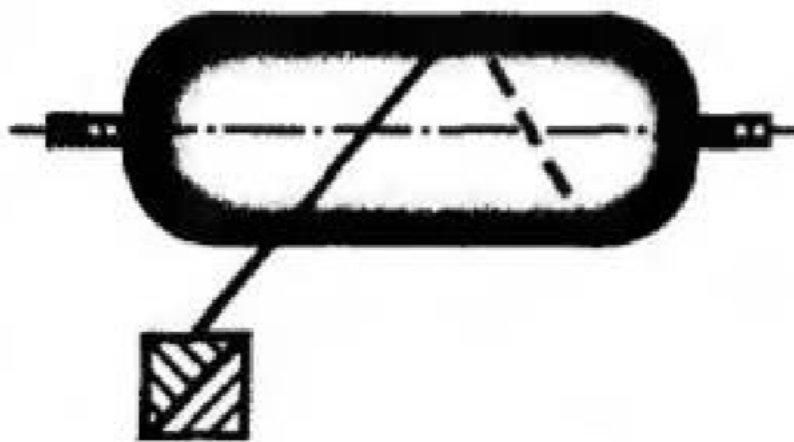


Рис. 9.10. Схема намотування виробів з ПКМ

Метод «сухого» намотування полягає в тому, що волокнистий армувальний матеріал перед формуванням попередньо просочують зв'язником на просочувальних машинах, які забезпечують не тільки якісне просочення, а й потрібний рівномірний вміст зв'язника в препрегу на основі вуглеволокон внаслідок застосування різних попередньо просочених ровінгових полотен вуглетканин, стрічок.

У разі використання методу «сухого» намотування поліпшуються умови і культура виробництва, підвищується продуктивність процесу намотування в 1,5-2 рази, забезпечується можливість використання практично будь якого зв'язника: епоксидного, епоксифенольного, фенол-формальдегідного, поліімідного.

Метод «мокрого» намотування відрізняється тим, що просочення армувального волокнистого матеріалу зв'язником і намотування на оправку суміщені. За методом «мокрого» намотування нитки, попередньо підсушені гарячим повітрям, потрапляють із шпулярника на індивідуальні натяжники, збираються в пасмо і надходять в просочувально-натяжний тракт. Просочення армувального волокнистого матеріалу зв'язником здійснюють одним з таких способів: протяганням ниток через ванночку із зв'язником, контактування з роликком, що купається у зв'язнику, примусовим просоченням у клиновій чи вакуумній камері.

Після просочення надлишок зв'язника віджимають, пасмо ниток натягається, проходить через систему контролю і через рознімний пристрій надходять на обертову оправку, закріплену на намотувальному верстаті. Потрібна в'язкість зв'язника в цьому разі забезпечується вибором відповідної смоли і застосуванням підігріву зв'язника у просочувальній ванні. Перевага методу «мокрого» намотування полягає в нижчому контактному тиску формування, що потребує устаткування з меншою потужністю приводу, і кращому формуванні поверхні

виробу. Тому метод «мокрого» намотування застосовують, як правило, для виготовлення великогабаритних оболонок складної конфігурації.

Є й третій метод намотування, за яким сухий армувальний матеріал намотують на оправку, а потім просочують зв'язником розбризкуванням його під тиском з пульверизатора, вручну за допомогою щітки, з використанням тиску або вакууму. Цей метод, названий намотуванням з наступним просоченням, обмежено застосовують під час виготовлення панелей сітчастої структури або тонкостінних оболонок, оскільки забезпечити якісне просочення відомими способами не вдається.

Для методу «мокрого» намотування характерним є таке: невисока швидкість намотування, обмежена швидкістю просочення наповнювача зв'язником; неможливість забезпечення рівномірного змісту зв'язника у вигляді загуслих решток у просочувальній ванні і надавленому надлишку зв'язника з намотуваного виробу; забруднювання намотувально-просочувального тракту і робочого місця зв'язником; неможливість застосування високов'язких зв'язників (наприклад, термопластів).

Метод «сухого» намотування ефективніший, ніж «мокрого», його переваги полягають у такому: висока продуктивність, оскільки швидкість намотування на лімітується умовами просочення наповнювача; стабільність ступеня армування, тобто співвідношення наповнювач – зв'язник; висока відтворюваність фізико-механічних характеристик виробів; можливість використання препрегів, попередньо просочених високов'язкими зв'язниками, в тім числі і термопластичними; кращі технологічні умови для намотування виробів, що мають конусність або складну кривизну, за рахунок ефекту прилипання препрега до оправки; сприятливі екологічні наслідки.

10. УЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ З ПКМ

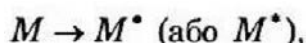
10.1 Полімеризація

Принцип цієї реакції полягає в тому, що молекула мономерів під впливом спеціальних речовин (так званих каталізаторів чи ініціаторів) сполучаються між собою в молекули великих розмірів й утворюють довгі ланки лінійної, розгалуженої або сітчастої структури, причому під час сполучення молекул їх хімічний склад не змінюється, тому полімер, що утворюється, не відрізняється за складом від вихідного мономера.

Ланцюговий процес утворення полімерів під час полімеризації можна подати трьома послідовними етапами: початок росту ланцюга, ріст ланцюга, обривання ланцюга.

Початок росту ланцюга дають ініціатори, внаслідок чого неактивні молекули мономера перетворюються на вільні радикали.

Схематично це відбиває умовний запис



Де M – молекула мономера, M^* - вільний радикал молекули мономера, тобто залишок молекули мономера, що має один неспарений електрон чи вільну некомпенсовану валентність.

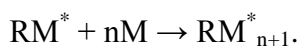
Молекули ініціатора ($R-R$) розціпляються на вільні радикали ($2R^*$), які, реагуючі з молекулами мономерів (M), утворюють нові вільні радикали – активні центри, що починають полімеризаційний ланцюг (RM^*):



Ріст ланцюга. Під дією вільних радикалів, що утворилися, неактивні молекули мономера перетворюються на активні, які взаємодіють між собою; відбувається ріст ланцюга полімеру:



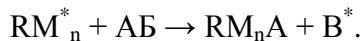
або в загальному вигляді



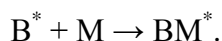
Обривання ланцюга. Утворення молекули полімеру закінчується обриванням ланцюга. Причиною обривання (стабілізації) можуть бути зіткнення зростаючої молекули полімеру

- з вільним радикалом ініціатора:
 $RM^*_n + R^* \rightarrow RM_nR;$
- з активним центром – збудженою молекулою мономера:
 $RM^*_n + ^*MR \rightarrow RM^*_{n+1}R;$
- з іншим зростаючим ланцюгом:
 $RM^*_n + M_m \rightarrow RM_{n+m}$

Зіткнення зростаючого ланцюга, що містить на кінці вільну валентність, яка зберігається в процесі росту, з молекулою мономера, полімеру чи іншої речовини (AB) може, зокрема зумовити стабілізацію структурного і продовження росту реакційного ланцюга, чи так звану передачу ланцюга:



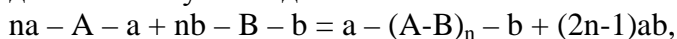
З цього прикладу видно, що поряд зі стабілізованим ланцюгом полімеру (RM_nA) утворюється новий вільний радикал (B^*), який продовжує ланцюг реакцій початком нового структурного ланцюга:



10.2 Поліконденсація

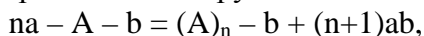
Реакція поліконденсації є окремим випадком реакції заміщення, коли з великого числа однакових або різних молекул мономерів внаслідок взаємодії утворюється низькомолекулярні продукти (вода, аміак тощо).

Для забезпечення поліконденсації потрібно, щоб мономери мали визначені кінцеві функціональні групи, здатні реагувати між собою. Схему процесу лінійної поліконденсації можна подати в такому вигляді:



де n – число вихідних молекул мономерів, $a - A - a$ і $b - B - b$ – молекули мономерів з кінцевими групами a і b , здатними реагувати між собою з утворенням димера $A-B$ і відщепленням низькомолекулярного продукту ab .

При цьому замість двох мономерів у реакції поліконденсації може брати участь і один, що має різні кінцеві групи:

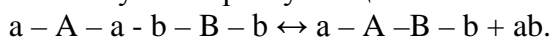


або однакові, здатні взаємодіяти з негативними aa чи bb .

Початок утворення ланцюга макромолекули схематично можна зобразити так:

Процес можна розділити на три етапи:

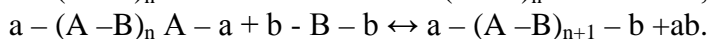
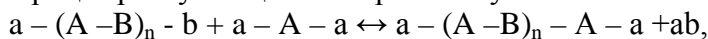
- початок утворення ланцюга макромолекули полімеру,
- процес росту ланцюга;
- зупинка росту ланцюга.



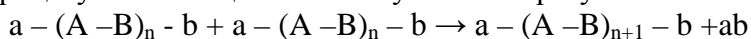
Протилежно спрямовані стрілки вказують, що процес оборотний.

Поліконденсація – ступінчастий процес, що характеризується поступовим, порівняно повільним наростанням ланцюга полімеру за рахунок приєднання мономерів у певній послідовності. Остання обставина вказує на те, що полімери, які утворюються в результаті поліконденсації, мають переважно рівномірну будову і тільки в окремих випадках ця регулярність може бути порушена.

Процес росту ланцюга макромолекули зазвичай схематично зображують так:



Тут йдеться про структурний ланцюг, який утворюється внаслідок перебігу ступінчастого процесу. Ріст ланцюга може бути також результатом взаємодії зростаючих ланцюжків:



причому взаємодія зростаючих ланцюжків посилюється і в міру зменшення кількості молекул вихідних полімерів.

Зупинка росту ланцюга макромолекули може відбуватися під дією фізичних і хімічних факторів.

Здавалося б, маючи на будь-який стадії росту (за еквівалентного співвідношення мономерів) кінцеві реакційноздатні групи, ланцюжок теоретично має рости до зникнення цих груп, тобто до перетворення всієї маси мономера на один ланцюг. Однак практично ріст ланцюжка зупиняється раніше.

До фізичних факторів, що спричиняють зупинку росту ланцюга, належать:

- зниження концентрації кінцевих груп у міру їх витрати і зумовлене цим зменшенням ймовірності їхнього зіткнення, а отже, і продовження процесу росту ланцюга;
- підвищення в'язкості системи, що утруднює зіткнення груп для здійснення процесу росту ланцюга.

Хімічними факторами, здатними зупинити ріст ланцюга, є:

- порушення еквівалентного співвідношення кінцевих груп внаслідок перебігу побічних реакцій, чи випаровування одного з мономерів за високих температур, а також нееквівалентного співвідношення вихідних мономерів;
- деструктивні реакції обривання, ймовірність яких зростає зі збільшенням довжини ланцюга;
- домішки речовини, що має одну кінцеву функціональну групу, аналогічну кінцевим функціональним групам реагуючих полімерів, зупиняють ріст ланцюга.

10.3. Методи нагрівання під час отверднення вуглепластиків.

10.3.1 Електричні печі і нагрівники

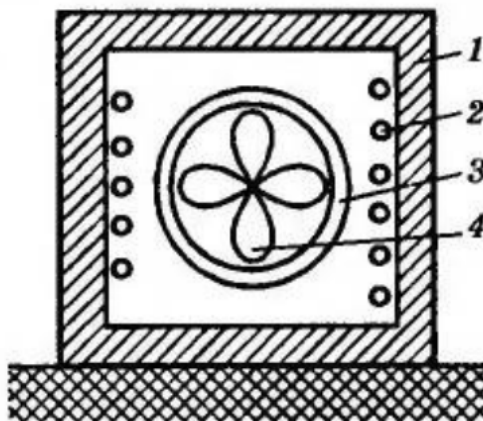
До числа найважливіших типів печей і нагрівників належать печі опору, індукції і дугові. Полімерні композиційні матеріали найчастіше виготовляють в печах опору.

Конструкція печей опору дає змогу регулювати робочу температуру в дуже вузьких межах. Найважливішим елементом печі є матеріал, з якого виготовляють нарівні елементи, що визначають максимальну робочу температуру.

Оскільки температури тверднення полімерних зв'язників не перевищують 473 К, то як нагрівні елементи застосовують відкриті або закриті спіралі зі сплавів хромель, ніхром, копель., Наприклад, максимальна робоча температура нагрівників з ніхрому становить 1333 К, хромелю 1033.

Звичайно, температура самих нагрівників значно перевищує температуру в печі, так що ці дані наведено для самих нагрівників. Форму, розміри й об'єм печі розраховують. Їх потужність залежить від температури печі і, зрозуміло, від її об'єму.

Для вирівнювання температури по об'єму в низькотемпературних печах застосовують спеціальні вентилятори. На рис. 10.1 наведено схему поперечного розрізу прямокутної печі.



1 – стінка печі, 2 – електронагрівник, 3 – коробка вентилятора, 4 – вентилятор.

Рис. 10.1 Схема розрізу печі опору без виробу, що нагрівається

Вуглець-вуглецеві композиційні матеріали добувають у високотемпературних печах опору, де як нагрівники використано графітові стрижні, що сполучені послідовно і знаходяться в контрольованій атмосфері.

Є багато інших матеріалів, що застосовують як нагрівники. Це молібден, вольфрам, карбіди, силіциди тощо. Однак у кожному конкретному випадку вибір має бути обґрунтованим і компромісним.

Останнім часом замість електричних печей опору застосовують так звані аеродинамічні печі.

Поява цих печей дещо анекдотична: на одному з підприємств міста Дніпропетровська пірометростка, яка стежить за роботою електричних печей, після встановлення належного режиму попрохала чергового електрика, щоб він вимикнув піч через 4 години, а сама пішла додому, оскільки це була друга зміна. Електрик вимикнув електронагрівники, але забув вимкнути вентилятор.

Колі вранці відчинили піч, то з'ясувалося, що теплозахисне покриття, залишене там для тверднення, не тільки заполімеризувалося, а навіть частково обвуглилось. Спочатку вирішили, що вийшли з ладу терморегулятор і ще щось. А розгадка цього явища була у внутрішньому терті в газі, що підлягає закону Ньютона:

$$K = \tau = -\mu \frac{dv}{dz},$$

де K – питомий потік кількості руху, що дорівнює дотичній напрузі τ у газі у разі вимушеного руху, μ – коефіцієнт внутрішнього тертя, $\frac{dv}{dz}$ – градієнт швидкості вздовж координати z .

З молекулярної фізики відомо, що

$$\mu = 1/3 m n \bar{u} \lambda,$$

де m – маса молекули, n – число молекул в одиниці об'єму, \bar{u} – середня квадратична швидкість молекули.

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{3kT}{m}};$$

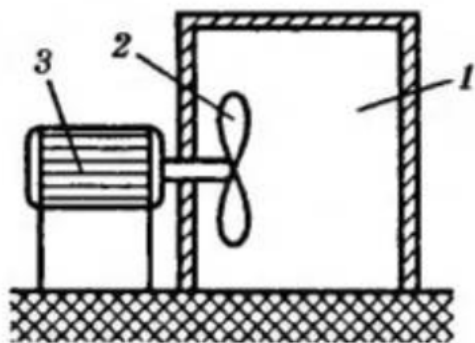
де k – стала Больцмана, T – абсолютна температура.

З останнього виразу випливає, що в разі підвищення температури збільшується швидкість \bar{u} , а отже і коефіцієнт внутрішнього тертя.

Відомо, що в разі тертя у газі кінетична енергія рухомого тіла перетворюється на теплову енергію газу. Ось і вся розгадка того, що сталося, і принцип роботи аеродинамічних печей.

Потрібно ще раз нагадати, що тут не потрібні жодні нагрівні елементи, потрібен лише вентилятор.

В останні роки вся ракетно-космічна галузь перейшла на аеродинамічні печі (рис. 10.2), максимальна температура в яких становить 873-973 К, тобто це та температура, яку витримує матеріал лопаті вентилятора.

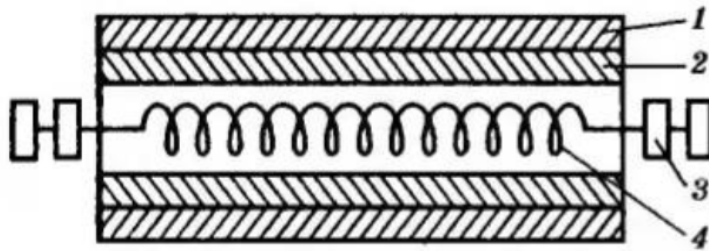


1 – замкнений об'єм з теплоізоляцією, 2 – лопаття вентилятора, 3 – електродвигун

Рис. 10.2 Схема аеродинамічної печі

Крім того, аеродинамічні печі в 2-3 рази менше споживають енергії, вони дуже прості і зручні. Нині розроблено понад 20 типів таких печей, їх можна використовувати на будь-якому підприємстві, у сільському господарстві, опалення приміщень тощо.

Дуже зручні ці печі при отвердненні полімерних матеріалів виробів різних розмірів (до 10 м завдовжки і 3, 5 м діаметром). Якщо вироби формують у механічних прес-формах під пресом, можна застосовувати індукційний метод нагрівання, або нагрівання за допомогою термоелектричних нагрівників (ТЕНів, рис. 10.3).



1 - сталеві трубка, 2 – електроізоляція, 3 – контакти, 4 – спіраль з ніхрону, хромелю або копелю

Рис. 10.3 – Схематичне зображення ТЕНів

Індукційна піч, або нагрівник, якщо це прес-форма, це трансформатор, первинною обмоткою якого є індуктор, а вторинною – виріб, що нагрівається, або прес-форма. Зрозуміло, виріб, що нагрівається, має бути провідним за заданої частоти. Для нагрівання металевих виробів і графіту зазвичай застосовують низькочастотні машини генератори або перетворювачі частоти (теристори), для діелектриків – дуже високі частоти, які у виробництві полімерів майже не застосовують, оскільки в процесі полімеризації чи поліконденсації смол змінюється електричний опір. Так що це – ще проблема!

Великі металеві прес-форми нагрівають за допомогою індукторів, які працюють на промисловій частоті (50 Гц).

Частота струму тем менша, чим більші розміри прес-форми, що впливає з емпіричної формули

$$\Psi_{\min} = \frac{25 \cdot 10^3 \rho_e}{d^2},$$

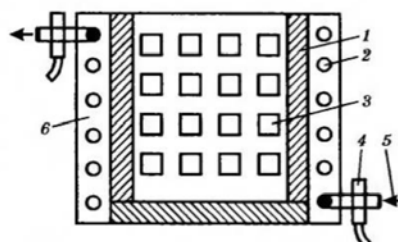
де ρ_e – питомий електричний опір, Ом.м: d – діаметр прес-форми, мм.

Індуктори у вигляді соленоїда зазвичай виготовляють з мідних охолоджуємих водою труб діаметром 10-20 мм за місцем призначення, нагрівники омичного опору ТЕНів промисловість постачає у вигляді спіралей, вміщених у металеві труби і відокремлених від стенок фарфоровими ізоляторами.

ТЕНи маркують в такій спосіб; ТЕН-2, ТЕН-1, де цифра означає його потужність у кіловатах (кВт).

ТЕНи можна застосовувати як у прес-формах, так і в печах. Іноді в прес-формах роблять спеціальні канали, куди вставляють теплонагрівники. За такого використання ТЕНів коефіцієнт корисної дії підвищується.

У разі індукційного нагрівання пластиків або інших непровідних матеріалів застосовують товстостенні металеві чи графітові нагрівники (рис. 1.14), температуру яких забезпечують вихрові струми і передають теплоту в простір, де знаходяться деталі, що нагріваються.



1 – нагрівник, 2 - індуктор; 3 – деталі; 4 – електричні контакти; 5 – подача охолодуючої води; 6 – теплоізоляція

Рис. 1.14 Схема індукційного нагрівання із застосуванням товстостенних нагрівників.

У техніці ще є чимало інших печей і методів нагрівання, але ми їх для виготовлення виробів з полімерних композиційних матеріалів не застосовуємо, і тому не опишемо.

10.3.2 Інфрачервоне нагрівання

У 1880 р. фізики розклавши сонячний світ на кольори і пересуваючи вздовж нього ртутний термометр, виявили невелике підняття ртутного стовпчика в невидимій ділянці спектра, розташованій безпосередньо за червоним світлом. Тим самим було відкрито інфрачервону ділянку спектра.

У 1924 р. у випромінюванні невеличкого електричного вібратора було виявлено інфрачервоні (ІЧ) промені і доведено, що між світловим і електромагнітним випромінюванням є безперервний перехід без будь-яких розривів.

Це, з одного боку, дало змогу заповнити останній пробіл у гамі випромінювань, що починаються з короткохвильових променів, які випускаються радіоактивними речовинами ($\lambda=5 \cdot 10^{-13}$ м), і аж до герцових (радіо-) хвиль завдовжки в кілька кілометрів. З іншого боку, згідно відомою теорією Максвелла, інфрачервоні промені виявилися одним з видів електромагнітного випромінювання.

Як різновид електромагнітних коливань ІЧ випромінювання займає в спектрі електромагнітних хвиль широку ділянку – від $70 \cdot 10^{-8}$ до 10^{-3} м.

Основною характеристикою генератора ІЧ випромінювання є променистий потік Φ , що визначає потужність випромінювання E . Кількість енергії, яку сприймає тіло, що нагрівається, відповідає енергетичній опромінюваності. Атмосферне середовище є практично прозорим для ІЧ променів навіть за наявності в ньому диму, пари, туману. У разі поширення ІЧ променів у щільних середовищах їхнє ослаблення визначається не дифракцією і розсіюванням, а поглинанням променистої енергії. Тому глибина проникнення ІЧ-променів у щільних середовищах є функцією поглинання: чим вища інтенсивність поглинання променів у речовини, тем менша глибина проникнення випромінювання. Певні обмеження щодо глибини проникнення ІЧ-променів у щільні середовища не заважають використанню їх для нагрівання різного роду виробів, у тому числі з ПКМ.

Внаслідок поглинання променистої енергії верхні шари матеріалу розігріваються до певної температури. Подальше поширення теплоти у глибині шари відбувається шляхом теплопровідності. Тем самим уможливорюються нагрівання досить товстих шарів матеріалу.

Джерелом ІЧ-енергії може бути будь-яке нагріте тіло (газоподібне, рідке, тверде).

Джерела випромінювання в ІЧ-ділянці спектра за фізичною природою генерування енергії можна розділити на п'ять груп: джерела теплового випромінювання, електролюмінесцентні, змішаного випромінювання, електромагнітні й оптичні квантові генератори (лазери).

Нині у багатьох галузях промисловості успішно застосовують ІЧ-нагрівання, для чого використовують генератори теплового (температурного) випромінювання.

Джерела теплового випромінювання різноманітних типів і конструкцій класифікують за довжиною хвилі максимуму випромінювання, що залежить від температури випромінювача. Світлі (короткохвильові) випромінювачі мають температуру 1773–2073 К і вище, частина їхньої енергії припадає на видиму ділянку спектра, а максимум інтенсивності на діапазон $(1 \dots 2) \cdot 10^{-6}$ м. Темні (довгохвильові) випромінювачі створюють випромінювання з максимальною інтенсивністю в ділянці $(3,5 \dots 5) \cdot 10^{-6}$ м. У разі ІЧ нагрівання до різних випромінювачів можна висунути загальні вимоги і намітити їхні технічні показники. Генератори ІЧ-випромінювання мають задовольняти таким основним вимогам:

- забезпечувати стабільний розподіл інтенсивності випромінювання і максимально можливу рівномірність опромінювання оброблюваного матеріалу;
- мати мінімальну теплову інерцію, від якої залежить тривалість приведення випромінювача в робочий стан;
- мати високий енергетичний КПД і щонайбільшу тривалість терміну експлуатації.

Переліченим загальним вимогам у разі застосування ІЧ-нагрівника для низькотемпературних процесів відповідають джерела випромінювання, що використовують електричне нагрівання. До електричних генераторів ІЧ-випромінювання належать дзеркальні лампи розжарювання, випромінювачі з кварцовими трубками й елементи опорів.

Дзеркальні лампи розжарювання – це джерело ІЧ випромінювання, в якому як випромінювач використано вольфрамову моноспіраль, а відбивачем є внутрішня поверхня колби з нанесеним шаром алюмінію. Зазвичай колба має параболічну форму і забезпечує рівномірний розподіл потоку випромінювання від нитки, розміщеної у фокусі параболи. Всередині скляної колби розміщена тугоплавка червона плівка. Що слугую фільтром для випромінювання з $\lambda < 65 \cdot 10^{-5}$ м. Робоча температура нитки розжарювання лампа досягає 2273 К, термін служби $7 \cdot 10^9$ с. За розміщення дзеркальних ламп розжарювання на відстані 1,5-4 м від об'єкта, що опромінюється щільність потоку енергії змінюється від $0,2 \cdot 10^4$ до $2 \cdot 10^4$ Вт/м². Однак дзеркальні лампи розжарювання мають низку недоліків, що істотно обмежує ефективність їх застосування для низькотемпературних процесів. У разі нагрівання нитки у вакуумі вольфрам випаровується, утворює наліт на внутрішній поверхні колби, що зменшує інтенсивність потоку випромінювання і збільшує поглинання випромінювання стінками колби за тривалої роботи. Дзеркальні лампи розжарювання створюють нерівномірну щільність променистого потоку на об'єктах, що опромінюються, через особливість конструкції вони мають відносно низький ККД. Для усунення зазначених недоліків сушильні установки зазвичай модифікують створенням комбінованого енергопідведення, використовуючи поряд з дзеркальними лампами розжарювання кварцові і темні ІЧ-випромінювачі.

Лампи з кварцовими трубками за енергетичними, експлуатаційними, конструкційними параметрами перевершують усі ІЧ-випромінювачі. Досвід застосування ІЧ-нагрівачів в технологічних процесах термоотверднення ПКМ підтвердив перспективність і доцільність галогенних ламп розжарювання. Висока термостійкість і прозорість кварцового скла дає змогу виготовляти лампи невеликих розмірів (діаметр трубки порядку 10^{-2} м), що забезпечує зниження маси апаратури, в якій їх застосовують. Кварцові галогени лампи розжарювання створюють високу концентрацію енергії (до $4 \cdot 10^3$ Вт/м вздовж трубки), а вразі групового розміщення випромінювачів забезпечують високі значення поверхневої щільності потужності опромінювання, що досягають $(6 \dots 10) \cdot 10^4$ Вт/м².

До переваг галогенних ламп розжарювання варто віднести також значний термін експлуатації ($(7 \dots 18) \cdot 10^9$ с) при збереженні стабільності променистого потоку упродовж усього терміну, малу термічну інерцію (номінальний енергетичний потік досягається за час 0,6 с з моменту вмикання), поєднання коротко- і довгохвильового ІЧ-випромінювання.

Недоліком галогенних ламп розжарювання є те, що тривало використовувати їх у групових випромінювачах можна тільки в горизонтальному положенні (за номінальної напруги живлення). Для роботи у вертикальному положенні створюють спеціальні конструкції галогенних ламп розжарювання, знижують напругу живлення. Крім того, застосування цих ламп для нагрівання потребує надійного теплозахисту елементів конструкції нагрівника. Під час термоотверднення речовин, які інтенсивне поглинають ІЧ-проміни в діапазоні довжин хвиль $(3 \dots 5) \cdot 10^9$ м, використовують електричні випромінювачі, що є елементами опорів, що генерують максимальну енергію в даному діапазоні. У темних низькотемпературних випромінювачах джерелами енергій є металеві або керамічні трубки, всередині яких розміщено спіраль.

Найпоширенішою і найефективнішою конструкцією низькотемпературного ІЧ-випромінювача є герметичний трубчастий електронагрівник. Трубчасті електронагрівники задовольняють основним вимогам, що ставлять до випромінювачів. Вони не складні за будовою, живляться від промислової електромережі, міцні, довговічні, не мають складних частин і легко можуть бути зібрані у вигляді панелей різних розмірів. За віддачею променистого потоку трубчасті електронагрівники поступаються ламповим випромінювачам, але перевершують багато які темні випромінювачі. В разі опромінювання на горизонтальній поверхні за сприятливих умов світловіддача у вигляді ІЧ-променів може досягати 50 %.

Недоліком трубчастих електронагрівників є значна теплова інерція (тривалість доведення до робочої температури становить 240-300 с). Цей недолік позначається тільки під час пуску терморадіційної установки. Темпі ІЧ-випромінювачі мають відносно невисоку температуру поверхні нагрівання, що сприяє створенню «м'яких» режимів термоотверднення. Для забезпечення щонайбільшої щільності потоку ІЧ-випромінювання використовуються керамічні панельні електронагрівники, випромінювальна поверхня яких має пористу будову. Такі нагрівники забезпечують можливість нагрівання до відносно високої температури і підбір потрібного спектра випромінювання за рахунок селективної випромінювальної здатності різних компонентів кераміки.

Внаслідок простоти, доступності, відносно невисокої вартості генераторів енергії ІЧ-нагрівання знайшло широке застосування в технологічних процесах як перспективний спосіб прискореного отверднення полімерних матеріалів. ІЧ-нагрівання використовують на різних стадіях виготовлення виробів. Під час намотування попередньо просоченим матеріалом нагрівання потрібне для розм'якшування зв'язника, а потім, після закінчення намотування, для його отверднення. У разі намотування «мокрим» методом потрібне нагрівання зв'язника в просочувальній ванні для зменшення його в'язкості, і тим самим - поліпшення якості просочування і швидкості змочування. ІЧ-нагрівання застосовують і під час пошарово-послідовного формування конструкцій. Оскільки швидкість намотування зазвичай намагаються зробити достатньо високою, нагрівання, з одного боку має забезпечувати максимально швидке нагрівання поверхневого шару, з іншого – максимум його випромінювання має припадати на ту частину спектра, яка краще поглинається матеріалом. Найбільшого ефекту нагрівання досягають у разі відповідності спектральних характеристик випромінювача й оптичних властивостей матеріалу. Експериментально встановлено, що фенолформальдегідні й епоксидні зв'язники добре поглинають ІЧ-випромінювання в діапазоні довжин хвиль $(2,7 \dots 4) \cdot 10^6$ м і потім понад $5,0 \cdot 10^{-6}$ м. Вибір джерела ІЧ-нагрівання в зазначеному діапазоні довжин хвиль створює оптимальні умови впливу випромінювання на структуру і властивості матеріалів у процесі отверднення.

Під час розрахунку установок найактуальнішим стає визначення потужності генератора ІЧ-випромінювання, їхньої якості, розмірів і раціонального розміщення в установці.

Основною вимогою при визначенні енергетичних характеристик установо є забезпечення рівномірності променевої поверхні матеріалу в процесі нагрівання до заданої температури.

ІЧ-установку розраховують на основі диференціального рівняння теплового балансу, згідно з яким енергія, що поглинається опромінюваним матеріалом за час dt втрачається на нагрівання (dQ_H), віддачу теплоти конвекцією (dQ_K), випромінюванням (dQ_e) та випарюванням розчинників ($dQ_{\text{вип}}$):

$$dQ = dQ_H + dQ_K + dQ_e + dQ_{\text{вип}}$$

Для створення рівномірного поля опромінювання, яке забезпечувало оптимальну температуру на поверхні, велике значення має розміщення джерел ІЧ-нагрівання.

Встановлено, що зі збільшенням відстані між об'єктом дослідження і лампою значно зменшується опромінювання, і як наслідок змінюється температура нагрівання (рисю 1.15).

У разі опромінювання одиничною лампою об'єкт найбільше опромінюється в середині поля, в поперечному і поздовжньому напрямках опромінювання спадає. Досягнення випромінювання близького до рівномірного, на значній площі забезпечується сполученням декількох ламп у групу.

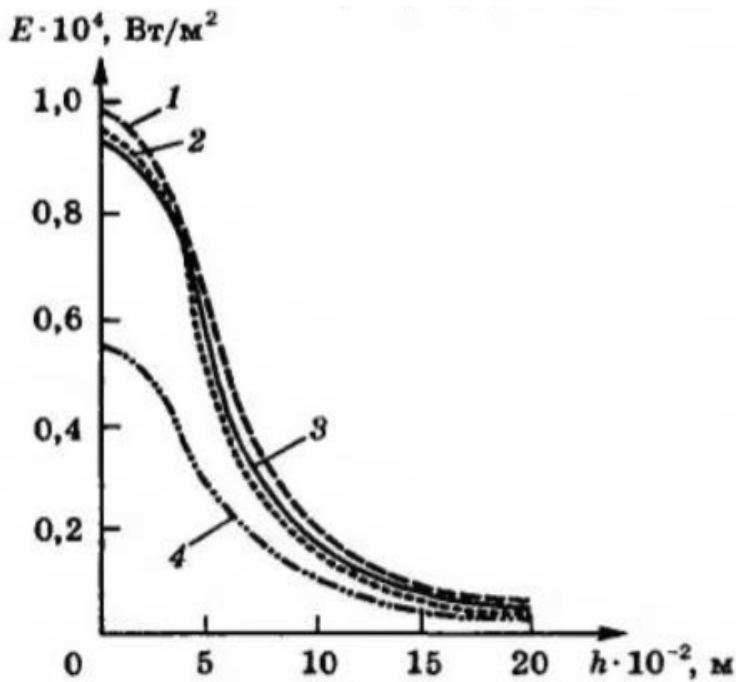


Рис. 1.15 Розподіл опромінення в поперечному напрямку на висоті $h=5 \cdot 10^{-2}$ м для галогенних ламп розжарювання КГТ.220-1000-1; 1-4 – α відповідно дорівнює 0,12; 0,08; 0,04 і ≥ 0 м.

За спільної дії групи випромінювачів у результаті додавання кривих розподілу енергії створюється рівномірне поле опромінення, при цьому опромінюваність збільшується майже вдвічі порівняно з одиночним випромінювачем. Зміни значень величини опромінення досягають також регулюванням напруги живлення.

Енергетичне опромінення в міру віддалення від середини поля зменшується і у разі групи випромінювачів. Найекономічнішим шляхом подолання «крайового ефекту» є розміщення відбивачів у безпосередньої близькості від зовнішніх випромінювачів системи. Це зумовлює перерозподіл відбитого випромінювання на краї опромінюваного матеріалу. Застосування випромінювачів забезпечує також створення потрібного ступеня рівномірності поля опромінювання і збільшення значень опромінення об'єкта. На практиці можна застосовувати плоскопаралельні, сферичні, параболічні та інші відбивачі, що концентрують енергію.

Механізм впливу ІЧ-випромінювання на полімерні композиційні матеріали можна подати так. У разі ІЧ-випромінювання процеси прогрівання й отверднення уміщуються, внаслідок чого різко скорочується час формоутворення виробів. За конвективного підведення теплоти процеси нагрівання й отверднення розвиваються послідовно один за одним. Оскільки теплопровідність композита низька, він нагрівається від поверхні до центра заготовки. Градієнт температур, що виникає по перерізу заготовки, поступово зменшується, подовжуючи як час наскрізного прогрівання, так і тривалість процесу отверднення.

ІЧ-нагрівання інтенсифікує процес отверднення внаслідок впливу квантів енергії $h\nu$ на розвиток хімічних реакцій між макромолекулами, тобто виникають фотохімічні процеси взаємодії.

Якщо цей механізм має місце, можна чекати, що зміна величини $h\nu$ в разі ІЧ-нагрівання впливатиме на процес отверднення.

Виявлені явища дають змогу запропонувати нову енергозберігаючу технологію створення композицій з ПКМ.

У разі заміни термореактивних зв'язників на термопластичні типу поліетиленової плівки така технологія дасть змогу усунути операцію просочення наповнювача, запобігти виділенню легких речовин під час нагрівання, одержати високі міцність і герметичність, а також вирішити проблему використання вторинної полімерної сировини.

11. ТЕПЛОЗАХИСНІ І ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І ПОКРИТТЯ

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

Тепловий захист твердими поглиначами тепла оснований на акумулюванні тепла такими матеріалами, що мають високу теплоємність: мідь, алюміній, залізо, молібден, вольфрам, берилій та графіт (таблиця 9.1).

Таблиця 9.1 Матеріали – поглиначі теплоти

Матеріал	λ , Вт/(м·К) (293 К)	C , кДж/(кг·К) (293 К)	$T_{пл}$, К	$Q_{вип}$, кДж/кг	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³ (293 К)
Мідь	386	0,37	1356	450	8,9
Алюміній	293	0,92	933	650	2,7
Залізо	78	0,45	1812	790	7,87
Молібден	148	0,25	2890	975	10,2
Вольфрам	150	0,08	3683	1790	19,3
Берилій	167	2,18	1558	3690	1,85
Графіт	130	1,63	> 4300 (теор.)	9550	2,29 (теор.)

Радіаційний теплозахист ґрунтується на здатності матеріалів випромінювати тепло з нагрітої поверхні. 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.

Схему радіаційного охолодження, яку застосовують в аерокосмічній та ракетній техніці наведено на рис. 9.1.

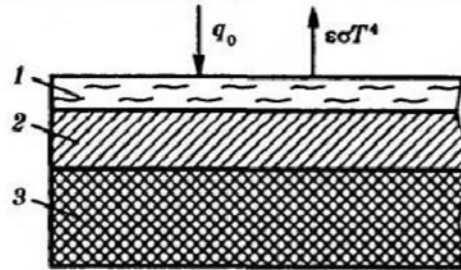


Рисунок 9.1. Схема радіаційного охолодження
1 – захисний шар, 2 шар металу - , 3 – теплоізоляція

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 (таблиця 9.2). Охолоджувач омиває охолоджувану поверхню та відбирає з неї тепло, після цього віддає його в теплообмінник.

Таблиця 9.2 Властивості деяких охолоджувачів

Речовина	Молекулярна маса	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Речовина	Молекулярна маса	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)
Водень	2	14,45	Повітря	30	1,00
Гелій	4	5,2	Метанол (CH ₃ OH)	32	1,72
Водяна пара	18	2,14	Аргон	40	0,52
Аміак (NH ₃)	17	2,22	Гліцерин	92	2,40
Азот	28	1,03	Вуглекислий газ (CO ₂)	44	0,91

Абляційний теплозахист супроводжується такими механічними й фізико-хімічними процесами в поверхневому шарі покриття: нагрівання, плавлення, винос потоком, що набігає,

сублімація, 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 (рис. 9.2)

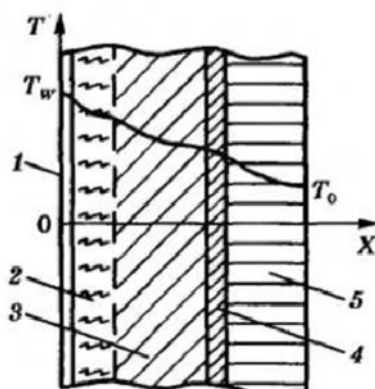


Рисунок 9.2. Схематичний розріз прогрітого теплозахисного покриття
1 – зруйнований шар; 2 – розплав; 3 –прококований шар, 4 – зона розкладання, 5 – однорідний шар.

Принцип роботи ТЗП, що руйнуються, характеризується втратою поверхневого шару заради збереження сприятливого теплового режиму внутрішніх шарів і конструкцій, що захищаються загалом.

Хімічні реакції можуть відбуватися як за участю компонентів потоку, що набігає, так і незалежно від них.

Крім того, під дією внутрішнього тиску або зовнішніх сил, а також термічних напруг може мати місце ерозія, тобто механічне зношення у вигляді окремих часточок.

Під час створення композиційних ТЗП важливу роль відіграє зв'язник. За температурою близько 1273 К спочатку випаровується волога, що не впливає на механізм руйнування. Починаючи з температури порядку 3273 К, розкладання зв'язника супроводжується поглинанням теплоти, утворення значної кількості газоподібних продуктів і пористої структури поверхневого шару.

Співвідношення між виходом газоподібних продуктів і твердого каркаса визначається коксовим числом, що дорівнює частці від ділення щільності коксу ρ_k на щільність вихідної композиції $\rho_{км}$: $K = \rho_k / \rho_{км}$.

Для феноло-формальдегідної смоли $K=0,6$, для епоксидної – 0,2, хоча вміст головного коксоутворювального компонента (вуглецю) в обох смолах майже однаковий. Процес руйнування органічної молекули залежить не тільки від числа атомів, що входить до її складу, а й від структури молекули та характеру внутрішнього зв'язку.

Зовнішнє теплозахисне покриття

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.

Теплозахисне покриття повторює геометричні форми поверхні несучої оболонки корпусу та має змінну товщину. 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.

Найпершим ТЗП була мінеральна обмазка ТМП-2 – суміш цементу, карельського каменю, 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 переважне 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 видаляється з поверхні, не тільки «відносить» тепло, але й потрапляє в примежовий шар, зменшуючи передачу тепла крізь нього. 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.

Конструкції сучасних ТЗП – це багатошарові пакети, багатофункціональні за призначенням. Вони являють собою складні багатокомпонентні композиції, що крім своєї основної функції – теплового захисту, виконують функції радіозахисту, радіопрозорості, забезпечення відсутності супутнього сліду, стійкості до імпульсних навантажень, жорсткого та надзорського 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. При виготовленні покриття найбільш застосовувані матеріали такі:

- вуглетекстоліт на бакелітовому лакові вакуумного формування, пресований, намотуваний, автоклавного та інфрачервоного отвердіння;
- азботекстоліт на фенольному, фенольно-формальдегідному, фурфурольному, фенолформальдегід-фурфурольному або епоксидному сполучному;
- стеклотекстоліти на основі кремнеземних тканин різних методів формування;
- теплоізолюючі підшари з розріджених лавсанотекстолітів, а також стеклостільників та пористих фторопластів;
- радіопоглинальні покриття із сажонаповнених лавсанотекстолітів, феритів та графітизованих матеріалів;
- радіопрозорі матеріали;
- поліпропіленотекстоліти, розріджені поліпропіленотекстоліти різних методів нанесення й формування;
- покриття, що сублімують;
- матеріали заливного типу;
- пінопласти;
- термопласти та гуми, наповнені порошками важких елементів;
- вуглець-вуглецеві матеріали.

Відомо два найпоширеніші способи побудови композиційних ТЗМ.

1. Несівний каркас утворюють переплетені тугоплавкі волокна, а сполучний компонент запобігає ковзанню волокон наповнювача одного відносно іншого.

2. Стільники виготовляють із склопластику або металу, а їх внутрішній об'єм заповнений сумішшю органічної смоли, пористих мікрокульок і мікрОВОЛОКОН.

Другий тип композиційних ТЗМ працює в умовах тривалого впливу помірного теплового потоку, перший – добре протистоїть надвисоким тепловим і динамічним навантаженням.

Слід відзначити, що трудомісткість виготовлення ТЗП може досягати 50% від загальної трудомісткості виготовлення конструкції, яка захищається! Площа поверхні, що захищається, може перевищувати 16 м².

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; багатфункціональні двошарові; багатфункціональні 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 упродовженням 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, гідروвакуумний, автоклавний та пресовий.

Етапи технологічного процесу виготовлення такі:

- розкроювання та розрізання тканинних заготовок;
- зшивання заготовок у мішки за формою 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 скло- або вуглецеві панелі.

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.

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

Головна специфічна особливість конструкцій із неметалевих матеріалів 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 викладенням, 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.

На сьогодні створено 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*;
- 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.

Виготовлення теплоізоляції

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.

Загальні вимоги до матеріалів такі:

- мінімальна питома маса (відношення маси одиниці об'єму матеріалу до об'єму з урахуванням пор);
- висока пористість внутрішніх шарів;
- низька пористість і газопроникність поверхневого шару; мінімальні зміни об'єму та розмірів у діапазоні від нормальних до експлуатаційних температур;
- здатність до збереження структури й форми при стискальних навантаженнях;
- висока теплостійкість, міцність і жароміцність;
- вогнетривкість;
- необхідний рівень ступеня чорноти й коефіцієнта віддзеркалення поверхні;
- технологічність виготовлення;
- економічність;
- нетоксичність;
- стабільність властивостей протягом установленого терміну.

Теплоізоляційні матеріали поділяють на:

- неорганічні – склотканини, скловата, піноскло, пінний корунд, металева фольга,
- органічні – повсть, поліетилен, поліпропілен, полістирол, поліхлорвініл, політетрафторетилен, поролон, пінопласти на основі поліуретану, поліаміду та полііміду.

Теплоізоляційні покриття на основі еластичних волокнистих матеріалів з органічними поліморфними та неорганічними кварцовими, азбестовими, скляними волокнами витримують температуру до 1500°C. Покриття на основі жорстких волокнистих матеріалів, а також екранно-вакуумна ізоляція – до 1000°C.

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. 9.3).

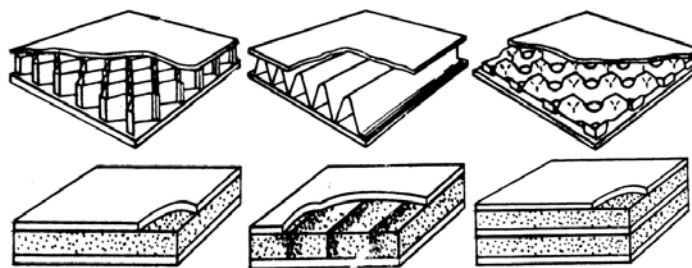


Рисунок 9.3. Конструкції теплоізоляційних матеріалів

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 різномірних 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; розкрювання покриття за шаблонами; очищення й знежирення поверхні корпусу; підгонка розкрюєних заготовок за місцем установа 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 однобічною або двобічною металізацією, алюмінієва або нікелева фольга. Для прокладок використовують скляні вуалі 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. Розкрювання 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. Заключне зшивання пакета стрічкою по кромках капроновими нитками, не змінюючи товщину мата.

ПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ

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?

12. ВУГЛЕЦЬ-ВУГЛЕЦЕВИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

Протягом останніх 10 ... 15 років почали застосовуватися вуглець-вуглецеві матеріали, тобто такі, у яких і матриця, і наповнювач є вуглецевими.

Що викликало появу вуглець-вуглецевих матеріалів? Як відомо, за дуже високих температур найкращим чином можуть реалізувати ефективну ентальпію вуглецеві матеріали, бо вони при цьому не плавляться, оскільки потрібна точка їхня знаходиться приблизно біля температури 4500 К і тиску 10 МПа. При створенні всіх теплозахисних покриттів намагаються збільшити вміст вуглецю в зв'язному, щоб під час роботи ТЗП утворювався твердий коксовий залишок. Але цей залишок, внаслідок видалення продуктів гідролізу і коксування, має більшу пористість, а саме вона зумовлює підвищене ерозійне винесення в газових потоках з великими швидкостями і температурами. Покриття вважається здатним до роботи, якщо його пористість, виражена через газопроникність, менша 10^{-17} м^2 . У верхньому шарі покриття чи ерозійностійкого матеріалу вона, звичайно, вища. Аби вона не змінювалась потрібно, щоб у матриці за високих температур не відбувався процес коксування. Тобто щоб цей процес здійснювався раніше, під час отримання ерозійностійкого матеріалу.

Саме таким матеріалом і є вуглець-вуглецевий композиційний матеріал (ВВКМ), у якого матрицею є щільний кокс чи навіть графіт, а наповнювачем саме ті вуглецеві волокна, що й у вуглепластика. В цьому матеріалі матриця і наповнювач мають той самий хімічний склад, але знаходяться в різних формах (фазах). Цінним є й те, що обидва компоненти мають однакові або близькі коефіцієнти термічного розширення та інші фізико-хімічні й теплофізичні властивості.

Наведемо деякі з них: теплота сублимації $Q_s = 60\ 000 \text{ кДж/кг}$; теплопровідність $\lambda = 0,75 \dots 0,85 \text{ Вт/(мК)}$; коефіцієнт термічного розширення $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$; випромінювальна здатність $\epsilon = 0,8 \dots 0,9$; модуль пружності $E = (1,6 \dots 2,2) \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Вуглецеве волокно (ВВ) зберігає міцнісні характеристики аж до температури активної сублимації $> 3000 \text{ }^\circ\text{C}$ (3300 К), а також міцне зчеплення з вуглецевою матрицею, котра також не втрачає своєї механічної міцності.

Вуглецева матриця - це кокс полімерного зв'язного або пеку чи піровуглець, осаджений із газової фази, або ж і те й інше.

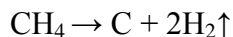
При створенні ВВКМ багато уваги слід приділяти питанню сумісності матриці і наповнювача, густині каркаса і його структурі, вибору технологічних прийомів виготовлення їх. Як і в разі отримання інших КМ, вуглець-вуглецеві також формуються разом з виробом чи за формою, близькою до нього.

Існує ряд способів отримання виробів із ВВКМ:

1. Спочатку виготовляються об'ємні каркаси з вуглецевих ниток чи трикотажних сіток за формою виробу на графітовій оправці шляхом плетіння чи укладення і підпресовки. Іноді первинне формування каркаса виконується на сталевій оправці, а потім заготовка переноситься на графітову оправку і вміщується до спеціальної печі для насичування піровуглецем.

Піч являє собою закриту сталеву камеру з контрольованою атмосферою, котра створюється під час піролізу метану чи іншого вуглецьвміщуючого газу. Стінки сталевих каркасів, зазвичай футеруються графітовими блоками. Нагрівання здійснюється за допомогою графітових нагрівачів опору або ж індукторів, але теж з графітовими нагрівачами. Для висококачотного індукційного нагрівання, як правило, застосовуються машинні генератори. Нагрівання печі здійснюється з контрольованою атмосферою чи вакуумом усередині.

Після того як на поверхні каркаса буде досягнута температура приблизно $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ (1273 К), до печі подається газ метан, котрий розкладається і «залишає» вуглець усередині каркаса за реакцією:



Водень, що виділився, спалюється на виході із печі (рис. 12.1).

Процес розкладання метану на гарячій поверхні зветься піролізом. Після першого насичування виконується графітизація вуглець-вуглецевої заготовки за температури, вищої

2500 К. Термін графітизації визначається температурою, але становить не менше ніж 4 години. Чим вища температура, тим менша тривалість процесу графітизації. В цьому процесі утворюється кристалічна гексагональна структура вуглецю, відбувається подальше виділення продуктів розкладу вуглеводнів, ущільнення вуглецевої речовини і, як наслідок, - утворення пор. Тому виконується багатократне насичування піровуглецем і графітизація аби зменшити пористість, підвищити густину й міцність. Іноді перед наступним насичуванням піровуглецем механічним способом знімається більш щільна зовнішня кірка, щоб поліпшити доступ метану до глибших шарів. У таких випадках розміри насичуваного каркаса беруться з деяким припуском. В принципі, перед останнім насиченням графітизацією виріб можна довести до необхідних лінійних розмірів.

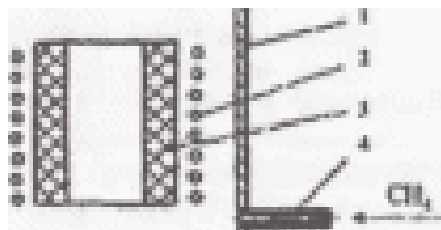


Рисунок 12.1. Схема насичення каркаса піровуглецем: 1 - корпус печі з футеровкою; 2 - нагрівач; 3 - насичуваний каркас; 4 - пристрій подачі метану; 5 - вихідний патрубок водню

Увесь цикл виробництва ВВКМ за таким методом становить приблизно 700 годин.

Звичайно, вироби з такого матеріалу коштують дуже дорого, це, як правило, найбільш відповідальні деталі твердопаливного двигуна (вкладиш критичного перерізу сопла) чи головної частини. Так, створений за цією технологією вуглець-вуглецевий матеріал УПА та його модифікації дозволили з успіхом замінити вольфрам з міддю в псевдославах АВМГ і ВНДС, що раніше застосовувалися в критичному перерізі сопла РДТП. Це дозволило значно знизити масу соплових блоків і замінити дефіцитні матеріали. Для порівняння: густина АВМГ, що вміщує 85 % вольфраму, - 18000 кг/м^3 , ВВКМ - $\rho < 2000 \text{ кг/м}^3$.

2. Другий спосіб виготовлення вуглець-вуглецевого матеріалу застосовується для великогабаритних конструкцій з порівняно тонкими стінками, не більше 20 мм, наприклад вхідного конуса соплового блоку РДТП (але шляхом набору (складання) можна створювати вироби з товщиною стінки й до 100 мм). У цьому випадку ВВКМ створюються з вуглецевого волокнистого наповнювача в формі тканин, стрічок, джгутів і матриці на основі коксу фенолоформальдегідної чи фурфурольної (фуранової) смоли, пеку, піровуглецю або пірографіту.

Технологія виготовлення. На металеву оправку, виготовлену за формою виробу, намотується каркас погрібною товщиною із застосуванням попередньо просоченої стрічки чи джгута. Якщо каркас являє собою конус чи ледь овальну форму, то можуть намотуватися відразу два каркаси за типом отримання вуглепластиків. Після намотування оправка вміщується до печі, де відбувається отвердіння смоли і утворення твердого каркаса. Отриманий таким чином каркас обробляється по зовнішній поверхні на токарному верстаті, розрізається по більшому діаметру, і з оправки знімаються два конуси (розтруби). Потім ці конуси надіваються на графітову оправку і вміщуються до печі з контрольованою атмосферою. Температура в печі підвищується до $1000...1100 \text{ }^\circ\text{C}$, здійснюється витримка протягом двох годин або більше, в залежності від товщини стінки. При цьому відбувається карбонізація зв'язного, тобто отримання вуглецевої речовини - коксу, звітряються газоподібні складові, за рахунок чого утворюється пористий вуглецевий каркас. Цей каркас в тій самій печі насичується піровуглецем, аж поки будуть цілком закриті пори. Термін насичення становить кілька діб у залежності від товщини стінки виробу. Отримані контури піддають механічній обробці, щоб отримати необхідні форму і розміри деталі.

Якщо міняти наповнювач, тобто застосовувати інше волокно, то цим самим способом можна отримувати вироби з дещо іншими механічними і теплофізичними властивостями, наприклад, беручи вуглецеву тканину з піровуглецевим покриттям. Окрім того, насичені піро-

вуглецем каркаси у разі необхідності піддають ще й графітуванню за температури 2500 °С. У табл. 12.1 наведено показники густини деяких вуглець-вуглецевих КМ.

Таблиця 12.1 - Густина вуглець-вуглецевих КМ

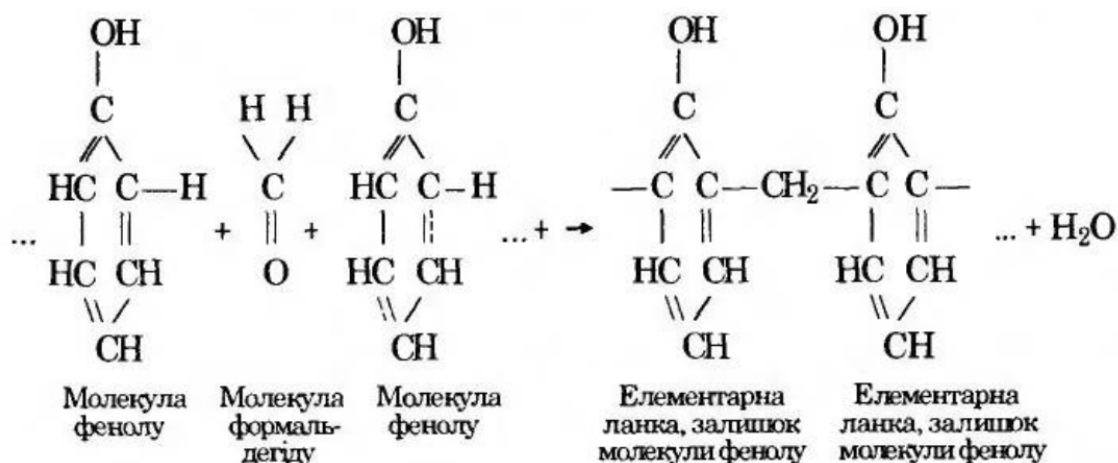
Склад ВВКМ за вихідними матеріалами	Густина, кг/м ³	
Віскозне волокно + фуранова смола	1500.	1600
Віскозне волокно + пек	1700.	1800
Віскозне волокно + фуранова смола + піровуглець	1550.	1650
Віскозне волокно + піровуглець	1700.	1900
ПАН-волокно + піровуглець	1950.	2050

Існують й інші можливості створення ВВКМ. Так, американська фірма SEP створила матеріал, вуглецева матриця якого армована вуглецевими волокнами за чотирма діагоналями. Об'єм, зайнятий нитками, становить 75 %. Ця сітка просочується пеком, карбонізується під тиском, потім графітується. Цикл повторюється кілька разів, отриманий матеріал має густину $\rho = 2\,000 \text{ кг/м}^3$. Можна застосовувати й інші смоли, які мають високе коксове число.

Густина деяких вуглецевих матриць:

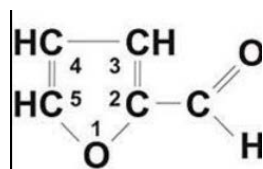
- кокс феноло-формальдегідний - 1 650 кг/м³;
- кокс фуранової смоли - 1 800 кг/м³;
- кокс пеку - 2 100 кг/м³;
- піровуглець - 1 600...2 100 кг/м³.

Найбільш широко застосовуються феноло-формальдегідні, фурфуроло- формальдегідні і фуранові смоли, кам'яновугільний пек. Взаємодія фенолу з формальдегідом, відбувається за такою схемою:



Феноло-формальдегід - це продукт поліконденсації фенолу з формальдегідом, являє собою в'язку рідину (бакеліт) чи тверду речовину.

Фурфуроло-формальдегідні смоли - це те саме, що й фуранові. В них замість фенолу є кільце фурфуролу:



Ми дещо відступилися, щоб показати роль матриці у ВВКМ. Продовжимо розглядати методи отримання ВВКМ.

3. Це ще один з ізотермічних методів отримання ВВКМ. Йдеться про композиційний матеріал, до складу якого входять вуглецева тканина з нитки, що має піровуглецеве покриття, кокс феноло-формальдегідної смоли і кокс середньотемпературного кам'яновугільного пеку.

Технологія виготовлення. На пресах, що забезпечують питомий тиск пресування 10...15 МПа (100...150 кгс/см²), формуються заготовки «сирого» (заполімеризованого) пластика, геометричні розміри котрих визначаються розмірами деталей і величиною упресовки під час термомеханічної обробки, що здійснюється за тиснення 6 МПа (60 кгс/см²) і температури 1500 °С. При цьому видаляються леткі речовини і відбувається перетворення заполімеризованої матриці в кокс. Цей процес зветься карбонізацією. Заготовки деталей при цьому набувають підвищеної пористості. Отримана структура заповнюється смолою під тиском 0,5...0,6 МПа (5...6 кгс/см²) за температури 300 °С протягом трьох годин. Остаточна обробка відбувається за температури 2600 °С і одночасної підпресовки до 20 МПа. Потрібні розміри деталі досягаються шляхом механічної обробки.

Ця технологія наближена до тієї, що застосовується для отримання графіту. Звичайно, такий варіант технології ВВКМ дуже складний і застосовується рідко.

4. Одним із недоліків ізотермічного методу є те, що навіть за умови багаторазового просочування, насичення каркасів густина деталей за перерізом є нерівномірною. Термоградієнтний метод отримання вуглець-вуглецевих КМ, що усуває зазначений недолік, застосовується для виробництва товстостінних деталей з центральним отвором. Його схема подається на рисунку 12.2.

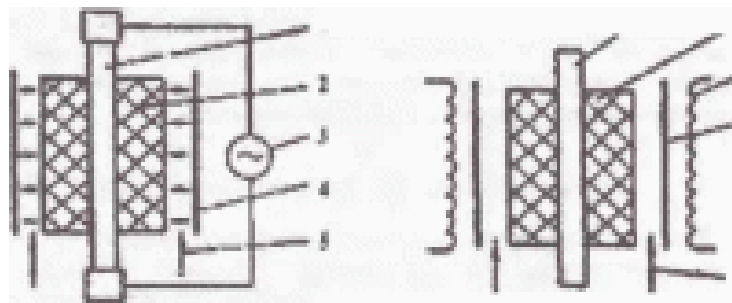


Рисунок. 12.2. Схема отримання вуглець-вуглецевих КМ термоградієнтним методом а - варіант з омичним нагріванням; б - варіант з індукційним нагріванням; 1 - молібденовий чи графітовий стрижень; 2 - пористий каркас; 3а - джерело живлення; 3б - індуктор; 4 - гільза чи екран; 5 - подача метану.

У варіанті «а» через молібденовий чи графітовий стрижень пропускається струм великої сили для отримання температури 1000 °С або 2200 °С у залежності від того, насичується заготовка піровуглецем чи пірографітом. У варіанті «б» частота індуктора підбирається таким чином, щоб нагрівався центральний графітовий стрижень. Звичайно, при цьому нагрівається і гільза, але до нижчої температури. В обох варіантах вона служить теплоізолятором і каналом для проходження газоподібного метану. Відмінною рисою цього методу є наявність градієнта температури, спрямованого всередину деталі, тобто до нагрівача. Відкладення піровуглецю починається від центра деталі, де температура вища, ніж зовні. Таким чином, межа насичення рухається до периферії і закриття пор не відбувається.

Теоретично метод є ідеальним, але на практиці виникають труднощі, які полягають у тому, що разом з накопиченням піровуглецю змінюється опір нагрівача, тому треба збільшувати силу струму у випадку омичного нагрівання або потужність і частоту генератора - при індукційному.

Процес здійснюється у відновлювальній атмосфері: спочатку камера вакуумується, а під час піролізу метану виділяється водень, котрий створює згадану атмосферу і, звичайно, безперервно відводиться з об'єму камери. Густина отриманого матеріалу у виробках дорівнює приблизно 1800 кг/м³. Таким методом можна отримувати не всі вироби, бо існує трудність у створенні рівномірної температури по всій деталі, особливо коли перерізи її в різних місцях неоднакові.

За допомогою термоградієнтного методу отримують деталі ракет, котрі зазнають впливу високотемпературних газових потоків. Є перспектива отримання вкладишів критич-

ного перерізу РДТП великих розмірів і навіть блоку, що містить найбільш напружені частини сопла: вхід до нього, його критичний переріз і вихідний конус.

Відомо, що швидкість винесення ВВКМ в газових потоках знижується разом зі зменшенням міжцентрової відстані між волокнами, тобто залежить від їх «пакування», густини, пористості. Найкращі результати можуть дати волокна з квадратним поперечним перерізом. У будь-якому випадку швидкість абляції ВВКМ з піровуглецевою матрицею вдвічі менша, ніж з карбонізованою смолою. Висока міцність ВВКМ зберігається за робочих температур деталей ракет і становить не нижче 11 кгс/мм^2 ($T > 3000 \text{ }^\circ\text{C}$).

Створюючи ВВКМ, слід вірно вибрати структуру і густину вуглецевого каркаса, температуру і швидкість осадження піровуглецю, а також інші параметри, бо замість піровуглецю можна отримати сажу або занадто напружену конструкцію, нерівномірний розподіл компонентів, а звідси - низькі термостійкість, міцність, підвищене винесення та ін.

Короткий опис технології виготовлення розтруба з ВВКМ

Вихідний матеріал для отримання вуглецевої тканини - ПАН-волокно. Можна застосувати стрічку, отриману з тканини, чи джгут. Тканина чи джгут карбонізується за температури $900 \text{ }^\circ\text{C}$ або графітується за температури $2100 \text{ }^\circ\text{C}$. На оправку стрічкою або джгутом «мокрим» способом намотуються одночасно два розтруби. У якості зв'язного використовується бакелітовий лак (феноло-формальдегідна смола).

Схема складення перед полімеризацією така сама, як і при виготовленні вуглепластиків. Отвердіння чиниться в гідроклаві за температури $160 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 40 кгс/см^2 (2...4 МПа). Термін отвердіння - 8 годин, охолодження відбувається в автоклаві з вимкнутими нагрівачами (тенами).

Потім оправка з намотаними розтрубами виймається з гідроклава, звільняється від гліцерину, з неї знімається гумовий мішок, обкладні листи, сітка, двонитка. Спочатку виконується механічна обробка зовнішньої поверхні матеріалу, потім підрізання торців малого діаметру і, зрештою, розрізання по середньому (найбільшому) діаметру. Із передбачених припусків вирізаються зразки, на яких перевіряється ступінь полімеризації, визначають механічні і теплофізичні характеристики.

У разі, коли розміри розтруба великі або обмежені можливості намотувального верстата, виконують намотку одного розтруба. Оправка в цьому випадку має контур розтруба (конус чи оживальна форма), котрий поєднується з напівсферою (рис. 12.3). Підрізання на такій оправці виконується по малому торцю і великому - в місці переходу до сфери. Для зняття намотаного виробу застосовується пристрій, показаний на рисунку 12.4.

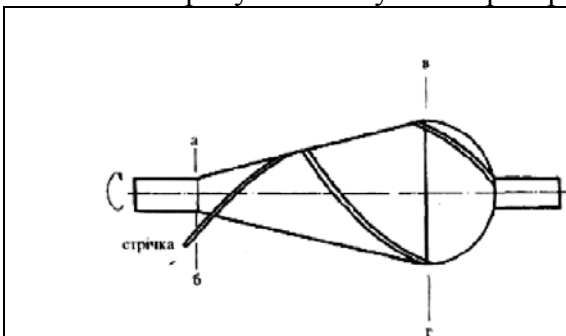


Рис. 12.3. Оправка для намотки одного розтруба (конуса): а - б - лінія підрізання по малому торцю; в - г - те саме по великому торцю

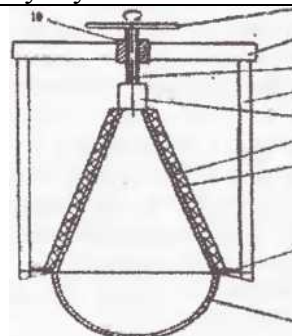


Рис. 12.4. Пристрій для зняття конуса з оправки. 1- вороток; 2 - рама; 3 - гвинт; 4 - штанги з гачками; 5 - вал оправки; 6 - оболонка оправки; 7 - вуглепластик; 8 - знімальне кільце; 9 - напівсфера оправки; 10 - опорна гайка.

Знімання отвердженого конуса виконується наступним чином. Пристрій встановлюється на спеціальну підставку. Після підрізання на великий торець конуса із вуглепластика

надівається сталеве кільце, за яке потім чіпляються знизу гачки штанг (їх повинно бути не менше ніж чотири). Обертанням воротка 1 гвинт 3 угвинчується в опорну гайку 10 і через вал 5 витискує оправку. Зрозуміло, що вуглепластиковий конус треба просто «зірвати», а вже далі вий знімається навіть вручну, якщо маса його невелика.

Наступною операцією є ультразвуковий контроль оболонки вручну чи на механізованій установці типу ДКР (дефектоскопічний контроль розтруба).

Карбонізація - це процес перетворення полімеру в вуглецеву речовину. В печі опору з графітовим нагрівачем, котрий являється набором послідовно з'єднаних стрижнів, чиниться поступове нагрівання до температури 900...1000 °С (1173...1273 К). За цієї температури протягом 60 годин відбувається руйнування полімерних ланцюгів, звільнення матриці від легких компонентів, котрі є продуктами розкладу чи деструкції полімеру. В якості легких можуть бути СО, СО₂, пари води, радикали органічних кислот, спиртів тощо. Після карбонізації утворюється твердий пористий вуглецевий каркас. У залежності від призначення він може піддаватися наступним операціям:

- насиченню піровуглецем за температури 1000...1100 °С;
- графітизації за температури 2100...2200 °С.

Наприклад, оболонки розтруба піддаються насиченню, а заготовки вкладиша - графітизації.

Після насичення піровуглецем можна піддавати графітизації оболонки (як приклад, так отримують матеріал розтруба КУПВМ ПУ), а також і графітований каркас. Під час графітизації відбувається утворення кристалічної структури і усадження всередині каркаса, за рахунок чого виникає пористість, хоча й значно менша, ніж під час карбонізації.

Насичення піровуглецем відбувається у термін, не коротший ніж 7 діб.

Оскільки під час графітизації утворюються пори, то для зменшення загальної пористості цикли насичування можуть повторюватися. Загальний час насичування - графітизації становить 400 годин. Охолодження насиченої заготовки здійснюється спочатку шляхом зниження підведеної електричної потужності, а після досягнення температури в печі 600...700 °С навантаження вимикається, і відбувається вільне охолодження в зачиненій печі. Коли температура знизиться до 250...300 °С, піч можна відчинити.

Подальші операції: обов'язковий ультразвуковий контроль і механічна обробка, доведення до необхідних розмірів.

Для вуглець-вуглецевих матеріалів слід дотримуватися спеціального режиму швидкості і глибини різання тощо.

13. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТІЛЬНИКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КЛЕЇВ, ГЕРМЕТИКІВ І ПІНО- ПЛАСТІВ.

В конструкції сучасної авіакосмічної техніки широко використовуються стільникові конструкції (СК), що забезпечують високу механічну міцність і геометричну стабільність, стійкість при впливі вакууму, іонізуючого випромінювання і значних коливань температур (до 350° С), а також мінімальні масові характеристики. До того ж застосування багатопарових стільникових конструкцій в космічній, галузі обумовлено такими перевагами, як їх висока питома міцність, жорсткість, надійність і легкість.

Основними елементами СК є стільниковий заповнювач, дві обшивки та зовнішня окантовка. Саме одночасне поєднання в СК таких їх характеристик, як міцність, технологічність та унікальність експлуатаційних характеристик, визначило місце СК в аерокосмічній галузі в якості лідера серед відомих на сьогодні класів сандвічевих конструкцій. Конструкції стільникового типу широко використовуються в якості несучих елементів космічних апаратів (КА) та їх компонентів. В цілому переваги стільникових конструкцій пояснює рис. 13.1.

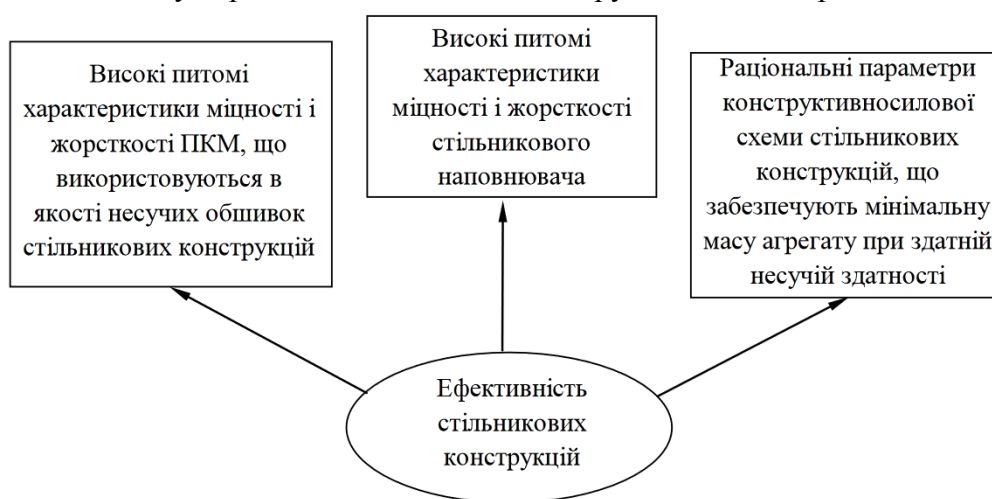


Рисунок 13.1 – Ефективність стільникових конструкцій, що використовуються

13.1 Види та властивості стільникових заповнювачів

Стільникові елементи та конструкції поділяють на два основні класи:

1) Несучі СК та їх елементи (обтічник, панелі корпусу, фітинги та міжступеневі блоки, з'єднувачі, екрани (рис. 13.2, а).

2) Панелі та конструкції спеціального призначення (шумо- вогнезахисні перегородки, роздільники відсіків) рис. 13.2, б.



Рисунок 13.2 – Вироби з СК і відповідних елементів: головний обтікач; теплові екрани КА; міжступеневі блоки

Стільниковий заповнювач – конструкційний матеріал, у вигляді рівномірно розташованих комірок певної конфігурації та розмірів (рис. 13.3), осі яких паралельні, та який заповнює простір між зовнішніми елементами сандвічевої конструкції.

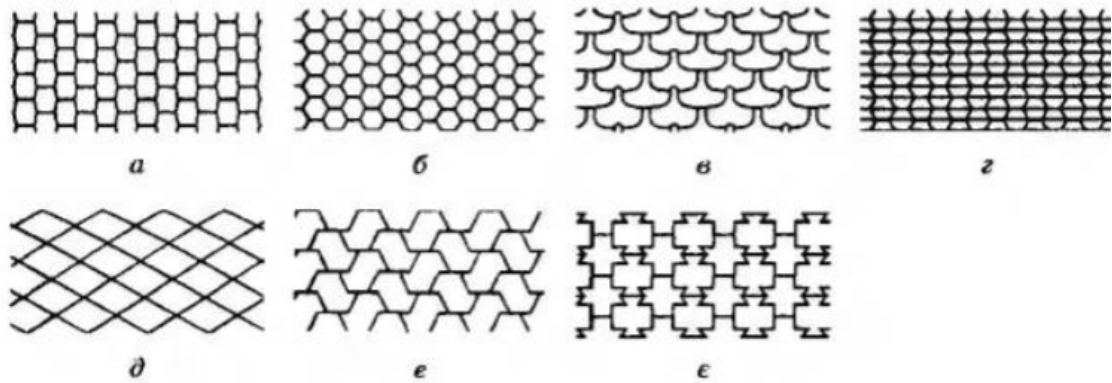


Рисунок 13.3. Форми чарунок стільникового заповнювача
 а – прямокутна, б – шестигранна, в – флекскор, г – шестигранна з підсилюючими стрічками, д – ромбічна, е – шестигранна зміщена, е – мальтійський хрест

Найпоширеніші заповнювачі із шестигранною формою стільникових чарунок, оскільки вони технологічні і мають більшу площу склеювання з обшивкою порівняно з іншими видами чарунок (рис. 13.4). У деяких випадках для підвищення опору зрізу в стільникові заповнювачі вводять підсилювальні прокладки у вигляді смужок фольги (рис. 13.3, г). Це підвищує міцність заповнювача приблизно на 100 %.

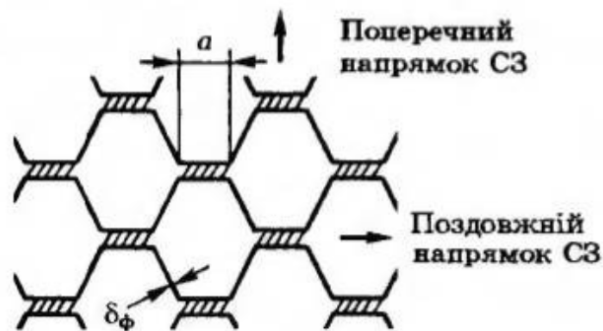


Рисунок 13.4 Шестигранна форма стільникової чарунки

Розмір чарунки визначається довжиною грані «а».

Стільниковий заповнювач (рис. 13.5) може бути створений з використанням гофрованих смуг матеріалу 7, які поєднано між собою по зовнішніх площиннах гофр. Кожна з виготовлених гофр має особливу форму у вигляді половини шестигранника, та представляє собою рівно половину стільникової чарунки. Після з'єднання між собою окремих гофрованих смуг 1 утворюються комірки стільника шестигранної форми. До того ж в кожній комірці утворюються по чотири грані одинарної товщини вихідного матеріалу металевих (або паперових) смуг 2 стільникового заповнювача, та по дві грані подвійної товщини 3 (за рахунок накладення гофр двох сусідніх гофрованих смуг). За необхідності забезпечення сполучення між об'ємами сусідніх комірок в їх гранях виготовляють дренажні отвори 4. З'єднання гофрованих смуг 1 може проводитися з використанням склеювання, пайки, або зварювання. Саме описана вище конструкція стільникового наповнювача лягла в основу створення взагалі усього класу відомих на сьогодні стільникових наповнювачів.

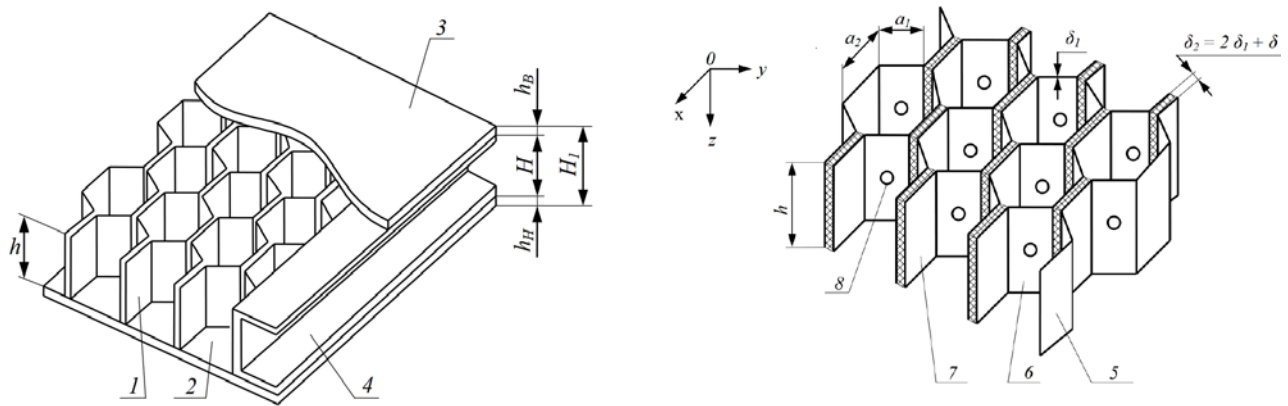
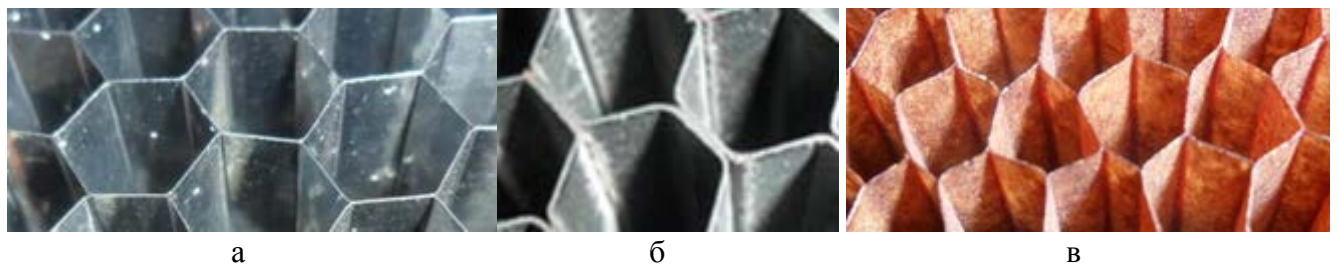


Рисунок 13.5 – Зображення конструктивної схеми тришарової стільникової панелі та стільниковий заповнювач з шестигранною формою комірок:
 1 – стільниковий заповнювач; 2, 3 – обшивки; 4 – окантовка; 5 – гофрована смуга; 6 – грані одинарної товщини; 7 – грані подвійної товщини; 8 – дренажні отвори

В РКТ як матеріал для серцевини в стільникових конструкціях використовуються стільники з алюмінієвої фольги, вуглепластику або спеціального теплостійкого полімерного паперу, що дозволяє значно зменшити масу конструкцій (рис. 13.6).



а - алюмінієвий, б - вуглепластиковий, в - полімерний
 Рисунок 13.6 Стільникові заповнювачі

Алюмінієвий стільниковий заповнювач виготовляється з алюмінієвої фольги марок АМг2 -Н, 5052, 5056, А5Т, 3003 товщиною 0.006-0.20мм. Форма осередку - шестигранник, що забезпечує задані фізико - механічні характеристики: висока питома міцність і жорсткість; висока теплопровідність і опір втоми; хороші антивібраційні характеристики; негорючість; збереження властивостей при підвищеній температурі; можливість обробки складних поверхонь.

Застосовується як стільниковий заповнювач при виробництві тришарових конструкцій ракето космічної техніки (обичайки головних обтічників, проставки, гарготи, обтічники порохових ракетних двигунів, каркаси сонячних батарей, панелі негерметичних корпусів космічних апаратів, антенні дзеркала зв'язкових супутників, панелі з тепловими трубами, силові конструкції модулів корисного навантаження).

Композиційні матеріали на основі вуглецевих волокон ефективно використовуються в конструкціях космічних літальних апаратів. Це обумовлено тим, що вони мають порівняно низьку щільність і необхідне значення коефіцієнта теплового розширення.

Будь-яка конструкція в космосі на стороні, що звернена до Сонця, нагрівається до температури $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а протилежна сторона охолоджується до температури нижче $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. В таких умовах потрібно враховувати теплову деформацію матеріалів. Вуглепластики мають негативне значення коефіцієнта теплового розширення $[(-1\dots-2) 10^{-7}/\text{K}]$ у напрямку армуючих волокон, тому при раціональному проектуванні конструкції його коефіцієнт теплового розширення близький до нуля. Висока роздільна здатність космічного супутника - телескопа обумовлена головним чином саме цим.

Стільниковий заповнювач з полімерного паперу (полімерсотопласт, ПСП- 1) виготовляється з високотемпературостійкого волокнистого арамідного паперу, просоченого термореактивними сполучниками. Поєднання арамідного паперу і термореактивного сполучного надає високу міцність, жорсткість і хімічну стійкість. Основні особливості: висока механічна міцність при низькій щільності; висока стійкість до ударних навантажень; висока втомна міцність і вібростійкість; стійкість до корозії і цвілі; не підтримує горіння, самозатухає у вогні; низьке димовиділення при горінні; оптимальні діелектричні властивості; прозорий для радіохвиль і радарного випромінювання; зберігає експлуатаційні властивості без необоротних деформацій при перевантаженнях в локальних ділянках. Низька вага в поєднанні з хорошою стійкістю і міцністю до дії навколишнього середовища зумовили широке застосування ПСП-1 в тришарових конструкціях ракето -космічної техніки: підобтічний простір, теплошумоізоляція.

Механічні властивості стільникового заповнювача залежать головним чином від товщини стінок і розміру комірок. Міцність з'єднання обшивки з заповнювачем також є функцією розміру комірки. На Рис. 13.7 наведено дані, що характеризують зміну міцності клейового з'єднання в залежності від розміру комірки.

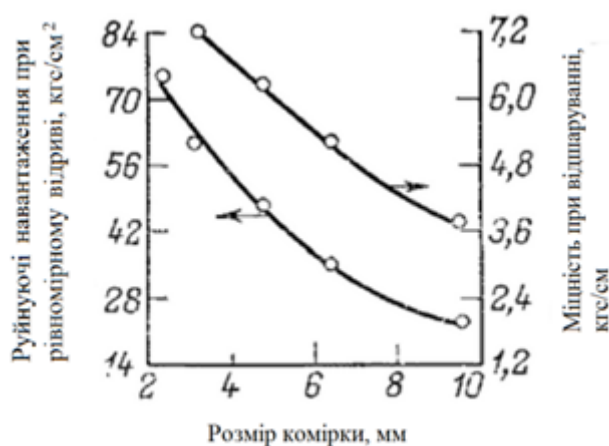


Рисунок 13.7. - Залежність міцності клеєного з'єднання обшивки із стільниковим заповнювачем від розміру комірок стільників.

Для видалення летких речовин, що утворюються в процесі затвердіння клею, в стінках стільників зазвичай роблять невеликі отвори. Однак, оскільки стільникові конструкції з отворами (перфоровані) негерметичні і утримують вологу, що конденсується, в багатьох сучасних конструкціях застосовують неперфоровані стільники. При цьому потрібен клей, що виділяє при застиганні мінімальні кількості летючих речовин.

Методі виготовлення стільникового заповнювача.

Промислове виготовлення стільникового заповнювача зазвичай здійснюється за двома технологічними процесами, а саме

- метод профілювання комірок;
- метод розтягування пакета.

Метод профілювання комірок ґрунтується на послідовному виконанні ряду технологічних операцій, а саме:

- гофрування заготовки матеріалу (рис. 13.8), для чого металеву фольгу пропускають між парою фасонних зубчастих коліс (неметалеві матеріали гофрують, наприклад, використовуючи метод пресування в спеціальних прес-формах); до нанесення клею на зовнішні площини гофрів заготовок матеріалу їх слід попередньо знежирити. Після цього на них наносять тонкий шар (або послідовно декілька шарів) клею у відповідності з технологією склеювання

матеріалів та обраної марки клею. Як правило, клей підсушується під час охолодження заготовки, яку було попередньо гофровано.

- нанесення сполучного матеріалу (адгезиву, або інакше – клею) на поверхні по границях, що сполучаються між собою (рис. 13.9).

- збирання стільникового блоку в спеціальному пристосуванні, що складається з двох плит, стяжних болтів і оправок (див. на рис. 13.10 переріз частини пристосування із зібраним стільниковим блоком). Суть процесу складання полягає в послідовному вкладанні в западини гофрованої заготовки ряду оправок 3, конфігурація яких відповідає внутрішній конфігурації стільникових комірок.

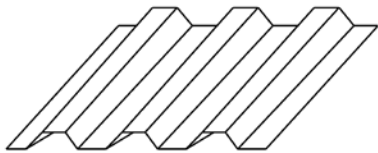


Рисунок 13.8 – Гофрована заготовка матеріалу

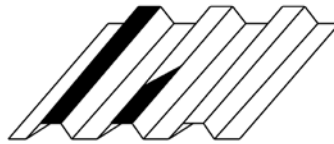


Рисунок 13.9 – Схема нанесення клею на поверхні, що сполучаються

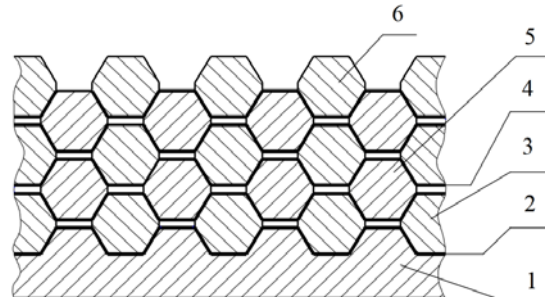


Рисунок 13.10 – Переріз частини пристрою із зібраним стільниковим блоком: 1 – поверхня основи; 2, 4 – гофровані заготовки матеріалу; 3, 5, 6 – оправки

Процес складання стільникового блоку починається з того, що на зовнішню зубчасту поверхню основи 1 укладається роздільна плівка, наприклад, з поліетилену. Для щільного прилягання до зубчастої поверхні основи останню попередньо змащують температуростійким мастилом типу ЦИАТИМ. Поверх плівки укладають першу гофровану заготовку з матеріалу 2. Під западини гофрованої заготовки укладається перший ряд оправок 3. Їх конфігурація відповідає внутрішній конфігурації стільникових комірок. На перший ряд оправок укладається друга гофрована заготовка з матеріалу 4. У западини другої гофрованої заготовки укладається другий ряд оправок 5. На нього вкладається наступна гофрована заготовка з матеріалу і таким чином послідовно відбувається нарощування стільникового блоку аж до досягнення заданих розмірів.

- запресовування стільникового блоку з метою ліквідації усіх зазорів, що з'явилися в процесі складання, для чого на верхній ряд оправок 6 (див. рис. 1.9) укладається верхня плита і стягуючими болтами створюється зусилля, яке необхідне для стискання усіх заготовок та оправок, які було поміщено попередньо у набір;

- з'єднання гофрованих заготовок матеріалу один з одним шляхом прогріву до затвердіння клею по площиннах контакту. З цією метою стільниковий блок поміщається в камерну піч, де прогривається по площинах контакту суміжних заготовок; після охолодження пристосування разом зі стільниковим блоком його розбирають. Із стільникового блоку витягують оправки, а пристосування готують для складання наступного стільникового блоку. Виготовлений таким чином стільниковий блок надходить на виконання наступної технологічної операції.

- розрізання стільникового блоку на окремі заготовки необхідної товщини. Готові напівфабрикати стільникових блоків, як правило, мають досить велику початкову висоту, і тому їх потрібно розрізати на окремі заготовки заданої товщини. Враховуючи ажурність конструкції стільників, розрізання здійснюють з використанням або стрічкової пилки, або дискової. Блок спочатку торцюють з одного боку, створюючи упорну базову поверхню для першого різку. Подальшу роботу з розрізання ведуть поступово подаючи стільниковий блок під полотном пилки з упором в обмежувальну упорну площину. Заготовки, які вже було нарізано, з ме-

тою забезпечення їх зберігання та транспортування, загортають у папір або плівку й укладають в спеціальний ящик.

- склеювання стільникової панелі з нарізаних зі стільникового блоку заготовок. Нарізані зі стільникового блоку заготовки, зазвичай, мають набагато менші розміри, ніж це необхідно для виготовлення тришарової стільникової конструкції. Тому в виробництві їх необхідно з'єднати між собою, та обробити стільникову панель ззовні з метою отримання необхідних розмірів. З'єднання проводиться за допомогою клеїв. При склеюванні контактні поверхні стільникових заготовок знежирюють, і на них наноситься вручну клей. Після цього заготовки збирають у стільникову панель необхідного розміру і з'єднують між собою за допомогою спеціальних пристосувань, в яких створюються необхідні умови для затвердіння клею.

- фрезерування стільникової панелі з метою забезпечення необхідних прямолінійності, площинності та товщини. Стільникова панель, за результатами її складання з окремих заготовок, може з самого початку мати необхідну прямолінійність, площинність і товщину. Але й можливі випадки, коли за вказаними параметрами вона може виходити за необхідні допустимі розміри. І тому, в цьому випадку, необхідно вводити технологічну операцію фрезерування. Фрезерування повинно здійснюватися в спеціальних пристосуваннях, на фрезерних верстатах (спеціальних або звичайних). Наступним етапом готові стільникові панелі направляють для виробництва тришарових панелей.

Даний метод виготовлення стільникових заповнювачів вважається найбільш технологічним, добре піддається механізації й автоматизації. Спрощується операція механічної обробки стільників при забезпеченні низької вартості стільникових заповнювачів. Потребується незначна площа для зберігання пакетів наповнювачів, спрощується їх транспортування.

Метод розтягування застосовується для виготовлення стільникових заповнювачів з комітками, що мають тільки шість граней. При цьому для неметалевих матеріалів обмежень по їх товщині не існує, а металеві матеріали використовуються з товщиною лише до 0,08 мм. Межі ефективності методу розтягання, зазвичай, встановлено експериментально. Однак відомо, що більш сприятливі умови для розтягування пакетів створюються зі збільшенням сторони клітинки, та зі зменшенням товщини вихідного матеріалу, а також висоти комірки стільникового заповнювача.

Суть методу полягає в послідовному виконанні операцій:

- знежирення і сушка матеріалу (листової або рулонної заготовки);
- нанесення клейових смуг на матеріал (рис 13.11).

Смуги клею можуть наноситися як на одну, так і на обидві сторони кожного листа матеріалу-заготовки. Існує рекомендація відносно нанесення смуги клею на обидві сторони тільки в тому випадку, коли конкретний клейовий склад дійсно може забезпечити більш високу міцність з'єднання. Однак у більшості випадків клейові смуги все ж наносять на матеріал з одного боку заготовки. Це, впершу чергу, дозволяє знизити масу стільникового заповнювача, що важливо. До того ж процес складання пакетів стільникових заповнювачів в цьому випадку значно спрощується, так як відсутня необхідність високої точності суміщення клейових смуг в пакеті. Клеї, які застосовуються для одностороннього нанесення клейових смуг, можуть бути більш в'язкими у порівнянні з клеями для двостороннього нанесення.

На рис. 13.11 показаний фрагмент листа матеріалу 1 з нанесеними на його поверхню клейовими смугами 2. Якщо ширина межі комірок стільникового заповнювача дорівнює «а», то відстань між смугами повинна становити «4·а», а ширина клейових смуг «а_к» завжди повинна бути меншою ширини межі стільникового заповнювача (тобто $a_k < a$).

Найвідповідальнішою операцією, що визначає геометрію заповнювача і впливає на міцність з'єднань, є нанесення клейових смуг на матеріал. Слід пам'ятати, що для виготовлення пакетів високої якості необхідно стабілізувати ширину та товщину нанесення клейових смуг і забезпечити їх нанесення без розривів і повітряних бульбашок. Допуск на відстань між клейовими смугами повинен бути достатньо жорстким в межах 0,2 мм. Це досягається постійністю в'язкості клею і його витрати, правильним вибором геометрії робочих частин пристосу-

вання з нанесення клею і тиском, з яким пристосування буде підтискатися до листа матеріалу, а також сталістю швидкості переміщення один відносно одного листа матеріалу і пристрою з нанесення клею.

У великомасштабних виробництвах СЗ застосовують високопродуктивне автоматизоване устаткування для складання пакетів (рис.13.12).

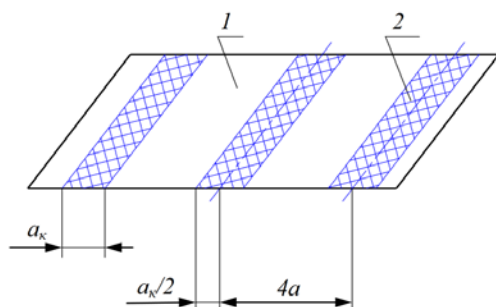


Рисунок 13.11 – Схема нанесення клейових смуг на матеріал наповнювача

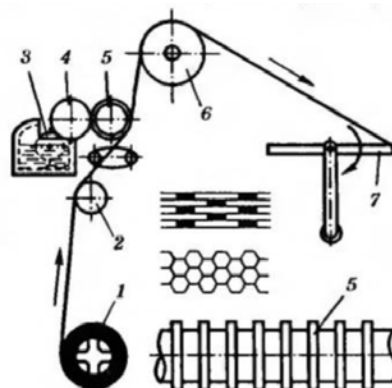


Рисунок 13.12 – Схема однорулонного автомата для складання пакетів стільникових заповнювачів

Клейові смуги наносять на тканину з одного боку матеріалу під час проходження його через систему роликів клеенаносного пристрою. Рулон з матеріалом закріплюють у рулонотримачі 1. Заданий натяг тканини забезпечує натяжний ролик 2. Наносний ролик 5 змочується клеєм від ролика 4, на який, у свою чергу, клей наноситься від ролика 3, що обертається у ванні з клеєм. Матеріал з нанесеними уздовж рулону клейовими смугами проходить через сушильний пристрій 6 і намотується на рамку 7, що обертається навколо осі. Після кожного оберту рамки наносний ролик 5 зміщується уздовж своєї осі на півкроку. Внаслідок цього в намотаному на рамці пакеті клейові смуги в суміжних полотнищах виходять також зміщеними на півкроку.

Операція утворення дренажних отворів виконується після нанесення клейових смуг. Дренажні отвори повинні розташовуватися між клейовими смугами. Їх діаметр « d_d », виходячи з усталеної практики лежить в діапазоні $0,2 < d_d < 0,8$ мм.

При необхідності матеріал стільникового заповнювача з нанесеними на нього клейовими смугами і дренажними отворами піддається розрізанню як уздовж клейових смуг, так і перпендикулярно до них.

Склеювання пакету стільникового заповнювача здійснюється після стискання його в пресі зі здійсненням місцевого нагріву або нагрівання в печах.

Розтягування заготовки стільникового заповнювача, як одна з фінішних операцій, здійснюється на спеціальній установці (рис. 13.13).

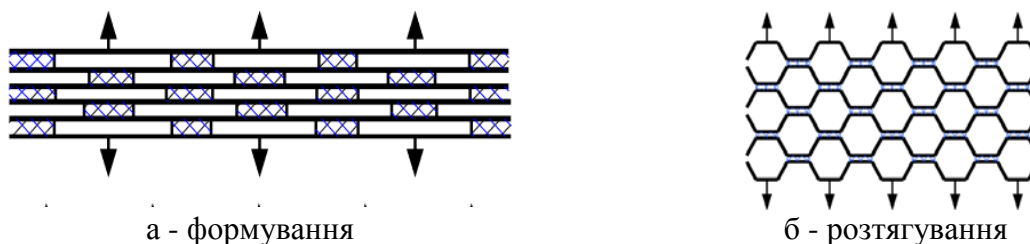


Рисунок 13.13 – Процес утворення шестигранних стільникових комірок при розтягуванні

Формування стільників здійснюється за рахунок прикладення зусиль до ділянок зовнішніх листів пакету, які розташовані на місці граней майбутніх стільникових комірок (рис.

1.13, а). При цьому пакет розтягується внаслідок вигину несклеєних ділянок листів. При досягненні певної міри розтягування утворюються комірки шестигранної форми (рис. 13.13, б).

Автомат для виготовлення пакетів стільникових заповнювачів АСП-1000 (Рис. 13.14) призначений для виготовлення пакетів клеєних стільникових заповнювачів з фольги та алюмінієвих сплавів шляхом нанесення клейових смуг.



Рисунок 13.14. – Верстат автомат для виготовлення пакетів стільникових заповнювачів АСП-1000

Технологічний процес виробництва стільникових панелей в спрощеному вигляді схематично зображено на рис. 13.15.



Рисунок 13.15 – Схема технологічного процесу виготовлення плоских заготовок багатощарових панелей зі стільниковим наповнювачем

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГЕРМЕТИКІВ І ПІНОПЛАСТІВ.

Герметики, класифікація, властивості, застосування

Герметизуючі матеріали (герметики) є складною полімерною композицією, яка призначена для ущільнення, герметизації різних з'єднань, деталей, виробів, експлуатованих в умовах дії води, пари, агресивних середовищ, високих і низьких температур, тиску.

До таких матеріалів відносяться: герметики, мастики (маси) ущільнювачів, мастики, компаунди. Герметики виготовляють, в основному, на основі каучуків, які забезпечують герметикам еластичність, гумоподібний стан, здібність до розтягування або стискування. До герметиків

пред'являють, в основному, дві головні вимоги: еластичність і адгезія до конструкційних матеріалів: металам, дереву, пластмасам, склу, бетону, каменю і ін.

Існує безліч складів, полімерів, на основі яких отримують композицію, тому герметики можуть бути класифіковані:

а) за природою початкового полімеру, який відповідає за властивості герметизуючого матеріалу, еластичність, довговічність, адгезію і відповідно сфері застосування:

- силіконові (на основі силоксанового каучуку);
- поліуретанові (на основі поліефірних смол);
- гібридні MS-полімери (суміш поліефірних смол з силіконом);
- силіконізовані (суміш акрилових полімерів з силанами);
- тіоколові (рідкі полісульфідні каучуки);
- акрилові (суміш акрилатних полімерів);
- бітумні (модифікований бітумний полімер);
- бутилові (на основі поліізобутилену).

б) за відношенням до процесу вулканізації:

– герметики, що вулканізуються, які під впливом тепла, вологи або каталізаторів (вулканізуючих агентів) переходять з в'язкого пластичного стану в еластичний гумоподібний (наприклад: силіконові, поліуретанові, тіоколові герметики).

– існують також герметики, що не вулканізуються невисихаючого і висихаючого типу:

1) невисихаючі герметики розм'якшуються при нагріванні, стають в'язкими і текучими. При охолодженні вони знову переходять в первинний твердий стан (наприклад: бутилові, бітумні каучуки);

2) висихаючі герметики в процесі експлуатації знаходяться в еластичному гумоподібному стані, але при дії на них розчинників вони можуть перейти в рідкий в'язкотекучий стан (бітумні і ін.).

в) за станом у момент постачання або формою випуску герметики підрозділяються на:

- однокомпонентні (готові до застосування);
- двох- і більш компонентні (складаються з двох-трьох і більш за компоненти, які змішують один з одним в певній пропорції безпосередньо перед застосуванням).

г) за призначенням:

– герметики-прокладки призначені для ремонту «штатних» або формування замість їх нових прокладок.

– герметики-фіксатори використовуються для герметизації різьбових з'єднань і унеможливлення самовідгвинчування.

Сучасні клеї і герметики, як правило, складаються з полімерної основи з різними добавками:

- затверджувачі, ініціатори і каталізатори забезпечують швидке і повне затвердіння;
- наповнювачі (органічні і неорганічні) покращують властивості клейового шару, а також знижують величину усадки при затвердінні.

Пінопласти — газонаповнені пластмаси з пористою структурою, які складаються з комірок, що не сполучаються, отримані з синтетичних смол; характеризуються низькою щільністю та високими тепло- і звукоізоляційними характеристиками.

Отримують пінопласт методом спінювання гранул полістиролу — термопластичний полімер. Після спінювання вони обробляються розігрітою водяною парою, після цього уся процедура повторюється. Циклічні процеси спінювання дозволяють значною мірою зменшити густину гранул полістиролу, що веде до зменшення їх ваги. Після вторинного спінювання пінопласт потребує сушки. Сушка полягає у видаленні залишкової вологи з поверхні пінополістиролу (всередину вода не потрапляє — пінопласт водонепроникний матеріал).

Сушка відбувається на відкритому повітрі — саме на цьому етапі повітря заповнює пори матеріалу і він набуває закінченої форми. Розмір гранул може варіюватися від 5 до 15 міліметрів.

Висушений пінополістирол потребує формування. Оброблений матеріал пресується за допомогою спеціальних верстатів і піддається третинній обробці гарячою парою. В результаті формування він виглядає як блок білого кольору певної товщини. Блок нарізається на потрібні форми. Пінопласт може бути нарізаний не лише відповідно до типових параметрів, але і відповідно до індивідуальних розмірів, що вимагаються. Нарізка пінополістиролу робиться на верстатах з горизонтальним і вертикальним типом нарізки. При різанні його структура не ушкоджується, формування проходить швидко. Єдина технологічна умова: температура в цеху, де йде нарізка, не повинна опускатися нижче 18 °С, інакше пінопласт зламається (розкришиться).

Ще одна особливість виробництва: і сама технологія, і сировина коштують відносно дешево, що дозволяє значно знижувати вартість кінцевого продукту. Основне застосування газонаповнених пластмас - тепло- і звукоізоляція в різних галузях техніки.

Властивості пінопластів залежать від їх щільності і хімічного складу полімерної основи.

Найбільш поширеними і міцними є пінополістирол (ПС) і пінополівінілхлорид (ПХВ), здатні працювати при +60 °С. Фенолкаучукові (ФК) пінопласти мають робочу температуру 120-160 °С. Наявність в їх складі алюмінієвої пудри (ФК-20-А-20) підвищує робочу температуру до 200-250 °С. Пінопласт К-40 на кремнійорганіческой основі короткочасно витримує температуру 300 °С.

14. АНАЛІЗ І МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ З ПКМ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КЛЕЇВ

Рівень якості кожної деталі визначається показниками, які характеризують такі властивості, як: точність, взаємозамінність, технологічність, надійність, економічність, довговічність та інші. Показником якості називається кількісна характеристика однієї або декількох властивостей деталі, агрегату, вузла, відсіку, які визначають його якість. Головним показником якості є точність деталі.

Точність деталі – це ступінь відповідності дійсних значень геометричних, фізичних, хімічних, механічних та інших встановлених параметрів реальної деталі, які визначені кресленням та технічними вимогами.

Контроль геометричних і масових параметрів.

Основні труднощі під час вимірювання вихідних геометричних параметрів (ВГП) двигуна пов'язані з великими габаритами виробу і дуже високою точністю вимірювання самих параметрів, величина яких змінюється в межах одиниць міліметрів і одиниць хвилин.

Використовувані в машинобудуванні традиційні методи вимірювання або неприйнятні, або не забезпечують потрібної точності вимірів. Відносна гранична похибка вимірів відповідає 0,01-0,1. Реалізації таких вимірів досягають застосуванням високоточних оптичних приладів: візирних зорових труб, квадрантів.

Першою проблемою у разі вимірювання виробів великих розмірів є вибір вимірювальних баз, що мають відтворюваність незалежно від місця проведення контролю. Цій вимогі відповідають штучні вимірювальні бази, пов'язані з вертикальною, чи горизонтальною площиною виробу і матеріалізовані за допомогою оптичної осі (лінією візування променем лазера).

Другою проблемою вимірювання великогабаритних виробів є їх відносно мала жорсткість, що впливає на відтворюваність результатів. Використання спеціальних прийомів під час вимірювання вдається здійснити контроль ВГП виробу з потрібною точністю за горизонтального положення базової осі.

Параметри якості вихідних компонентів композиційного матеріалу.

Визначення в'язкості зв'язників проводять з використанням кулькового віскозиметра Хепплера.

Визначення реакційної здатності зв'язника і сухого залишку – характеризують час переходу зв'язника з рідкого стану у гелеподібний за певної температури, а також його живучість, що характеризує текучість і водночас реакційну здатність зв'язника за температури 398 К.

Визначення властивостей препрега – вміст волокна і зв'язника. Для визначення якості і технологічності препрега в процесі його виготовлення контролюють вміст легких речовин та кількість зв'язника у ньому.

Одною з найважливіших характеристик препрега є стабільність його технологічності в процесі зберігання, яка характеризується вмістом легких речовин і розчинної смоли, що має становити 95-97%.

Визначення ступеня отверднення зв'язників екстракцією – ґрунтується на визначенні маси неотвердненої смоли, що розчинилася в ацетоні в приладі Сокслета.

Параметри якості композиційного матеріалу.

Визначення щільності композита – обмірювання і зважування або методом гідростатичного зважування в дистильованій воді.

Визначення вмісту зв'язника в отвердненому матеріалі методом випалювання – за втратою маси досліджуваного матеріалу під час випалювання органічної частини (смоли) у печі за встановленої температури до сталої маси зразка.

Визначення вмісту зв'язника термогравіметричним методом проводять за допомогою спеціальних приладів, наприклад дериватографа.

Механічні характеристики полімерних композиційних матеріалів.

Для оцінки міцності композиційного матеріалу в конструкції, що знаходиться в складному напруженому стані, потрібно знати критерії, які встановлюють припустимі межі напружень, у яких матеріал може працювати за заданих умов без руйнувань.

Такі критерії називають критеріями граничних станів.

Граничними їх стани, за яких композиційний матеріал у разі прикладення зовнішнього навантаження переходить ввід пружного стану до пластичного або руйнується.

У першому випадку встановлюють умови пластичності, у другому – умови міцності.

Критерій максимальних напружень використовується для розрахунку міцності однонаправлених композиційних матеріалів. Наприклад, у разі розтягу $\sigma_x^p \leq \sigma_{vx}^p$, у разі стиску $\sigma_x^c \leq \sigma_{vx}^c$.

Критерій максимальних деформацій використовується для оцінки міцності композиційних матеріалів з крихкими матрицями. Він визначає, що граничний стан композиту настає у разі досягнення поточними лінійними або зсувними деформаціями величин, що відповідають допустимим деформаціям:

$$\epsilon_x \leq \epsilon_x^p; \epsilon_x \leq \epsilon_x^c,$$

$$\epsilon_y \leq \epsilon_y^p; \epsilon_x \leq \epsilon_y^c,$$

де $\epsilon_x^p, \epsilon_x^c$ - припустимі лінійні деформації при розтягу і стиску вздовж волокон; $\epsilon_y^p, \epsilon_y^c$ - припустимі лінійні деформації при розтягу і стиску перпендикулярно до волокон.

Найпоширенішим типом механічних навантажень і випробувань статичні, коли швидкості деформування знаходяться в межах $10^{-6} - 10^{-2}$ 1/с. У цих межах швидкостей деформування механічні характеристики зазвичай остаються сталими. Суть усіх методів статичних випробувань зводиться до прикладання до зразка поступово наростаючого навантаження.

Випробування зразків на одновісний розтяг є найпоширенішим видом механічних випробувань. Під час цих випробувань визначають руйнівне напруження σ_x^+ , модуль пружності E_x^+ , коефіцієнти Пуассона μ_{yx}, μ_{zx} . Характеристики обчислюють за формулами

$$\sigma_x^+ = P_p / F; E_x^+ = \Delta P / F \epsilon_x;$$

$$\mu_{yx} = -\epsilon_x / \epsilon_y; \mu_{zx} = -\epsilon_z / \epsilon_x.$$

де P_p – руйнівне навантаження, F – площа поперечного перерізу робочої частини зразка; $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ – відносні деформації вимірювальних баз за відповідними осями в разі збільшення навантаження на ΔP .

Головна вимога до зразків: у робочій зоні зразка, де вимірюють деформації і напруги, має бути забезпечений однорідний напружений стан і руйнування повинно статися в розрахунковому перерізі, в якому визначають площу зразка.

Для випробування на розтяг однонапрявлені спрямованих пластиків уздовж напрямку армування застосовують зразки – смужки різної ширини з накладками – для запобігання пошкоджень поверхні зразка в захватах.

Для матеріалів, які виготовляють намотуванням однонапрявленим джутом або ниткою, значно поширений метод визначення руйнівних напружень і модуля пружності на розтяг на кільцевих зразках. Найпростішим стосовно апаратурного оснащення способом реалізації цієї методики є розтяг кільця за допомогою дух півдисків. Руйнівне напруження в цьому разі обчислюють за формулою

$$\sigma_p = P_p \eta_l 2bs,$$

де P_p – руйнівне навантаження, b і s – відповідно ширина і товщина зразка; η_l – коефіцієнт, що враховує зниження руйнівного напруження внаслідок згину в місці руйнування зразка (розніму півдисків), що залежить від відношення радіуса кільцевого зразка до його товщини (R/s).

Випробування зразків на стиск. Найпоширеніший вид зразків для випробування КМ на стиск – чотиригранна призма, що навантажується по торцевих поверхнях (рис.9.1 а). Формули для визначення руйнівних напружень і пружних характеристик при випробуваннях на стиск нічим не різняться від аналогічних для випробування на розтяг.

Композиційні матеріали мають і дещо специфічні характеристики, які часто застосовують у розрахунках міцності. Перша з них характеризує опір матеріалу дії дотичних (зсувних) напружень. Якщо дотичні напруження прикладено до матеріалу в площині його армування, то цю характеристику називають зсувом по шару. У разі прикладення зсувних напружень упоперек напрямку армування відповідну характеристику прийнято називати руйнівним напруженням на зріз (рис. 9.1 б).

Друга специфічна характеристика – руйнівне напруження при зминанні. Напруження зминання виникають у разі прикладення до матеріалу місцевого зосередженого навантаження, наприклад під штифтом (рис. 9.1 в).

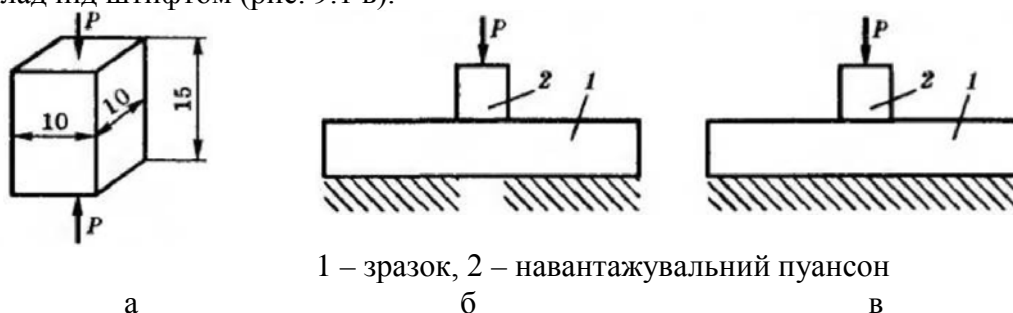


Рисунок 9.1. Схема випробувань матеріалів на стиск (а), зріз (б) та зминання

Механічні характеристики з'єднання є визначальними під час вибору клеїв.

Клеї, класифікація, властивості, застосування

Клеї призначені для створення з різних матеріалів нероз'ємних з'єднань, які в загальному вигляді складаються з двох склеюваних матеріалів (субстрати) і клейового шару (адгезиву) між ними. Здатність клею сполучати окремі деталі обумовлена адгезією.

Клейові матеріали – це рідкі, пастоподібні або тверді речовини, склади і композиції. При їх висиханні або затвердінні в зазорі між поверхнями, що сполучаються, утворюється клейовий шар. Сучасні клеї в більшості випадків є композиціями на основі високомолекулярних з'єднань і найчастіше на основі олігомерів, які після склеювання деталей перетворюються на полімерний матеріал клейового шару.

Клеї, в основному, використовуються для з'єднання і фіксації в певному положенні деталей і елементів конструкцій. Розрізняють такі різновиди клеїв:

- клеї-компаунди призначені для заливки пошкоджених місць;
- клеї-шпаклювання володіють підвищеною міцністю після затвердіння, тому їх застосування отримало спеціальну назву – “холодна зварювання”;
- клеї-герметики володіють властивостями і клеїв, і герметиків.

Вибір клею визначається багатьма умовами і, перш за все, фізико-хімічними властивостями адгезиву і субстрата. Далі найважливішим чинником, що визначає вибір клею, є рівень напруги, який повинне витримати клейове з'єднання. Міцність клейового з'єднання залежить від виду вантаження (від характеру деформацій) клейового шва, які по впливу на міцність в порядку зменшення можна розташувати в такому порядку: рівномірне стискування; рівномірний відрив; зрушення із стискуванням; зрушення; нерівномірний відрив; відшарування або розшарування. Тому при виборі клею необхідно насамперед вирішувати питання як склеїти, а потім – чим склеїти.

Іншим, не менш важливим чинником, є інтервал температур, при якому експлуатується клейове з'єднання. Визначальним в цьому відношенні служить температура склування по-

лімеру клейового шва. Зазвичай термопласти витримують нижчі робочі температури, ніж реактопласти.

При склеюванні необхідно строго дотримувати вказівки з підготовки поверхонь і нанесення клею, а також режим затвердіння, враховувати гарантійні терміни зберігання клею і його компонентів, життєздатність, вимоги техніки безпеки і технічної документації, що діє.

Вибір клею для склеювання різних матеріалів можна виконати за даними, наведеними в таблиці 13.1.

Таблиця 13.1 Клеї і матеріали, що склеюються

	Сталі	Алюміній і його сплави	Мідь і її сплави	Склопластики	Пластмаси
Сталі	ВК-1, К-153, К-30061, К-400.ТМК-75, ВС-10Т, ВС-350				
Алюміній і його сплави	ВК-1, ВК-32Э1М, К-153. ВК-9, ПУ-2, ВК-5, компаунди Е5-1 і Е6-1с	ВК-32ЭМ, ВК-9, К-300-61, пу-2, ВК-13, Д-2, Т-111			
Мідь і її сплави	К400, ГИПК-217А, БФ-2Д-10	К-400, ГИПК-217А, Д-6	КТП-1.БФ-2, К-400.Д-2, д-10		
Склопластики	Епоксид П і Пр, К-153, КТП-1, ВК-2, ПУ-2, БФ-2, ВК-13, ВК-32-200, ВС-10Т	ВК-1. ВК-1М, ВК-32ЭМ, К-300-61, ПУ-2, ВК-13, ВС-350, ВК-32-200.	Епоксид П і Пр, КТП-1, ПУ-2, БФ-2, Бф4	ВК-1, К-153, ВК-32ЭМ, ВС-10Т, Т-111, ВС-350	
Пластмаси	Епоксид П і Пр, "Ціакрін ЕО", ПФЕ-2/10	Епоксид П і Пр, "ЕПО", БФР-2,	Епоксид Пі Пр, "ЕПО"	К-153, К-54/6	Ціакрін, "ЕО", ПУ-2

Міцність з'єднання визначають дві основних його властивості:

- адгезія – злипання сполучного шару з склеюваними поверхнями;
- когезія – зчеплення частинок усередині клейового шару після його затвердіння.

Про адгезійні властивості клеїв судять за наслідками механічних випробувань клейових з'єднань. Основним показником механічної міцності клейових з'єднань металів є межа міцності при зрушенні (фактично середня руйнуюча напруга).

Клейові з'єднання мають ряд переваг порівняно із заклепувальними, зварними і болтовими: можливість сполучати різномірні матеріали; більш рівномірний розподіл напруги в елементах, що склеюються через відсутність отворів під болти і заклепки; атмосферостійкість, опір корозії. У ряді випадків клейові з'єднання забезпечують хорошу герметичність конструкцій. Технологія склеювання в більшості випадків володіє відносною простотою, особливо при використанні клеїв холодного затвердіння; в деяких випадках склеювання можливе при знижених температурах навколишнього середовища і під водою.

Основними недоліками багатьох клеїв є низька теплостійкість, невисока міцність клейових з'єднань при нерівномірному відриві (чутливість до високої концентрації напруги), необхідність у багатьох випадках здійснювати нагрівання при склеюванні.

Клеї і мастики на основі термореактивних полімерів

Клеї і мастики на основі термореактивних полімерів – резорціноформальдегідного, діфенілкетонного і карбо-мідеформальдегідного – забезпечують високу міцність з'єднання. Наприклад, для клею К-17 межа міцності при зсуві досягає 13,1 МПа. Для отри-

мання міцного з'єднання клеї на термореактивних полімерах вимагають на час тверднення притискного тиску 0,2...0,5 МПа. Водостійкість таких клеїв достатньо висока. Клеї на термореактивних полімерах тверднуть за рахунок полімеризації або зшивання молекул клеївши під дією отверджувачів і прискорювачів тверднення. Тому зазвичай клеї і мастики готують в стаціонарних або переносних змішувачах безпосередньо перед використанням в такій кількості, яка може бути використана до їх затвердіння.

Недолік цих клеїв і мастик – токсичність полімерів і інших складових.

Епоксидні клеї

Термореактивні клеї на основі епоксидних смол, що затвердівають без виділення побічних речовин, володіють цінними властивостями і використовуються частіше ніж інші клеї. Відносно доступності вихідних продуктів епоксидні смоли дещо перевершують всі інші смоли. Вони достатньо універсальні і склеюють різні матеріали, але їх застосування обмежується робочими температурами. Деякі епоксидні клеї витримують короткочасно нагрівання до 430°C. Діапазон робочих температур епоксидних клеїв зазвичай встановлюється затверджувачами, вживаними для забезпечення затвердіння композицій. Наявність безлічі речовин, здатних забезпечити затвердіння епоксидні смоли, дозволяє створювати склеювальні системи з різноманітними властивостями. Найчастіше затвердження цих смол забезпечують ароматичними амінами і циклічними ангідридами. Аміни дають клеї з низькою температурою затвердіння і обмеженим інтервалом робочих температур, тоді як затвердіння ангідридами зазвичай вимагає вищого нагріву, але такі композиції витримують роботу при підвищених температурах.

Епоксидні клеї існують у вигляді рідких, пастоподібних і плівкових (армованих і неармованих). Найбільшого поширення набули двокомпонентні клеї завдяки властивому їм підвищеному терміну зберігання. Компоненти можна зберігати тривалий час без самозатвердіння, поки їх не змішають. Перші епоксидні клеї були однокомпонентними і мали форму прутиків, які доводилося нагрівати перед нанесенням на частини, які з'єднували, що створювало певні незручності. Епоксидні клеї рідко використовуються у вигляді плівок, якщо їх не модифікують сполученням з іншою адгезійною системою.

Міцність епоксидних клейових з'єднань майже не залежить від товщини клейового шару, чого не можна сказати про інші конструкційні клеї. Це спрощує завдання їх нанесення на частини, що сполучаються, і підвищує технологічність, оскільки потрібний дуже невеликий тиск при склеюванні, оскільки епоксидні клеї швидко стають рідкими при нагріванні до переходу в стадію В. Товщина клейового шару повинна бути незначною, але її іноді важко регулювати, коли використовувати пастоподібні або рідкі клеї. Товщину клейового шва можна у разі потреби відрегулювати введенням в смолу скляного бісеру потрібного діаметру, що не шкодить механічній міцності з'єднання, якщо бісер додавати в невеликій кількості. Можливість подібного регулювання – одне з найважливіших переваг плівкових клеїв, особливо армованих. Коли частини сполучають епоксидними клеями з армировкою, тиск на них треба надавати особливо обережно, щоб не обіднити клейовий шар із-за витискування з нього дуже рідкої нагрітої смоли.

Епоксидні клеї володіють малою міцністю при розриві і зниженій ударній в'язкості порівняно з багатьма іншими конструкційними клеями через їх жорсткість після затвердіння. Щоб поліпшити ці характеристики, їх поєднують з різними іншими матеріалами з метою отримання системи, що задовольняє призначенню конструкції.

Розглянемо загальні особливості епоксидних смол, з якими пов'язано їх використання:

1. *Адгезія.* Епоксидні смоли володіють сильною адгезією до металів, скла, пластиків, кераміки, паперу, бетону, дерева і різним іншим матеріалам. Через крихку природу епоксидними клеями не рекомендується склеювати гуми і еластомерні матеріали, хоча вони і володіють адгезією до цих матеріалів. З епоксидних смол можна змішуванням з іншими речовинами створювати клеї малої в'язкості, що володіють як наслідок підвищеними текучістю, змочува-

ністю і проникаючою здатністю. Якщо що підлягає склеюванню матеріал знежирити і його поверхню підготувати, то забезпечення адгезії не складе труднощів.

2. *Когезія*. При правильному затвердінні епоксидних клеїв вони набувають хороших когезійних властивостей, які, проте, як правило, обмежують міцність. У більшій частині епоксидних клеїв адгезійні властивості перевершують когезійні, унаслідок чого при випробуванні клейових з'єднань в інтервалі температур від кімнатної до максимальної робочої спостерігається когезійне руйнування.

3. *Відсутність при затвердінні летючих продуктів*. Немодифіковані епоксидні смоли тверднуть без виділення води або інших побічних продуктів конденсації. Це дозволяє успішно застосовувати їх там, де необхідний контактний тиск. До того ж вони зручні при склеюванні таких матеріалів, як скло або термопласти, які погано витримують сильний нагрів і високий тиск. Ця ж особливість дозволяє виготовляти на їх основі заливальні компаунди, оскільки вірогідність утворення в них бульбашок повітря або включень мала. Додатки срібла, вуглецю або інших провідників дозволяють плавно змінювати електричні властивості епоксидних клеїв без шкоди механічним властивостям таких клеїв.

4. *Мала усадка*. Епоксидні смоли тверднуть з малою усадкою, що складає якусь частку усадки вінільних, поліефірних і акрилатних клеїв. Як наслідок клейовий шов менше деформується, а з'єднання епоксидним клеєм буває міцнішим. Усадку можна понизити до частин відсотка додатками кремнезему, оксидів алюмінію або органічних наповнювачів. Усадка величиною 3% повинна розглядатися для епоксидних смол як край велика.

5. *Мала повзучість*. Епоксидні клеї деформуються під тривалою дією навантаження менше, ніж клеї на основі термопластичних і багатьох термореактивних полімерів. У цьому полягає дуже важлива перевага епоксидних клеїв, оскільки повзучість конструкційних клейових з'єднань вважається вельми великим недоліком, що заподіює багато турбот конструкторам. Повзучість стримує застосування клеїв і пластиків в будівництві, ймовірно, більше, ніж будь-який інший недолік.

6. *Стійкість до дії вологи і розчинників*. Епоксидні смоли стійкі до дії вологи. Волога не діє на епоксидну смолу, але проникає через клейове з'єднання і ушкоджує субстрат. Коли епоксидне клейове з'єднання піддається дії вологи або занурюється у воду, зазвичай руйнування виникають по поверхні розділу. Це свідчить про важливість вибору способу підготовки склеюваних поверхонь. Епоксидні смоли надзвичайно стійкі до дії розчинників, чим і пояснюється їх все більш широке застосування як покриття. Оскільки рідини проникають через епоксидну смолу, не впливаючи або майже не впливаючи на систему, залишається проблема псування підкладки, яка примушувала користуватися іншими склеювальними матеріалами, коли доводилося зважати на тривалу дію таких рідин, як палива, хоча модифікування цих клеїв, наприклад еластомерами, усуває подібний недолік.

7. *Універсальна здатність модифікації*. Властивості епоксидної смоли можна змінювати такими шляхами:

а) зміною початкової смоли і затверджувачів;

б) зміною режиму затвердіння (як температури, так і тривалості процесу); в) поєднанням смоли з іншими полімерами;

г) використанням різних наповнювачів.

Від вибору наповнювача залежить собівартість клею, але економічність епоксидних клеїв визначається перш за все витратами на затверджувачі.

Епоксидні клеї добре ізолюють теплоту і електрику, але їх в той же час легко модифікувати, щоб додати потрібну провідність. Завдяки широким можливостям модифікування епоксидних смол клеї на їх основі універсальні відносно способів їх нанесення, які можуть бути ручними, напівмеханізованими і механізованими.

Фенольні клеї

Фенольні, або фенол-формальдегідні, смоли утворюються по реакції конденсації фенолу і формальдегіду. Фенольні смоли вельми тверді і міцні і володіють винятковими гриб-

костійкістю. Вони відрізняються помірно до хорошою вологостійкістю і дуже хорошою теплостійкістю.

Існують два основні класи фенольних смол – резольні і новолачні, причому і ті та інші отримують з фенольних спиртів. Каталізувати реакції їх освіти можна і лугами, і кислотами. Незалежно від рецептури фенольні клеї вельми стійкі до руйнуючої дії експлуатаційних умов. Вони погано протистоять напрузі, що виникає при тепловому розширенні матеріалів, а наповнювачі не усувають цей недолік.

Визначення теплофізичних характеристик полімерних композиційних матеріалів.

Механічні характеристики полімерних композиційних матеріалів залежать від температури. Вона насамперед впливає на деформування полімерних зв'язників, які, досягнувши температури скловання, поступово переходять з псевдокристалічного у високоеластичний стан, і можуть більш ніж на порядок втрачати свої пружні і міцні характеристики.

Визначити поле температур в матеріалі $T=f(x,y,z,\tau)$ за певних вихідних і граничних умов дозволяє рівняння теплопровідності Фур'є

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{\lambda}{c\rho} \Delta T,$$

де T – температура; τ – час; x, y, z – Декартові координати; λ – коефіцієнт теплопровідності; c – питома теплоємність; ρ – щільність.

Вихідні умови визначають розподіл температур всередині тіла в початковий момент часу: $T(x,y,z,0)=f(x,y,z)$.

Гранична умова першого роду полягає в задаванні розподілу температури по поверхні тіла в будь-який момент часу: $T_{\text{п}}=f(\tau)$.

Гранична умова другого роду полягає в задаванні величини теплового потоку для кожної точки поверхні тіла як функції часу: $q_{\text{п}}(\tau) = f(\tau)$.

Гранична умова третього роду полягає в задаванні температури навколишнього середовища і закону теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем.

Отже, для розв'язання задач теплопровідності потрібно знати коефіцієнт теплопровідності, питому теплоємність і щільність.

Коефіцієнт теплопровідності – це кількість теплоти, що проходить через одиницю поверхні за одиницю часу за перепаду температури на одиницю довжини перпендикуляра до поверхні, що дорівнює один градус. Його вимірюють у $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Питома теплоємність – це кількість теплоти, потрібна для нагрівання одиниці маси речовини на 1К . Одиницею теплоємності у системі СІ є $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$.

Є багато методів визначення теплофізичних характеристик провідності, що ґрунтуються на розв'язанні основного рівняння теплопровідності за різних граничних умов. Їх можна розділити на дві великі групи:

- стаціонарні методи – вимірювання коефіцієнта теплопровідності за сталого перепаду температур у час:
- нестаціонарні методи - вимірювання коефіцієнта теплопровідності за температур, що змінюються в процесі вимірювання.

Усі методи вимірювання теплопровідності ґрунтуються на спостереженні температурного градієнта у певній зоні матеріалу, що проводить теплоту з визначеною швидкістю. Кожен метод має певні обмеження, і вибір методу великою мірою визначається фізичною будовою досліджуемого матеріалу, температурою за якою потрібно виміряти провідність, і в основному коефіцієнтом температуропровідності $a (a=\lambda/c\rho)$, тобто тим, є матеріал добрим, чи поганим провідником теплоти.

Коефіцієнт теплопровідності ПКМ здебільшого залежить від напрямку вектора щільності теплового потоку, що визначається співвідношенням

$$q = (-1_n)(dQ/d\tau)(1/S),$$

де $dQ/d\tau$ - кількість теплоти, що проходить за одиницю часу (швидкість теплового потоку); S - площа ізотермічної поверхні; -1_n - одиничний вектор, спрямований перпендикулярно до поверхні S у бік зменшення температури.

Для конкретного напрямку q є питомим тепловим потоком (рис. 9.2)

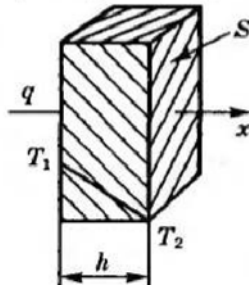


Рисунок 9.2. До визначення коефіцієнта теплопровідності ПКМ

Залежність λ від q для ПКМ пов'язана з відмінністю коефіцієнтів теплопровідності армувального заповнювача і зв'язника, а також з відмінністю кількості армувального заповнювача в різних напрямках.

Здебільшого у разі теплового навантаження виробів РКТ тепловий потік спрямований перпендикулярно до поверхні, тому визначальним є коефіцієнт теплопровідності по товщині деталі і, як правило, він визначається для ПКМ.

Визначення питомої теплоємності твердих матеріалів ґрунтується на використанні класичного принципу «змішування». Визначення величини теплоємності за сталого тиску полягає в рівномірному прогріванні (чи охолодженні) випробувального зразка відомої маси до заданої температури і вимірювання калориметруванням поглиненої (чи відданої) кількості теплоти, віднесеної до одного градуса діапазону температури нагрівання зразка, та до одиниці його маси. Визначається теплоємність є середньою для інтервалу температур, в якій її визначають:

$$c_{p\text{сер}} = \frac{A\Delta T_k}{m(T - T_k)},$$

де A - тепла стала калориметра; ΔT - «істинне» підвищення температури калориметра; T - температура нагрівання зразка в печі; m - маса зразка після дослідження; T_k - максимальна температура калориметричної системи з урахуванням поправки на теплообмін.

15. НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ. ОСНОВНІ МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ (МНК).

Традиційними методами дефектоскопії виробів з ПКМ є акустичний, радіаційний, радіохвильовий та тепловий. Одним з найбільш поширених методів неруйнівного контролю є акустичний метод, який має ряд переваг перед іншими методами неруйнівного контролю виробів з ПКМ:

- а) інформативними ознаками дефекту є зміна параметрів пружного імпульсу, що поширюється в контрольованому матеріалі та розширює сферу застосування цього методу в частині можливості визначення фізико-механічних характеристик матеріалів;
- б) велика можливість механізації і автоматизації, яка забезпечується високою технологічністю процесу контролю, а також підвищення продуктивності контролю;
- в) нескладна та безпечна порівняно з іншими методами апаратурна реалізація;
- г) невисока вартість та використання серійно апаратури [6, 8]. Проте, не дивлячись на зростання обсягу використання акустичних методів дефектоскопії для контролю виробів з ПКМ, проблемам автоматизації цих методів, зокрема комплексного контролю в умовах виробництва, підвищенню їхньої достовірності та інформативності присвячено відносно невелика кількість робіт. Слід зазначити, що ряд проблем при проектуванні систем автоматизованого НК виникає через специфічні властивості ПКМ. Відсутність опрацьованих теоретичних моделей, які б повно і адекватно описували процес дефектоскопії виробів з ПКМ, породжує спектр проблем, пов'язаних з вибором параметрів сигналів збудження, параметрів сигналів, що підлягають вимірюванню та вибору інформативних ознак поділу якісних та дефектних областей контрольованих виробів [5]. Тому, з огляду на перелічені переваги, загальну тенденцію розвитку методів та засобів неруйнівного контролю, а також недостатній ступінь автоматизації, що не дозволяє реалізувати всі ці переваги, є досить актуальним розробка нових методів та програмно-апаратних засобів автоматизованого акустичного неруйнівного контролю, зокрема безконтактних методів (повітряно-акустичний зв'язок), що забезпечує високу якість контролю, інформативність і достовірність результатів.

МНК застосовують під час контролю виготовлення виробів з неметалевих матеріалів для:

- товщиномерії – визначення товщини окремих шарів матеріалів – вихрострумний, акустичний, радіаційний МНК;
- дефектокопії виробів – виявлення несучільності матеріалів (розшарування і неприклеї) - акустичний, радіаційний, оптичний, тепловий, радіохвильовий МНК.

Акустичні методи неруйнівного контролю.

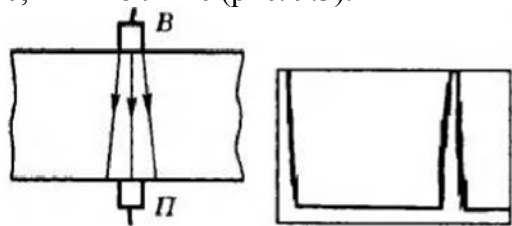
Методи акустичного контролю поділяють на дві великі групи: активні, де використовують випромінювання і приймання акустичних коливань і хвиль, і пасивні, що ґрунтуються тільки на прийманні коливань і хвиль.

Активні методи, в яких застосовують біжучі хвилі, використовують проходження, відбиття хвиль і комбіновані.

Теньовий (амплитудно-тіньовий метод) належить до методів проходження, які припускають наявність двох перетворювачів – випромінювального і приймального, розташованих з різних боків об'єкта контролю (ОК). Необхідність двостороннього доступу до контрольованого виробу, це загальний недолік тіньового методу, який істотно обмежує область його застосування. Метод ґрунтується на реєструванні зменшення амплітуди хвилі, що пройшла, зумовлене дефектом. Контроль здійснюється повздовжніми УЗ-хвилями за двобічного доступу до виробу, він дає змогу виявляти розшарування в ПКМ і неприклеї різних ПКМ один до одного. Зменшення інтенсивності коливань залежить від величини дефекту. Чим більше дефект, тим більше послаблюється звуковий потік. Тіньовий метод є малочувливим. Дефект можна виявити, якщо зміна сигналу, що викликається, становить 15-20%. Більш дрібні дефекти не виявляються.

Товщина контрольованого матеріалу до 400 мм. Метод дає змогу виявляти дефекти розміром 20x20 мм і більше за товщини матеріалу до 30 мм, 30x30 мм і більше за товщини

покрить від 30 до 100 мм, 50x50 мм і більше за товщини покрить понад 100 мм, з розкриттям 0,1 мм і більше (рис. 9.3).



В – випромінювач, П – перетворювач

Рис. 9.3 Схема УЗ контролю тіньовим методом за допомогою ПЕП (а) та зображення на екрані дефектоскопа (б).

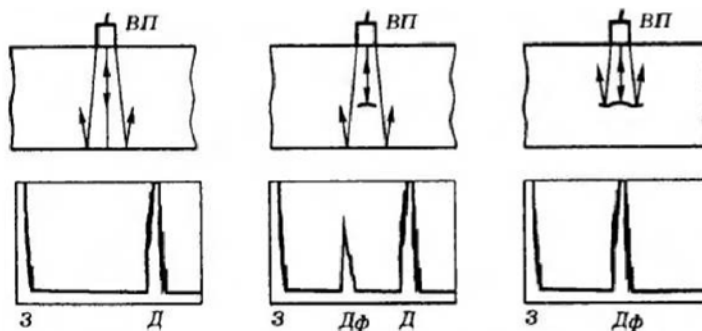


Рисунок 9.4. Схема УЗ контролю ехоімпульсним методом

ВП – сумщений перетворювач, З – зондувальний імпульс, Дф – ехосигнал від дефекту, Д – донний сигнал

Допуск співвісності прямих електричних перетворювачів (ПЕП) 0,3-0,5 діаметра перетворювача залежно від його робочої частоти. Співвісність перетворювачів забезпечують системами орієнтації, пристосуваннями у вигляді скоби, розмічанням контрольованої поверхні координатною сіткою тощо. Акустичний контакт забезпечують застосуванням рідкого контактного мастила (гліцерину, спирту, води, індустріального масла), поліефіуретанового протектора. Через велике затухання УЗ-коливань у ПКМ застосовують знижені частоти (200, 400, 600, 800 кГц).

Тіньовий метод не має мертвої зони і дає змогу за один прохід виявити дефекти у всіх шарах виробу. Недолік – неможливість визначення глибини залягання дефекта.

Для ручного чи механізованого контролю деталей з ПКМ застосовують дефектоскопи загального призначення, або спеціалізовані прилади. В ДП КБ «Південне» застосовують УД-22УМ, який нині у країнах СНД не випускається. З сучасних імпорتنих слід згадати ЕРОСН-3 (США), що побудований з використанням цифрової техніки.

Акустичний метод відбитого випромінювання (ехоімпульсний метод) дає змогу виявляти розшарування в ПКМ на основі (металевій і неметалевій) і без основи завтовшки до 200 мм.

Ехо-метод має низку переваг перед тіньовим. Він дозволяє використовувати вироби при односторонньому доступі до них. Це особливо цінно при перевірці виробів, в яких відсутня двосторонній доступ. Крім того, чутливість луна-методу значно вище тіньового. При тіньовому методі ослаблення УЗК на 5% важко зареєструвати, а при ехо-метод відображення навіть 1% енергії дуже добре не лише виявляється, але і вимірюється. Крім того, луна-метод дозволяє визначити, на якій глибині знаходиться дефект. Якщо часова відстань між зондируючим і відбитим від протилежної поверхні деталі (донний імпульс) прийняти за розмір деталі, то час між посланим імпульсом і моментом приходу відбитого від дефекту імпульсу дає глибину залягання дефекту. Крім того, за амплітудою відбитого сигналу можна судити про розміри дефекту, а вивчаючи спектральний склад відбитого імпульсу, можна отримати інформацію про тип і формі дефекту. Головний недолік луна-методу - наявність мертвої зони під датчиком, що не дає можливості застосовувати його для тонких виробів. Наявність мертвої зони пов'язано з тим, що при близько розташованому дефекті в момент приходу луна-сигналу від нього ще триває випромінювання зондуючого імпульсу.

Через велике затухання УЗ-коливань і анізотропії ПКМ застосування методу обмежено. Мінімальна глибина залягання виявлених дефектів – 3-5 мм залежно від матеріалу і робочої частоти (рис. 9.4).

Для контролю ехоімпульсним методом ПКМ використовують спеціалізовані УЗ-дефектоскопи і товщиномери зі зниженими робочими частотами (зазвичай від 0,2 до 1МГц), наприклад акустичний дефектоскоп АД-21У-ДФ.

Імпедансний метод (ІМ). Цей метод є одним з основних засобів НК з'єднань у багатошарових конструкціях з ПКМ.

В ІМ використовують вигнуті хвилі звукового і низького УЗ-діапазону частот від 500 Гц до 40 кГц. Метод ґрунтується на впливі дефекту багатошарової конструкції на її механічний імпеданс.

Якщо збудити вигнуті коливання в бездефектній зоні двошарової конструкції, то її механічний імпеданс визначатиметься всіма шарами, що працюють як єдине ціле. У цьому разі її твердість і модуль механічного імпедансу матиме максимальне для цієї конструкції значення. У зоні дефекту величина механічного імпедансу різко зменшується, оскільки відокремлений дефектом шар обшивки зв'язаний з основою тільки по периметру дефекту, а твердість обшивки набагато менша за твердість конструкції в бездефектній зоні. Отже, виявлення дефекту зводиться реєструванням зміни імпедансу.

Контроль ІМ здійснюють за однобічного доступу до виробу, щільність контрольованих матеріалів понад 200 кг/м³. Метод дає змогу виявляти дефекти 3x3 мм і більше залежно від глибини їх залягання, з розкриттям 0,1 мм і більше.

В ІМ застосовують як безперевні, так і імпульсні коливання. Безперевні коливання застосовано в сучасному дефектоскопі АД-40І. До імпульсних дефектоскопів належать ІД-42І, ІД-91М. Їх застосовують для контролю якості приклею вугле- і склопластикових обшивок (завтовшки понад 0,5 мм) до стільників у тришарових конструкціях.

Акустичний метод вільних коливань. Значне поширення для однобічного контролю суцільності неметалевих матеріалів та їх приклею до металевій основі знайшов локальний метод вільних коливань. Локальний метод вільних коливань полягає в тому, що в частини контрольованого виробу збуджують коливання за допомогою ударів молоточка вібратора і аналізують спектр порушуваних частот. У дефектних виробках, як правило, спектр зміщується в високочастотну сторону.

Є два основних способи спектрального аналізу. Аналоговий ґрунтується на застосуванні системи смугових фільтрів, кожен з яких пропускає коливання вузької смуги частот. Цей метод реалізовано у дефектоскопі АД-60С. Цифровий метод став можливим у зв'язку з розвитком комп'ютерної техніки і реалізовано в ультразвуковому дефектоскопі АД-64М. В ДП КБ «Південне» застосовують дефектоскоп Bondmaster фірми Staveley (США).

Локальний метод вільних коливань широко застосовується під час виготовлення різних вузлів з ПКМ, зокрема цим методом контролювали суцільність приклею ТЗП кокона днищ РДТП.

Акустико-топографічний метод відноситься до методів вимушених коливань. У цьому методі розподіл амплітуд пружних коливань на поверхні контрольованого об'єкта реєструють за допомогою порошку, що наноситься на поверхню. Дефектну ділянку відрізняють збільшенням амплітуди коливань в результаті резонансних явищ, внаслідок чого осідання порошку на ньому менше. Метод не має мертвої зони, виявляє дефекти площею до 10 мм², гранична глибина залягання дефектів – 5мм. Переваги акустико-топографічного методу - відсутність необхідності в механічному скануванні, недоліки - важка і громіздка апаратура. Для контролю використовують установку, що складається з серійного УЗ-генератора потужністю близько 0,5 кВт на частоті близько 100 кГц, блока керування частотою і випромінювача, що притискається до ОК.

Вихроструміві методи контролю

Для контролю товщини діелектричних матеріалів (органі- і склопластики) і слабопровідних матеріалів (вуглепластики) застосовують вихрострумівий (ВС) метод відбитого випромінювання. Він ґрунтується на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збудливою котушкою в електропровідному об'єкті контролю.

ВС-метод відбитого проміння дає змогу контролювати товщину:

- діелектричних покриттів з ПКМ на металевій основі;

- діелектричних ПКМ без металевої основи із застосуванням підкладки із струмопровідного матеріалу;
- шарів діелектричних ПКМ без металевої основи із застосуванням закладних міжшарових елементів.

В якості перетворювача зазвичай використовують індуктивні катушки (одну або кілька). Синусоїдальний або імпульсний струм, що діє в котушці ВТП, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в електропровідному об'єкті. Електромагнітне поле вихрових струмів впливає на катушку перетворювача, наводячи в ній ЕРС або змінюючи їх повний електричний опір. Реєструючи напругу на затискачах катушки або їх опір, отримують інформацію про положення перетворювача відносно металевої підкладки, тобто про товщину діелектричного матеріалу.

Контроль здійснюється за однобічного доступу до об'єкта.

Вітчизняні ВС-товщиномери розробляють ФМІ НАН України (м. Львів) і центр «Леотест-Медіум» (м. Львів). Вони дають змогу контролювати товщину виробів з ПКМ у діапазоні 0,5-70 мм з похибкою 3%.

Акустико-емісійний метод заснований на реєстрації пружних хвиль, що виникають в процесі перебудови внутрішньої структури твердих тіл. Акустична емісія з'являється при пластичній деформації, при виникненні і розвитку дефектів, наприклад при утворенні тріщин, при фазових перетвореннях, пов'язаних зі зміною кристалічної решітки, при різанні металів. Фізичним механізмом акустичної емісії є рух в речовині дислокацій і їх скупчень. Нерівномірність, уривчастість дислокаційних процесів, пов'язаних з відривом дислокацій від точок закріплення, гальмуванням їх у перешкод, виникненням і знищенням окремих дислокацій, є причиною, яка зумовлює вивчення хвиль напруги. Тому акустична емісія має вибуховий характер, являє собою потік імпульсів; тривалість імпульсу може становити 10^{-8} до 10^{-4} с, енергія окремого імпульсу від 10^{-9} до 10^{-5} Дж. Це відповідає коливанням поверхні зразка в межах 10^{-11} - 10^{-4} мм. Іноді ці сигнали досить сильні і можуть сприйматися на слух (наприклад «крик олова» при його деформації).

Сигнали акустичної емісії, поширюючись до поверхні зразка, зазнають суттєвих змін внаслідок дисперсії швидкості звуку, трансформації типів хвиль при відображенні, переломленні, загасання і т.д. Якщо інтервал між окремими актами випромінювання менше часу загасання, акустична емісія має характер безперервного випромінювання, як правило нестационарного. Така акустична емісія називається безперервної або суцільною. Якщо час загасання сигналу і час перехідних процесів в зразку менше проміжку часу між випромінюваними імпульсами, акустична емісія сприймається у вигляді послідовності імпульсів і називається дискретною або імпульсною. Дискретна акустична емісія має місце при утворенні тріщин. Безперервна - процесі різання металу. Частотний спектр сигналів акустичної емісії широкий від чутних частот до десятків і сотень МГц. Сигнали акустичної емісії приймають на поверхні зразка за допомогою контактних датчиків або безконтактними оптичними віброметр. більшої частини методів до зразка прикладають механічне напруження. Сигнали акустичної емісії реєструються в процесі зростання або зменшення прикладеного до зразка зовнішнього механічного напруги. При цьому концентрації напружень поблизу дефектів викликають локальне пластичне деформування і поява симптомів акустичної емісії. Обсяг області пластичної деформації залежить від розмірів дефекту і величини прикладеної напруги.

Основними параметрами сигналів акустичної емісії є:

- Загальне число імпульсів дискретної акустичної емісії за досліджуваній проміжок часу;
- Число перевищень сигналом акустичної емісії встановленого рівня за винятком проміжку часу;
- Інтенсивність акустичної емісії або число перевищень сигналом акустичної емісії встановленого рівня за одиницю часу;
- Амплітуда акустичної емісії або максимальне значення сигналу акустичної емісії протягом заданого проміжку часу;

- Рівень сигналів акустичної емісії або середнє квадратичне сигналу за розглянутий проміжок часу.

Методи акустичної емісії використовуються для прогнозування руйнівних напружень виробів, що піддаються неруйнівним випробуванням, наприклад пневмовипробуванням баків, трубопроводів, корпусів РДТП; раннього розпізнавання тріщин при випробуваннях матеріалів на міцність, для виявлення дефектів в стадії їх зародження, для локації дефектів і вивчення кінетики розвитку тріщин в зварних швах і др. При повторному напрузі емісія не виникає аж до досягнення максимальної напруги попереднього циклу.

Лазерна голографія (від грецького *holos* — повний + *graphe* — запис) — набір технологій для точного запису, відтворення і переформатування хвильових полів. Це спосіб одержання об'ємних зображень предметів (голограми) за допомогою когерентного випромінювання лазера. Голограма фіксує не саме зображення предмета, а структуру відбитої від нього світлової хвилі (її амплітуду та фазу). Для отримання голограми необхідно, щоб на фотографічну пластинку одночасно потрапили два когерентних світлових пучки: предметний, відбитий від об'єкта та опорний — що проходить безпосередньо від лазера. Світло обох пучків інтерферує, створюючи на пластинці чергування дуже вузьких темних і світлих смуг — інтерференційну картину (рис. 9.5).

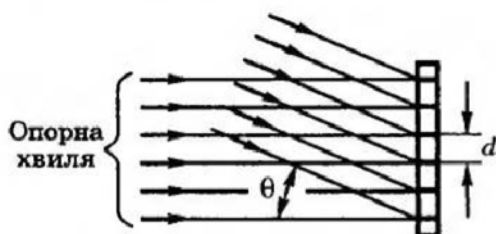


Рисунок 9.5. Одержання голограми внаслідок інтерференції двох плоских світлових хвиль (опорної і сигнальної)

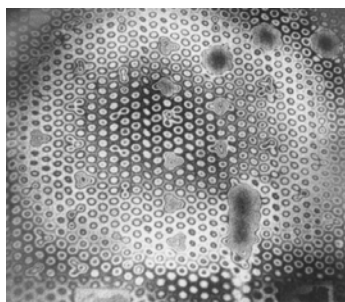


Рисунок 9.6. Структура голограми під мікроскопом

Одним із численних методів неруйнівного контролю якості є метод голографічної інтерферометрії, суть якого полягає у порівнянні стану поверхні досліджуваного об'єкта до і після створення в ньому незначного навантаження. Нерівномірності в зображенні оптичної інтерферограми, одержаної при випробуванні того чи іншого об'єкта, дають змогу виявити наявні в ньому дефекти. Крім того, метод голографічної інтерферометрії використовується також із метою визначення залишкових напружень.

Розвитком методології, інструментальної бази та практичної реалізації технологій неруйнівного голографічного контролю виробів РКТ займаються співробітники Діагностичної галузевої лабораторії голографії (ДГЛГ) в Дніпропетровському національному університеті.

Одним з ефективних напрямків використання голографічних розробок ДГЛГ стала дефектоскопія стільникових панелей, які використовуються як каркас сонячних батарей та корпусних деталей космічних апаратів. На відміну від контактних методів неруйнівного контролю голографічний контроль дозволяє виявляти неприклеї сот до дуже тонких обшивок без їх ушкодження. При цьому виявляються неприклеї вздовж однієї і навіть частини полиці стільникового блоку. Голографічна методика та встановлення використовувалися при відпрацюванні конструкції та технології виготовлення каркасів сонячних батарей створеного у ДП КБ «Південне» мікросупутники «Єгиптсат» та інших космічних апаратів (рис. 9.6).



. Рис. 9.6. Інтерферограма стільникової панелі сонячної батареї з дефектами

16. ТЕХНОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ЧИСТОТИ ВИРОБІВ РКТ НА ЗАВОДІ-ВИРОБНИКУ, КОСМОДРОМІ, НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩЕ

Загальні положення

Одним з небезпечних факторів, що впливають на роботу приладів супутників, є їхнє забруднення в процесі проведення наземних операцій, під час виведення на орбіту і в польоті. К забрудненню чутливі оптичні поверхності (ілюмінатори, линзи телескопів і астронавігаційних приборів, сонячні батареї, терморегулюючі покриття і т.д.), плазменні зонди, детектори заряджених частиць малої енергії, комутуючі пристрої.

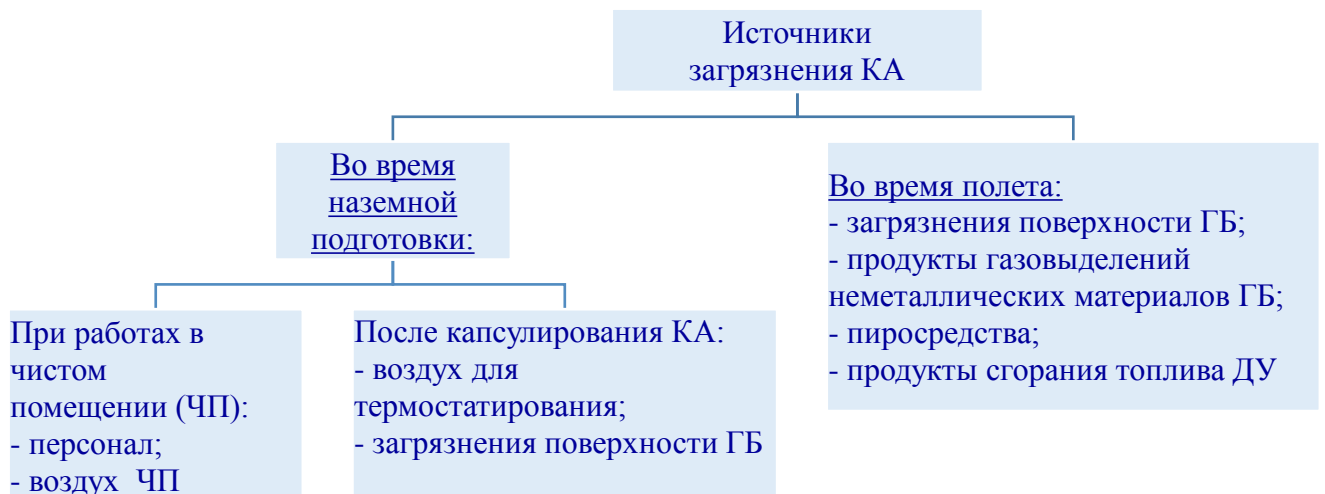
Загрязнення матеріалів і елементів КА, сформовані в процесі виготовлення, зберігання, транспортування і підготовки до пуску, викликають при експлуатації супутника на орбіті:

- забруднення поверхності осаджуються продуктами власної атмосфери КА;
- збільшення світлового фону навколо КА за рахунок розсіяння світла на частинках власної атмосфери і люмінесцентного світіння;
- зростання токів утечки в відкритих високовольтних пристроях і зниженню їх електричної міцності за рахунок погіршення вакууму.

Загрязненню поверхностей в процесі функціонування сприяє фотополімеризація за рахунок ультрафіолетового випромінювання Сонця, електричні і магнітні поля поблизу КА.

За своїми розмірами і хімічним складом забруднення поділяють на механічні і молекулярні. До механічних належить пилю, що знаходиться в повітрі і робочих газах, різні часточки і волокна, що містяться в робочих рідинах і осаджуються на поверхню.

До молекулярних забруднень належать вуглеводні, що містяться в повітрі, летючі залишки на поверхнях, летючі речовини, що конденсуються, жирові забруднення поверхонь і рідин. Джерела виникнення забруднень наведено на рис. 16.1.



Доведено, що близько 80% забруднень вноситься людьми, 15% - виробничими інструментами та устаткуванням, близько 5% - із самої кімнати (рис. 16.2). Упродовж року людське тіло виділяє 3,5 кг забруднень у вигляді часточок (табл. 16.1).

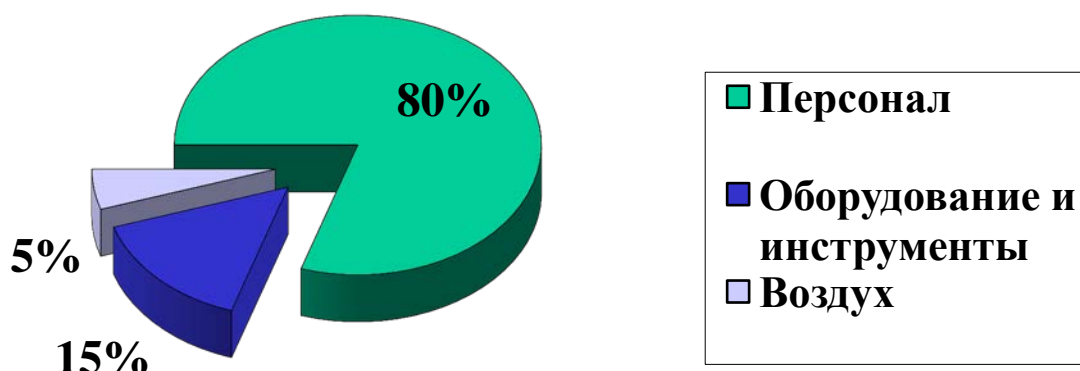


Рисунок 16.2 Процентное соотношение загрязнения изделий от различных источников

З наведених вище цифр стає зрозумілою необхідність регламентування поведінки людей, що працюють у чистому приміщенні. Для них потрібен спеціальний одяг з безворсової антистатичної тканини. Рухи людей під час роботи мають бути плавними, їм заборонено користуватися косметикою, носити ювелірні прикраси, годинник. Крім того, обмежується кількість людей, які одночасно працюють у чистому приміщенні.

Таблица 16.1 Количество загрязнений, выделяемых человеческим телом

Вид человеческой деятельности	Количество частиц, выделяемых за 1 минуту
Неподвижная поза	100 000
Вращение головой	500 000
Вставание	2 500 000
Хожение, подъем по лестнице и др.	10 000 000

Останім часом термін служби космічних апаратів на орбіті подовжується, тому вимоги по забезпеченню і контролю чистоти космічних головних частин ужесточаються. Їх виготовлення потребує забезпечення високого рівня чистоти поверхні виробів ракетно-космічної техніки і повітря приміщень, де з ними проводять роботи. Общая схема обеспечения чистоты виробів РКТ наведено на рис. 6.3.

При изготовлении и подготовке к пуску РН космического назначения должны выполняться следующие требования по чистоте:

- конструкционные материалы и покрытия, используемые при изготовлении КА и космической головной части (КГЧ) не должны быть источниками и аккумуляторами загрязнений в части выделения газов, коррозии элементов конструкции, с которыми они соприкасаются, изнашиваемости, осыпания и отслаивания частиц;

- применяемые пиротехнические средства не должны являться источниками дополнительного загрязнения КА;

- уровень газовыделений неметаллических материалов, входящих в конструкцию КА и КГЧ, должен соответствовать требованиям ECSS-Q-ST-70-02C – «Обеспечение космической продукции. Тепловые испытания вакуумной дегазации для космических материалов экранирования» - при выдержке неметаллических материалов при температуре плюс 125°C и

давлении 10^{-3} Па в течение 24 часов общая потеря массы не должна превышать 1%, а содержание летучих конденсирующихся веществ – 0,1% от общей массы материалов;

- ДСЕ и элементы, входящие в конструкцию КА и КГЧ, перед поступлением на окончательную сборку должны быть очищены до уровня «визуально чистый (VC) + ультрафиолет»;

- окончательная сборка должна проводиться в условиях чистого помещения класса не хуже ISO 8 по «ISO 14644-1-2015 - Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды – Часть 1: Классификация степени чистоты воздуха по концентрации частиц» с соблюдением правил эксплуатации чистых помещений;

- чистота воздуха, подаваемого системами термостатирования в подобтекательное пространство, должна соответствовать классу не хуже ISO 6.7 по «ISO 14644-1-2015 - Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды – Часть 1: Классификация степени чистоты воздуха по концентрации частиц»;

- чистота поверхностей КГЧ и КА по механическим загрязнениям должна соответствовать уровню 500 по «IEST-STD-CC1246D – Научно-технический институт защиты окружающей среды (IEST). Уровни чистоты продукции – применение, требования и определение»;

- чистота поверхностей КГЧ и КА по молекулярным загрязнениям не должна превышать 10 мг/м^2 по «IEST-STD-CC1246D – Научно-технический институт защиты окружающей среды (IEST). Уровни чистоты продукции – применение, требования и определение»;

- чистота наружных поверхностей элементов конструкции должна соответствовать уровню «визуально чистый (VC) по салфетке»;

- очищенные поверхности элементов конструкции должны быть защищены от попадания пыли герметичным чехлом и защитным транспортировочным чехлом при транспортировании с предприятия-изготовителя на космодром;

- чистота поверхностей наземного технологического оборудования должна соответствовать уровню «визуально чистый (VC).

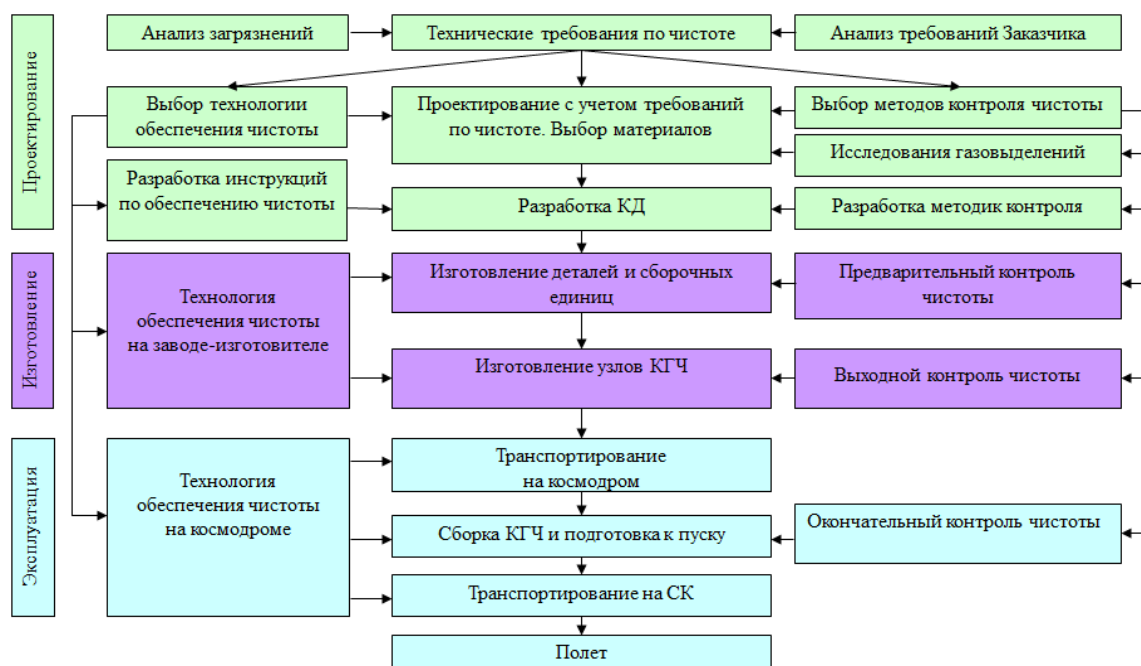


Рисунок 6.3. Общая схема обеспечения чистоты космической головной части

В зависимости от требований разработчика КА уровень чистоты может изменяться.

Таким чином, обеспечение требований по чистоте изделия закладається уже при их проектуванні. Вибираються матеріали, що не є джерелом пилу та мають допустимий рівень

газовидельной и конденсированной фазы при тривалой эксплуатации в вакууме за повышенных температур, создаются специальные технологии обеспечения чистоты.

Технология обеспечения чистоты производства РКТ при изготовлении предусматривает выполнение комплекса технологических и организационных мероприятий в условиях завода-изготовителя, реализация которых позволит достичь заданного уровня чистоты и максимально снизить его загрязняющее воздействие на КА (рис. 6.4).

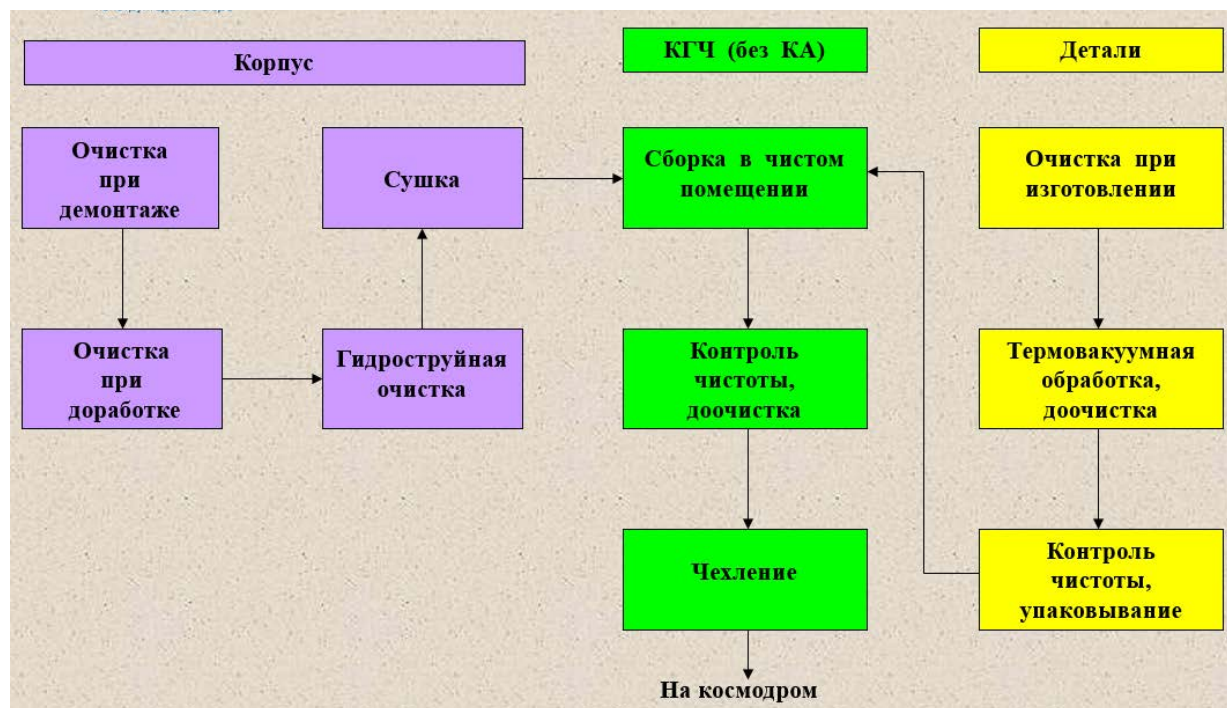


Рисунок 6.4 Технология обеспечения чистоты на заводе-изготовителе

Технология изготовления КА и КГЧ выполняется с учетом требований по обеспечению и контролю чистоты и предусматривает:

- создание специальных рабочих мест для изготовления деталей;
- создание чистых зон для сборки ДСЕ;
- выбор методов очистки и технологических приемов обеспечения чистоты;
- проведение термовакuumной обработки ДСЕ из неметаллических материалов;
- применение метода механизированной гидроструйной мойки (очистки) внутренних полостей ГО, в котором размещен КА;
- очистку поверхностей ДСЕ и собранных узлов. Предварительную очистку поверхностей всех сборочных единиц выполняют методом вакуумной очистки пылесосом. Поверхности сборочных единиц, средних и крупных деталей, комплектующих и т.п. очищают методом протирки салфеткой, смоченной в моющем средстве и отжатой от его избытка. После очистки поверхностей ДСЕ методом протирки повторно выполняют вакуумную очистку пылесосом.

При изготовлении клепаных узлов предусмотреть выполнение следующих технологических операций по обеспечению чистоты:

- –предварительную сборку с установкой калиброванных болтов вместо заклепок;
- –разборку, очистку деталей от стружки и снятие заусенцев;
- –протирку поверхностей салфеткой, смоченной в моющем средстве;
- –вакуумную очистку поверхностей пылесосом;
- сборку-клепку из деталей, прошедших очистку;

- контроль чистоты и доочистку мест загрязнений методом протирки салфеткой, смоченной растворителем, а затем протирки салфеткой, смоченной в спирте этиловом;
- вакуумную очистку пылесосом поверхностей фильтрующих элементов.

– контроль чистоты поверхностей на соответствие уровню «визуально чистый (VC) + ультрафиолет»;

– проведение работ по окончательной сборке изделий в чистом помещении класса не хуже ISO 8 по «ISO 14644-1-2015 - Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды – Часть 1: Классификация степени чистоты воздуха по концентрации частиц»;

– поддержание заданного уровня чистоты в чистом помещении – постоянный регламент системы подготовки воздуха, проведение ежедневной влажной уборки чистого помещения, соблюдение режима допуска работающих и посетителей только в специальной технологической одежде;

– применение чистых технологических чехлов и накидок при транспортировании и хранении изделий после изготовления;

– укупорку готовых узлов в чистые герметичные чехлы и транспортировочные чехлы для длительного хранения и транспортирования на космодром;

– обучение и аттестацию персонала для работ по обеспечению и контролю чистоты.

Технологический процесс изготовления КА и сопряженных с ними узлов должен обеспечивать чистоту всех комплектующих ДСЕ, поступающих на окончательную общую сборку в чистое помещение, на соответствие уровню «визуально чистый (VC) + ультрафиолет».

После завершения окончательной сборки КА и сопряженных с ними узлов перед отправкой на космодром выполняется количественный контроль механических и молекулярных загрязнений его поверхностей.

Технологии обеспечения чистоты КА на космодроме (рис. 6.5).

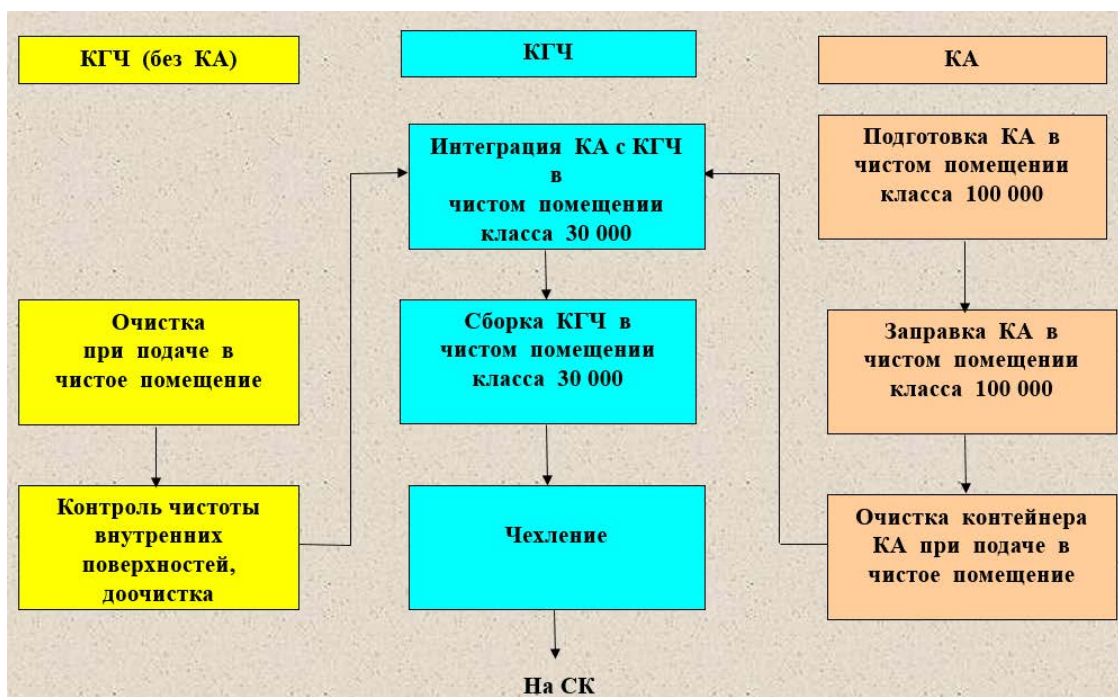


Рисунок 6.5 Технология обеспечения чистоты на космодроме

В процессе выполнения работ в МИК космодрома предусматриваются следующие мероприятия по выполнению требований по чистоте:

- подготовка чистого помещения для обеспечения необходимых параметров температурно-влажностного режима и чистоты воздуха на соответствие классу не хуже ISO 8 по «ISO 14644-1-2015 - Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды – Часть 1: Классификация степени чистоты воздуха по концентрации частиц» с соблюдением правил эксплуатации чистых помещений;

- оснащение чистого помещения специальной системой подготовки воздуха с установленными фильтрами тонкой очистки воздуха;

- предварительная очистка всего наземного технологического оборудования и приспособлений, предназначенных для работ с КА и сопряженных с ними узлов в чистом помещении;

- использование при погрузочно-разгрузочных работах подъемно-погрузочных средств чистого помещения, не оказывающих дополнительного загрязняющего воздействия на КА;

- доочистка (при необходимости) наружных поверхностей узлов и наземного технологического и вспомогательного оборудования в шлюзовой камере перед подачей в чистое помещение;

- контроль чистоты поверхностей комплектующих изделий перед подачей в чистое помещение на соответствие уровню «визуально чистый (VC) по салфетке»;

- контроль чистоты наружных поверхностей изделий на соответствие уровню «визуально чистый (VC) по салфетке»;

- проведение работ по окончательной сборке в условиях чистого помещения МИК класса не хуже ISO 8 по «ISO 14644-1-2015 - Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды – Часть 1: Классификация степени чистоты воздуха по концентрации частиц» с соблюдением правил эксплуатации чистых помещений;

- контроль чистоты внутренних поверхностей головного обтекателя перед окончательной сборкой (установкой диспенсера КА) на соответствие уровню «визуально чистый (VC) + ультрафиолет»;

- применение специальной технологической одежды для персонала, работающего в чистом помещении;

- привлечение к работам квалифицированных специалистов, ознакомленных с порядком проведения работ в чистом помещении с изделиями с повышенными требованиями по чистоте.

Методы контроля чистоты

В процессе изготовления и эксплуатации диспенсера КА контролю подлежат следующие параметры чистоты:

- чистота воздуха в чистом помещении;

- чистота воздуха, подаваемого системами термостатирования в подобтекательное пространство;

- чистота поверхностей ДСЕ и окончательно собранного изделия.

Контроль чистоты воздуха в чистом помещении и воздуха, подаваемого системами термостатирования, проводится фотометрическим методом с помощью лазерного счетчика частиц типа Lasair®III 510C или аналогичного типа, позволяющего выполнять подсчет частиц в 1 дм³ воздуха в размерных диапазонах:

0,5 мкм и более;

1,0 мкм и более;

5,0 мкм и более.

Запыленность воздуха в производственном помещении первой категории (согласно СТП 102-226:2007) общей сборки должна соответствовать классу ISO 8 по ISO 14644-1 (количество частиц размером от 0,5 мкм и более в 1 дм³ воздуха не должно превышать 3520

штук, из них частиц размером 1 мкм и более – не более 832 штуки, а размером 5 мкм и более - не больше 29 штук);

Контроль запыленности воздуха в производственном помещении первой категории цеха общей сборки выполняют один раз в смену через два часа после начала работы. По результатам контроля, при необходимости, производят замену фильтров тонкой очистки и доработку системы подготовки воздуха производственного помещения первой категории.

Контроль чистоты поверхности на соответствие уровню «визуально чистый (VC)» проводится путем осмотра контролируемой поверхности нормальным невооруженным глазом (кроме коррекции зрения) при освещении поверхности источником белого света с расстояния от 1,2 до 1,5 метра при освещенности контролируемой поверхности не менее 500 лкс.

Контроль чистоты поверхности на соответствие уровню «визуально чистый (VC) по салфетке» проводится визуально путем протирки контролируемой поверхности салфеткой из безворсовой ткани типа SUPER POLX 1200 или аналогичного типа, смоченной в спирте этиловом и отжатой от его избытка. Данный контроль может также выполняться с использованием ультрафиолетового осветителя, что повышает предел чувствительности метода.

Контроль чистоты поверхности на соответствие уровню «визуально чистый (VC) + ультрафиолет» проводится с применением ультрафиолетового осветителя типа Spectronics SB-100P с длиной волны излучателя в диапазоне от 320 до 380 нм и мощностью излучателя не менее 100 Вт и основывается на способности загрязнений флуоресцировать под воздействием ультрафиолетового излучения. Контроль выполняется в темноте или при максимально возможном устранении других (кроме УФО) источников освещения.

Контроль количества механических загрязнений поверхности проводится путем снятия отпечатков контролируемой поверхности с помощью ленты с липким слоем типа «скотч» производства фирмы ЗМ. Подсчет количества снятых загрязнений проводится под микроскопом по гранулометрическому признаку. По результатам подсчета количества частиц на площади снятого отпечатка определяется количество механических загрязнений на одном квадратном метре контролируемой поверхности.

Контроль количества молекулярных загрязнений поверхности проводится гравиметрическим методом, заключающимся в выполнении контрольного смыва определенной площади контролируемой поверхности с последующим выпариванием раствора взятой пробы и взвешиванием невыпаренного остатка.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Основи матеріалознавства. Навчальний посібник. 2019 рік. Автор-упорядник: Боброва Т. Б.
2. Матеріалознавство. Конспект лекцій. А.П. Бовсуновський. Київ НУХТ 2012.
3. Матеріалознавство. Конспект лекцій. Для студентів навчального напрямку "Гірництво" / Горячева Т.В., Бабенко М.О. – Красноармійськ: КП Дон НТУ, 2011. – 91 с.
4. Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів: Навч. Посібник / Ю.С. Алексеев, О.Є. Джур, О.В. Кулик, Л.Д. Кучма, Є.Ю. Ніколенко, В.В. Хуторний / Під ред. Д-ра техн. наук Є.О. Джура. – Д.: АРТ-ПРЕС, 2007. – 480с.
5. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник/ О.Є. Джур, Л.Д. Кучма, Т.А. Манько та ін. – К. Вища освіта. 2003. – 399с.
6. Серєда Б.П. Нові матеріали в металургії. Навчальний посібник. - Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2009. - 396 с.
7. Холодний В. Ю. «Отримання отворів перфорації в стільникових конструкціях засобами струмино-лазерного впливу» Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Кременчук – 2016, 204 стор.
8. Сохач Ю. В. Голографическая дефектоскопия сотовых панелей с особо тонкими обшивками / Ю. В. Сохач, Е. А. Крылов, А. Г. Пилипенко, Н. А. Бузская. 1999. Вып. 3.