

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Рекомендовано Міністерством освіти
і науки України як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів,
які навчаються за галуззю знань
"Авіація та ракетно-космічна техніка"



Київ 2008

УДК 629.735.083 (075.8)
ББК 052–032я7
Т 433

Автори: А.П. Кудрін, Г.А. Волосович, В.В. Лубяний,
В.Д. Хижко, Г.М. Зайвенко

Рецензенти: В.Д. Кузнєцов – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри відновлення деталей машин (Національний технічний університет України „КПІ”);
Р.Г. Мнацаканов – д-р. техн. наук, проф. (Національний транспортний університет);
М.В. Кіндрачук – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри машинознавства (Національний авіаційний університет)

Т 433 **Типові технологічні процеси відновлення авіаційної техніки:** навч. посіб. / А.П. Кудрін, Г.А. Волосович, В.В. Лубяний [та ін.]. – К.: НАУ, 2008. – 243 с.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України, лист № 1.4/18-Г-103 від 15 січня 2008 року.

ISBN 978-966-598-421-4

Викладено основні відомості з типізації технологічних процесів, їх проектування та застосування під час відновлення деталей авіаційної техніки.

Розглянуто передові технології відновлення для використання їх у ремонтному виробництві.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за галуззю знань "Авіаційна та ракетно-космічна техніка".

УДК 629.735.083 (075.8)
ББК 052–032я7

ISBN 978-966-598-421-4

© А.П. Кудрін, Г.А. Волосович,
В.В. Лубяний та ін., 2008

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТИПІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АВІАРЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	7
1.1. Основи типізації технологічних процесів відновлення авіаційної техніки.....	7
1.2. Оцінювання ремонтпридатності деталі для розробки технології відновлення.....	14
1.3. Види технологічних процесів і вихідна інформація.....	18
1.4. Етапи розробки технологічних процесів.....	21
1.5. Побудова групових технологічних процесів.....	23
2. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ.....	25
2.1. Необхідність та ефективність застосування покриттів.....	25
2.2. Класифікація методів нанесення покриттів.....	28
3. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ.....	38
3.1. Типові технологічні процеси газотермічного напилювання покриттів.....	38
3.2. Класифікація методів газотермічного напилювання.....	45
3.3. Газополуменеве напилювання.....	49
3.4. Прогресивні розробки зарубіжних фірм.....	52
4. ПЛАЗМОВЕ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ.....	57
4.1. Загальна характеристика.....	57
4.2. Устаткування і матеріали.....	62
4.3. Плазмотрони.....	64
4.4. Зміст технологічного процесу нанесення покриття КХН-15 при відновленні двигуна Д-36.....	75
5. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ЗВАРЮВАННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ.....	78
5.1. Зварювання і зварюваність.....	78
5.2. Зварювальні властивості та умови зварювання сталей.....	81
5.3. Зони термічного впливу і вибір виду зварювання.....	85
5.4. Особливості застосування зварювання при відновленні авіаційної техніки.....	88
5.5. Правила виконання операцій при відновленні зварюванням.....	100
5.6. Розрахунки на міцність зварних з'єднань.....	106
5.7. Типові технологічні процеси усунення дефектів авіаційних конструкцій зварюванням.....	108

5.8. Техніка безпеки при виконанні зварювання.....	113
6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ НАПЛАВЛЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ.....	115
6.1. Автоматичне електродугове наплавлення під флюсом.....	115
6.2. Механічне наплавлення в середовищі вуглекислого газу.....	119
6.3. Автоматичне вібродугове наплавлення.....	120
6.4. Електроконтактне наплавлення.....	122
7. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПАЯННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ.....	125
8. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ.....	139
8.1. Фізичні основи отримання електролітичних покриттів.....	139
8.2. Хромування.....	142
8.2.1. Механічні властивості хрому і вплив хромування на основний метал.....	146
8.3. Цинкування і кадміювання.....	148
8.4. Нікелювання.....	150
8.5. Міднення.....	151
8.6. Оксидні покриття легких металів.....	153
9. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ПЛАНЕРА ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	156
9.1. Навантаження та пошкодженість конструктивних елементів планера.....	156
9.2. Зміст типових технологічних процесів.....	158
9.3. Відновлення конструктивних елементів планера.....	160
10. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ РЕМОНТУ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ.....	174
10.1. Типові технологічні процеси відновлення деталей та вузлів авіаційних двигунів.....	174
10.2. Відновлення лопаток.....	174
10.3. Відновлення компресора.....	183
10.4. Відновлення турбіни.....	187
10.5. Відновлення камер згорання і вихлопних пристроїв.....	193
10.6. Відновлення редукторів, приводів агрегатів та коробок приводів авіаційних двигунів.....	195
10.7. Відновлення агрегатів авіаційних двигунів.....	196
11. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ.....	199
11.1. Призначення лакофарбових покриттів.....	199

11.2. Основи технології нанесення лакофарбових покриттів.....	200
11.3. Технологічні операції при нанесенні лакофарбових покриттів.....	205
11.4. Види та характер руйнування лакофарбових покриттів.....	207
11.5. Вибір виду відновлення лакофарбових покриттів.....	209
11.6. Технологічні процеси видалення старих лакофарбових покриттів.....	210
11.7. Характеристики лакофарбових матеріалів для відновлення лакофарбових покриттів.....	214
11.8. Методи нанесення лакофарбових покриттів.....	217
11.9. Основні правила нанесення лакофарбових покриттів методами розпилювання.....	227
11.10. Дефекти покриття, що виникають при нанесенні лакофарбових покриттів.....	228
11.11. Перспективні атмосферостійкі системи лакофарбових покриттів для зовнішнього фарбування авіаційної техніки.....	230
11.12. Методи випробування лакофарбових покриттів.....	231
11.13. Технологія відновлення лакофарбових покриттів (на прикладі вертольоту Мі-8).....	234
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	240
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЗЧИК.....	242

ВСТУП

Типізація технологічних процесів – це напрям науково-технічної діяльності з розробки, створення та застосування типових технологічних процесів (ТП). Вона полягає в класифікації ТП обробки і відновлення деталей та вирішенні всіх техніко-економічних задач, що виникають у виробничому комплексі. Комплексне вирішення техніко-економічних задач здійснюється на основі всебічного вивчення ТП, включаючи розгляд плану обробки, устаткування, інструмента, режимів, участі робітника, визначення часу обробки і т.ін.

Початок систематичних вітчизняних робіт з типізації було покладено у 30-х роках минулого сторіччя. Ідея типізації була сформульована як загальна проблема; був зафіксований термін "типізація технологічних процесів".

Типізація – це обґрунтоване зведення різноманіття обраних типів конструкцій машин, устаткування, приладів технологічних процесів до невеликого числа.

Типовий технологічний процес – це ТП виготовлення групи виробів із загальними конструктивними та технологічними ознаками [18].

При розробці типових ТП застосовуються методи групової обробки [19]. Подальший розвиток цих методів дозволив застосовувати типові технологічні процеси для обробки деталей, які не мають спільних конструктивних ознак, і їх обробка здійснюється по загальним технологічним ознакам. Це дозволило застосовувати типові ТП окрім поточно-масового також у серійному виробництві, яким є авіабудування та авіаремонт. Типовий ТП у такому випадку прийнято називати груповим.

Застосування типових ТП вимагає використання найбільш сучасних технологій та високопродуктивного обладнання і сприяє застосуванню у виробництві найбільш прогресивних ТП. Їх використання спрощує розробку процесів для конкретної деталі і скорочує необхідний для цього час, а також прискорює підготовку виробництва завдяки використанню нормалізованих легкопереналагоджуваних верстатних пристосувань.

1. ТИПІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АВІАРЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

1.1. Основи типізації технологічних процесів відновлення авіаційної техніки

Типізація технологічних процесів відновлення авіаційної техніки (АТ) полягає у виборі для впровадження з усієї маси діючих процесів тих, які найбільш продуктивні і рентабельні. У машинобудуванні, у тому числі в авіаремонтному виробництві внаслідок багатонаменклатурності і конструктивних складностей кількість технологічних операцій особливо велика, типізація дозволяє скоротити їх кількість і обробляти або відновлювати споріднені деталі за типовими ТП. При цьому застосовується не спеціальне, а типове технологічне оснащення, що дозволяє знизити трудомісткість і скоротити тривалість технологічної підготовки виробництва. Типізація здійснюється шляхом узгодження документації між зацікавленими організаціями. Типізація сприяє підвищенню продуктивності праці, економії матеріальних ресурсів, зниженню собівартості продукції, а також дозволяє скоротити терміни відновлення авіаційної техніки.

Типізація технологічних процесів відновлення (ремонт) – це оптимізація існуючих ТП при ремонті аналогічних деталей авіаційних конструкцій і створення єдиного технологічного процесу. Типовими є ТП, що застосовуються для аналогічних деталей різних об'єктів АТ, наприклад, типовий технологічний процес нанесення гальванопокриттів (кадмування, цинкування, хромування і т.д.), відновлення лакофарбових покриттів, клепація і т.ін. Для типізації ТП підбираються аналогічні за конструктивно-технологічною ознакою деталі, вузли, агрегати, наприклад, кріпильні деталі, насоси, клапани, трубопроводи і т.ін.

Особливістю авіаремонтного виробництва є велика номенклатура об'єктів ремонту. Кількість деталей, вузлів і агрегатів АТ обчислюється тисячами. Вони мають свої конструктивні особливості, розміри, форму та виготовлені з різних матеріалів.

У процесі відновлення на деталях виявляються дефекти. Характер дефектів може істотно змінюватись від виробу до виробу. Також змінюється кількість деталей, що потребують відновлення. З ростом напрацювання кількість таких деталей збільшується. Потреба у відновленні деталей з одним напрацюванням не однакова: серед них

будуть деталі, придатні без відновлення, деталі з різною трудомісткістю ремонту і брак. У виробництво запускаються вироби з різним напрацюванням, тому трудомісткість відновлення змінюється у широких межах. Внаслідок цього виникає мінливість обсягу та різний характер ремонтних робіт для кожного номінально ідентичного об'єкта відновлення.

Велика кількість різноманітних технологічних процесів, що застосовуються під час ремонту АТ, вимагає значних затрат на їх проектування. До того ж, вибір оптимального варіанта ТП багато в чому визначається кваліфікацією технологів, підготовка і досвід яких неоднакові.

Розробка індивідуальних ТП у цих умовах недоцільна. Мала кількість деталей даного виду, працюючих на виробі, і несистематичність обробки не забезпечує достатнього завантаження обладнання, виправданості затрат на виготовлення спеціальних пристосувань, налагодження станка і т.п., тобто виявляються недоліки, характерні для дрібносерійного виробництва. Разом з тим, у ремонтному виробництві присутні фактори, що дозволяють перебороти несприятливий вплив відзначених обставин під час проектування технологічного процесу. До них можна віднести наявність постійних робіт (розбирання, дефектація, складання, випробування), можливість виділення загальних ознак для різних об'єктів відновлення (геометрія, метод відновлення та ін.). Вказані фактори створюють основу для типізації ТП.

Ідея типізації дає широку перспективу використання цих факторів для подолання вказаних недоліків. В основі цієї ідеї лежить міркування про те, що витрати на проектування та реалізацію ТП виправдуються тим швидше, чим більший масштаб ремонту деталей. Але так як не можливо збільшити кількість екземплярів даної деталі, потребуючих відновлення, всі деталі, що ремонтуються, розділяються на приблизно однотипні конструктивно-технологічні групи. Для кожної такої типогрупи може бути розроблений єдиний технологічний процес – типова технологія, що враховує особливості відновлення кожної деталі групи.

Типізація ТП може здійснюватися двома способами: прямим і зворотним. Прямий – це коли підбираються аналогічні деталі, вузли, агрегати і для них розробляється типовий технологічний процес, зворотний – коли за існуючим аналогічним ТП підбираються деталі, вузли, агрегати і для них розробляється типовий ТП.

Ідея типізації за об'єктом відновлення (групові методи) полягає у проектуванні загального технологічного процесу для класифікаційної групи. Класифікаційна група поєднує об'єкти ремонту, що мають конструктивну подобу і потребують загальних технологічних методів. Стосовно до цих об'єктів розробляється груповий ТП. Визначаються типове компонування устаткування й оснащення, передові прийоми роботи і засоби автоматизації. Індивідуальні відмінності об'єктів відновлення однієї класифікаційної групи підсилюються тим, що з групової технології виконуються тільки необхідні для даного об'єкта відновлення операції. Іншими словами, ТП кожного об'єкта відновлення класифікаційної групи входить у груповий ТП.

В основі групової технології лежить класифікація об'єктів відновлення за групами, об'єднаними спільністю технологічних задач і конструктивною подобою. Досить характерні випадки, коли об'єкти відновлення вимагають рішення загальних технологічних задач і не мають необхідної для групової технології конструктивної подоби. У цих випадках застосовуються ТП, типізовані за методом обробки. Можливість такої типізації обґрунтована тим, що ТП розповсюджуються на локальні елементи об'єктів ремонту. Ці елементи мають конструктивну спільність. Наприклад, між підшипником кочення і валом турбіни ГТД конструктивної подоби немає. Загальною технологічною метою може стати відновлення посадочних поверхонь цих деталей. Такі поверхні мають конструктивну подобу. Відновлення здійснюється хромуванням, що є типовим ТП. Типовими (за методами обробки) є ТП зняття і нанесення покриттів різних видів, а також клепаання, паяння, зварювання, склеювання, слюсарна обробка локальних поверхневих ушкоджень, заміна шпильок та ін.

Сутність типізації технологічних процесів при відновленні зводиться до такого (рис. 1.1):

1. Залежно від конструктивного виконання, характеру процесів експлуатаційного зношування та виду відновлювальних робіт деталі класифікуються на такі типогрупи, ТП відновлення яких спільні. При цьому носієм класифікаційної спільності є деяка реальна або штучна деталь (так звана комплексна деталь), яка включає всі істотні особливості кожної деталі групи.

2. Для кожної класифікаційної групи деталей розробляється ТП відновлення (типовий технологічний процес). Такий процес розробляється стосовно комплексної деталі, на неї ж орієнтуються

типові компоновки обладнання оснастки, передові прийоми роботи і засоби автоматизації та механізації.

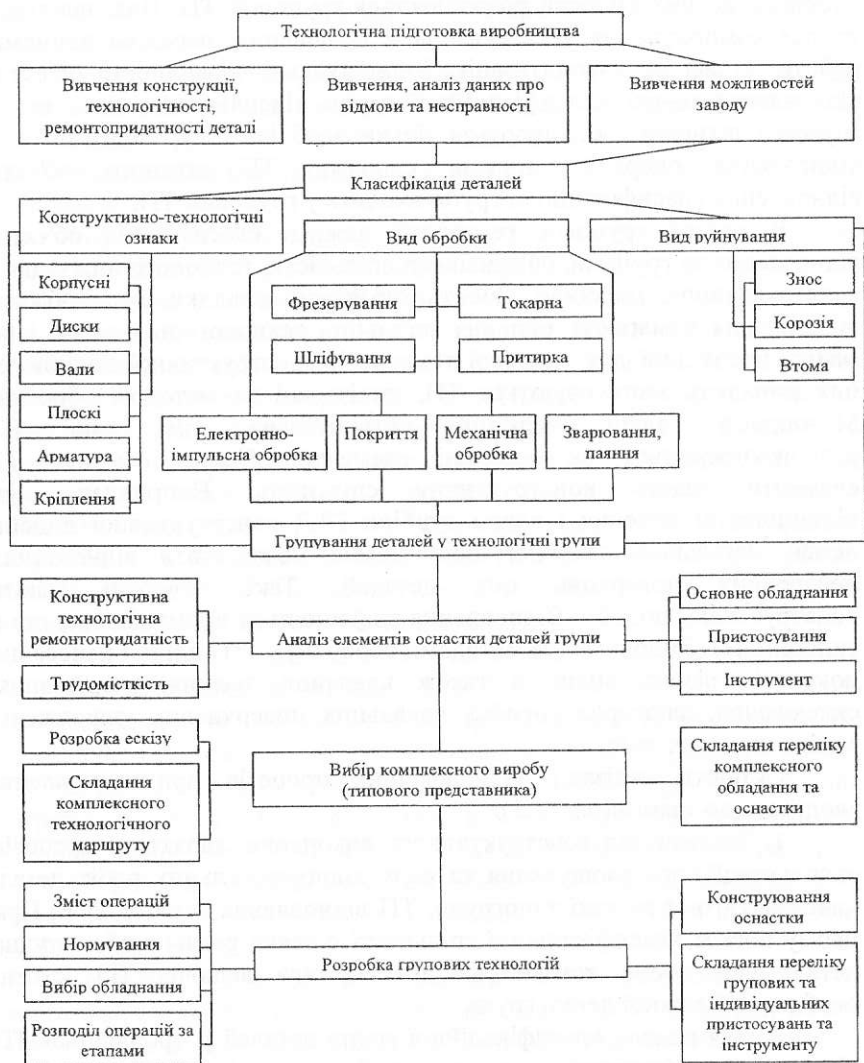


Рис. 1.1. Схема розробки типового технологічного процесу відновлення АТ

Оскільки реальні деталі відрізняються від комплексних, то при обробці кожної конкретної деталі ті або інші операції типового ТП опускаються. Головна перевага типізації ТП відновлення полягає у тому, що вони дозволяють при дрібносерійному характері відновлювальних робіт застосовувати технологічні процеси, характерні для крупносерійного виробництва. Створюється можливість висококваліфікованої розробки технологічного процесу найбільш досвідченими технологами заводів-виготовлювачів і заводів ЦА.

Групові методи обробки передбачають максимальну концентрацію операцій обробки комплексної деталі. Тому застосування високопродуктивного обладнання, спеціалізованої оснастки забезпечує завантаження верстата. Групова технологія краще піддається нормуванню, полегшує управління ходом виробничого процесу (забезпечення ритму) і знаходить все більше застосування на заводах цивільної авіації.

Проектування типового технологічного процесу ремонту проводиться в такій послідовності:

1. Вивчення схеми технологічного процесу відновлення і конструктивно-технологічного виконання об'єктів відновлення, умов їх роботи, процесів зношування, методів відновлення.

2. Класифікація об'єктів відновлення за класами і групами. Розподіл об'єктів за класами і групами здійснюється за конструктивно-технологічною спільністю. Об'єктами типізації можуть бути вузли, агрегати й окремі деталі (наприклад, насоси, повітряні гвинти, корпуси вузлів ГТД, диски, вали). У групу входять ті представники класу, що крім конструктивно-технологічної подоби, характеризуються спільністю необхідного для відновлення устаткування, оснащення, спеціального інструмента. Наприклад, група може складатися з дисків турбін різнотипних ГТД, плунжерних насосів. Для групи розробляється типовий технологічний процес (групова технологія).

3. Проектування (вибір) комплексного об'єкта відновлення, тобто умовного (реального) об'єкта, що містить у своїй конструкції всі основні елементи, характерні для виробів даної групи, є її конструктивно-технологічним представником. Розроблена для комплексного виробу типова технологія забезпечує відновлення будь-якого представника цієї групи. Після розробки комплексного об'єкта ремонту складається маршрутна технологія відновлення об'єктів

групи. Вона містить технологічну послідовність типових операцій для об'єктів, що входять у групу, а також перелік групових пристосувань і устаткування.

4. Узагальнення і використання прогресивних етапів індивідуальних технологічних процесів, передового досвіду підприємств, науково-технічних досягнень, що стосуються процесів відновлення подібних об'єктів, з метою удосконалення розроблявального групового технологічного процесу комплексного об'єкта відновлення і коригування складу використовуваних видів устаткування й оснащення.

5. Розробка групового ТП відновлення містить у собі: вибір технологічних баз, вибір структури операцій, установлення раціональної послідовності переходів у кожній операції, вибір устаткування, що забезпечує оптимальну продуктивність і високу якість відновлення, складання переліків групових і індивідуальних пристосувань, переліків спеціалізованого й універсального інструмента, вибір засобів механізації й автоматизації.

6. Коригування і випробування групового ТП.

При відновленні деталей об'єктом обробки є сама деталь чи ремонтна заготовка, що має змінені розміри, форму, властивості робочих поверхонь порівняно з придатними відповідно до технічних умов деталями. У цьому випадку проектування технологічних процесів виконується у дві стадії:

1. Вивчення ТП, вибір раціонального способу відновлення деталі і призначення необхідної послідовності операцій.

2. Розробка технології, карт ТП з науково-технічним обґрунтуванням, вибір найвигіднішого устаткування, оснащення, режимів обробки, визначення та призначення розряду робіт, норм витрат праці на виконання кожної операції (норм часу).

При виборі найбільш раціонального методу відновлення враховуються конструктивно-технологічні особливості виробу (розміри, форма, точність виготовлення, матеріал, термічна обробка), характер і розмір дефектів, виробничі можливості авіаремонтного заводу, економічна ефективність (рис. 1.2).

Послідовність виконання операцій повинна передбачати виключення впливу наступних операцій на якість поверхні, отриману при попередніх операціях, виключення порушення взаємного розташування суміжних поверхонь деталі. Тому спочатку призначаються зварювальні, термічні роботи, тобто операції, пов'язані

з пластичною деформацією, передостанніми операціями є гальванічні роботи, а лише потім – чистова механічна обробка (шліфування та полірування).



Рис. 1.2. Схема вибору матеріалу та способу відновлення

Послідовність і зміст виконання технологічних операцій, фаз, етапів та стадій технологічного процесу відновлення АТ призначають, виходячи з необхідної техніко-економічної ефективності усунення дефектів, а також прийнятої системи ремонту, виду і методу ремонту.

Технологія, що проектується, повинна включати технологічні операції безпосереднього відновлення деталей із указанням видів, способів та режимів обробки, способів базування, величин допусків, технологічних припусків, послідовності переходів, установок і т.д. Це залежить від особливостей деталей, матеріалів, способів з'єднання з іншими деталями, їх роллю в роботі вузла агрегату, системи ПС чи АД.

Послідовність (алгоритм) проектування ТП, а також розробки технологічних карт при відновленні деталей має такий вигляд:

- вибір методу відновлення;
- вибір чи призначення положення деталі, установчої бази;
- розробка маршруту обробки – операційного плану послідовності виконання операцій;
- вибір матеріалів і заміників, визначення їхніх марок;
- вибір видів та способів обробки деталей;
- визначення кількості операцій, переходів;
- розробка або уточнення ТУ, допусків на обробку;
- розрахунок найвигідніших режимів обробки;
- вибір устаткування, оснащення;
- призначення контрольних операцій, вибір способу контролю, вимірювальних засобів і режимів контролю;
- установлення розрядів роботи з кожної операції;
- визначення витрат робочого часу для кожної операції.

Після вибору методу відновлення розробляються креслення (ескізи) на відновлення виробу, приводиться конструкція його елементів. При цьому обов'язково мають бути враховані необхідні розміри, міцність та властивості поверхні виробу. Ці вимоги передбачають, що відновлений виріб мав би такі самі запаси міцності і такі самі фізико-механічні властивості поверхні, як і новий.

При визначенні розмірів відновлених деталей і з'єднань, користуються двома методами: методом конструктивної аналогії чи розрахунковим методом. При першому методі розміри та матеріали ремонтних виробів і з'єднань беруться за аналогією з подібними деталями і з'єднаннями основної конструкції, враховуючі, що вони працюють при таких же навантаженнях і умовах експлуатації. Другий метод передбачає попереднє виконання розрахунків на міцність. При цьому необхідно досить точно знати види та величини діючих навантажень, які наведені в керівництві з ремонту і альбомі основних з'єднань.

1.2. Оцінювання ремонтпридатності деталі для розробки технології відновлення

Відбір номенклатури деталей, що придатні для відновлення, та вибір найбільш раціонального методу відновлення проводиться на основі аналізу сукупності технічних, конструктивно-технологічних та техніко-економічних умов, що визначають можливість та доцільність

їх відновлення. Першочерговою задачею у вирішенні цього питання є оцінювання ремонтпридатності деталі.

Відрізняють граничний стан першого та другого видів. При досягненні граничного стану першого виду деталей може бути відновлена; при досягненні граничного стану другого виду відновлення деталі неможливе. Наприклад, відновлення технічно неможливе при неприпустимій втраті міцності в результаті незворотних явищ утомленості, старіння, міжкристалічної корозії.

Аналіз критеріїв граничного стану є першим етапом виконання досліджень з оцінки ремонтпридатності. Для деталей вузлів тертя критерієм граничного стану є граничний знос (або граничний розмір деталі) і максимально припустимий зазор у сполученні.

Граничні зноси (або розміри деталей) за допомогою технічних ознак визначають розрахунковим чи дослідним шляхом з урахуванням характеру та величини діючих на деталь навантажень, дозволеного зниження міцності, зміни умов тертя, теплової напруженості та властивостей поверхонь тертя.

Подальша оцінка ремонтпридатності проводиться сумісно з аналізом наявних методів відновлення. Відновлення працездатного стану зношених деталей може бути здійснене двома засобами:

- наданням деталі нових ремонтних розмірів;
- відновленням деталей до початкових розмірів.

У першому випадку відновлення ведеться методами механічної обробки, при яких видаляється шар металу, що визначає викривлення форми і містить пошкодження у вигляді задири, корозії та інших дефектів.

Ремонтпридатність деталей обробкою під ремонтні розміри обмежується доступністю дефектної поверхні для механічної обробки, рівнем допустимого зниження міцності, збереженням зміцненого поверхневого шару (цементованого, азотованого тощо), можливістю зміни розміру сполученої деталі. Виходячи з останніх трьох умов, призначається граничний ремонтний розмір деталі, до якого можливо її відновлювати.

Для відновлення початкових розмірів деталей найбільш широке розповсюдження набули методи нарощування зношених поверхонь наплавленням, хімічним, електролітичним та газотермічним нанесенням покриття.

Алгоритм досліджень з оцінювання ремонтпридатності деталей, який визначає можливість їх відновлення вказаними методами, ілюструє схема (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Алгоритм проведення досліджень з оцінювання ремонтпридатності деталей, які відновлюються методами нарощування зношених поверхонь

За позицією 2 оцінювання ремонтпридатності виконується на основі аналізу конструктивно-технологічних особливостей деталі (габаритні розміри, конфігурація, розташування і доступність зношених поверхонь, матеріал деталі та його обробка). Вказані фактори обмежують застосування наявних методів відновлення. Так, наприклад, не можуть бути відновлені методами газотермічного нанесення покриттів внутрішні поверхні валів малого діаметра, а також якщо твердість матеріалу деталі перевищує 60 HRC; не рекомендується застосовувати наплавлення для відновлення деталей з діаметром менше за 30 мм та деталей, які зміцнені поверхнево-пластичним деформуванням і термічною обробкою, тощо.

За позицією 3 оцінювання ремонтпридатності виявляється порівняно з величиною зносу деталі і допустимої товщини шару, який нарощується різними методами.

Умовами ремонтпридатності у цьому випадку є:

– товщина шару, що нарощується, h_n повинна перекривати величину зносу U , глибину дефектного шару h_d , що вилучається, та припуск на механічну обробку поверхні, яка відновлюється, до початкового розміру Δh (рис. 1.4):

$$h_n > U + h_d + \Delta h;$$

– зменшення розміру деталі після зняття дефектного шару не повинно призводити до недопустимого зниження міцності деталі.

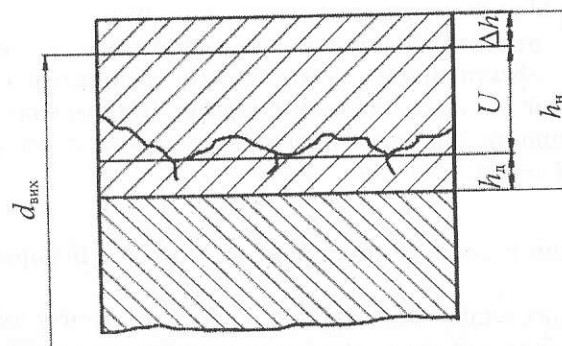


Рис. 1.4. Визначення умов ремонтпридатності

Величина зносу визначається при дефектації деталі замірюванням у місці максимальної виробки. Глибина дефектного шару може бути визначена методами неруйнівного контролю чи засобами металографічного аналізу мікрошліфів.

Припуск на механічну обробку призначається з умови можливості забезпечення заданої форми, точності та шорсткості поверхні, що відновлюється.

При оцінюванні ремонтпридатності за позицією 4 мають на увазі, що експлуатаційні властивості відновленої поверхні повинні бути не нижчі, а, по можливості, вищі за початковий, встановлений нормативно-технічною документацією, рівень, а операції з відновлення

не повинні призвести до недопустимого зниження міцності деталі. Ця умова визначається співвідношенням:

$$K = \tau_H / \tau_B \geq 1,$$

де K – коефіцієнт довговічності; τ_H – строк служби нової деталі до досягнення граничного стану; τ_B – строк служби відновленої деталі.

Деталь необхідно відновити так, щоб вона відпрацювала не менше, ніж один міжремонтний ресурс.

Оцінювання ремонтпридатності за позицією 5 пов'язана з вирішенням питання про допустимість багаторазового відновлення деталі. Ця умова враховує те, що при кожному повторному відновленні деталь зазнає все більших змін, які знижують її показники міцності (виникає втрата міцності матеріалу деталі, накопичуються пошкодження від втоми тощо).

Умова ремонтпридатності за позицією 6 визначається економічною ефективністю і можливістю відновлення деталей в заданому обсязі та у встановлений термін. Відновлення вважається доцільним, якщо питомі витрати на відновлення не перевищують 75% вартості нової деталі.

1.3. Види технологічних процесів і вихідна інформація

Для різних видів технологічних процесів ремонту виробів (тут і далі під виробом розуміють предмети ремонтного виробництва та їх складові частини – складальні одиниці, які підлягають ремонту, і деталі, які підлягають відновленню, незалежно від того, чи надходять відновлені деталі на комплектування складальних одиниць на даному підприємстві, чи є кінцевою продукцією спеціалізованого ремонтного підприємства щодо відновлення деталей), які застосовують у ремонтному виробництві, розробляються і оформляються відповідні комплекти технологічної документації, що складаються з окремих текстових та графічних документів. Склад, форма і зміст технологічних документів залежать від виду та призначення технологічного процесу і повинні відповідати вимогам стандартів та іншої нормативно-технічної документації.

Технологічні процеси за організацією виробництва розподіляються на одиничні, типові та групові.

Одиничний ТП відноситься до виробів одного найменування, типорозміру і виконання.

Типовий ТП розробляється на групи виробів із загальними конструктивними та технологічними ознаками. Для нього характерні спільність технологічного маршруту виконання операцій без переналагодження або з мінімальним переналагодженням обладнання.

Типові ТП розробляються також на операції одного виду робіт: очистки та фарбування деталей і складальних одиниць, гальванічних покриттів тощо.

Груповий ТП розробляється на відновлення групи деталей з різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками.

На ремонтних підприємствах в основному застосовують одиничні ТП ремонту виробів. Разом з тим багатонаменклатурність відновлюваних деталей і доцільність спеціалізації та концентрації виробництва з відновлення деталей викликають необхідність застосування типових і групових технологічних процесів, що підвищує серійність ремонтного виробництва, скорочує кількість оригінальних ТП, знижує обсяг технологічних розробок, створює можливість механізації виробничих процесів, що підвищує ефективність відновлення деталей.

За ступенем деталізації опису технологічні процеси розподіляються (ГОСТ 3.1109-82) на такі:

– маршрутний опис ТП – скорочений опис всіх технологічних операцій у маршрутній карті у послідовності їх виконання без указання переходів і технологічних режимів;

– операційний опис ТП – повний опис усіх технологічних операцій у послідовності їх виконання із указанням переходів і технологічних режимів;

– маршрутно-операційний опис ТП – скорочений опис технологічних операцій у маршрутній карті у послідовності їх виконання з повним описом окремих операцій в інших технологічних документах.

Вихідна інформація для розробки ТП розділяється на базову, керуючу і довідкову.

Базова інформація містить дані конструкторської документації підприємства-виробника виробів (робочі креслення, технічні умови, інструкції тощо), а також програму ремонтного підприємства по цьому виробу.

Керуюча інформація являє собою дані, які містяться:

- у технічному завданні на розробку технологічного процесу;
- у стандартах всіх категорій та нормативно-технічній документації на дефектацію деталей і спряжень, на технологічні процеси і методи керування ними, на обладнання і оснащення;
- у документації з техніки безпеки і промислової санітарії.

Номенклатура основної нормативно-технічної документації передбачає документи, до складу яких входять:

- стандарти і технічні умови на здавання в капітальний ремонт і видання з нього машин та їх складових частин, правила приймання, методи перевірки якості відремонтованих виробів, вимоги до маркування, упаковки, транспортування і зберігання, а також гарант ремонтного підприємства;

- технічні вимоги на капітальний ремонт, які встановлюють вимоги до технології розбирання, очистки, дефектації, складання, регулювання, випробування, а також вимоги, показники і норми, яким повинні задовольняти вироби після ремонту;

- норми витрати матеріалів і запасних частин;
- номенклатура деталей (складальних одиниць), відновлення яких технічно можливе і економічно доцільне.

Довідкова інформація містить дані, взяті з:

- технологічної документації ремонтних підприємств;
- опису прогресивних методів ремонту (літературні джерела, періодичні видання та ін.);
- каталогів, довідників, альбомів прогресивних засобів технологічного оснащення;
- матеріалів з вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припуску, норм витрати матеріалів тощо);
- методичних матеріалів з керування і розрахунків точності технологічних процесів;
- планування виробничих ділянок ремонтного підприємства.

До довідкової інформації та рекомендацій належать одиничні ТП з різним ступенем деталізації опису, типові процеси на окремі види робіт, які виконують під час ремонту, а також деякі групові ТП, що розробляються та видаються проектно-технологічними організаціями і містять загальні відомості, необхідні для ремонту виробу. Для конкретних підприємств такі ТП мають бути скориговані з урахуванням програми даного підприємства, наявного обладнання, оснащення, кваліфікації кадрів тощо.

1.4. Етапи розробки технологічних процесів

Дві стадії розробки робочої технологічної документації, яку передбачає ГОСТ 3.1102-81 застосовують для технологічних процесів ремонту виробів та їх складових частин:

- розробку технологічної документації для дослідного ремонту і випробування виробів або їх складових частин з присвоєнням технічній документації літери РО;

- розробку технологічної документації для серійного ремонту і випробування виробів або їх складових частин з присвоєнням технологічній документації літери РА.

Основні етапи розробки робочих технологічних процесів для дрібносерійного та серійного ремонтного виробництва і задачі кожного етапу наведені у табл. 1.1.

Після виконання першого та другого етапів розробляють ремонтне креслення деталі або схему розбирання (складання) виробу (складальної одиниці).

Таблиця 1.1

Основні етапи розробки технологічних процесів

Етапи розробки технологічних процесів	Завдання даного етапу
1. Аналіз вихідних даних для розробки технологічного процесу	Вивчення конструкторської документації на виріб, технічних вимог на дефектацію, відновлювану деталь або відремонтований вузол, агрегат. Ознайомлення з плануванням відповідної виробничої ділянки на даному ремонтному підприємстві. Підбір довідкової інформації
2. Пошук аналога діючого одиничного, типового (групового) технологічного процесу	Розгляд документації для одиничних, типових (групових) технологічних процесів, які відносяться до даного виробу
3. Складання технологічного маршруту відновлення деталі, розбирання (складання) вузла, агрегату, машини	Вибір технологічних способів, застосовуваних при відновленні деталей, визначення (уточнення) за технологічними процесами-аналогами послідовності технологічних операцій. Визначення (уточнення) складу засобів технологічного оснащення

Закінчення табл. 1.1

Етапи розробки технологічних процесів	Завдання даного етапу
4. Розробка технологічних операцій	Розробка (уточнення) послідовності переходів в операції. Вибір засобів технологічного оснащення операції (їх уточнення). Встановлення вихідних даних для розрахунків і розрахунок припусків на обробку та оптимальних режимів обробки
5. Нормування технологічного процесу	Встановлення вихідних даних, необхідних для розрахунків норм часу, та їх розрахунок. Визначення розряду робіт і обґрунтування професій виконавців для виконання операцій залежно від складності робіт
6. Розрахунок економічної ефективності варіантів технологічних процесів	Вибір оптимального варіанта робочого технологічного процесу
7. Оформлення робочих технологічних процесів	Заповнення форм технологічної документації відповідно до вимог стандартів ЄСТД і галузевої нормативно-технічної документації. Нормоконтроль технологічної документації (ГОСТ 3.1116-79). Погодження і затвердження

Внаслідок виконання третього та четвертого етапів мають бути вибрані найдоцільніші для даних умов технологічні способи, засоби і маршрути відновлення деталей, а також складені плани операцій за даними маршрутами із зазначенням дефектів, для усунення яких планується кожна операція.

У плані операцій вказують найменування операцій, спосіб встановлення деталі при виконанні операції, обладнання, пристрій, інструмент і зміст кожного переходу.

Приклад схеми ТП наведено в підрозділі 3.1.

Після розрахунку норм часу по кожній операції (етап 5) розраховують економічну ефективність варіантів робочих ТП і вибирають оптимальний варіант (етап 6).

Після кінцевого вибору та уточнення варіанта ТП оформляють відповідну технологічну документацію (етап 7), передбачену стандартами ЄСТД і галузевою нормативно-технічною документацією.

1.5. Побудова групових технологічних процесів

Відповідно до ГОСТ 14.004-74 під груповою обробкою розуміється форма організації виробництва, яка характеризується спільним виготовленням чи ремонтом групи виробів різної конфігурації на спеціалізованих робочих місцях. Метод групової обробки, розроблений проф. С. П. Митрофановим [19], є подальшим розвитком ідеї типізації технологічних процесів. При груповій обробці створюють класи заготовок за видами верстатів (оброблювані на токарських, револьверних і т.д. верстатах). Основним завданням класифікації при груповій обробці є формування груп.

Створення групових ТП в економічному та організаційному планах є найбільш бажаним. Однак, підібрати значну за номенклатурою групу таких деталей дуже важко, тому частіше використовуються схеми групової обробки.

Аналіз схем групової обробки показує різноманіття форм її організації, звідки впливає інваріантність цілей і ознак класифікації деталей. При груповому методі обробки класифікація всієї номенклатури деталей цеху чи ділянки – не однократний, а багаторазовий процес: комплектуються групи за видами операцій (токарська, револьверна, зуборізальна і т.ін.). Більшість деталей для виготовлення повинна проходити кілька операцій, і тому кожна з них увійде не в одну, а в кілька груп. Такі групи виходять укрупненими. Для можливості обробки деталей групи при одному налагодженні укрупнену групу розділяють на групи за типорозмірами верстатів, за методами установки заготовок і типами пристосувань, за точністю і якістю поверхонь.

Після уточнення складу групи створюють її представника – комплексну деталь. Вона створюється шляхом додавання на кресленні самої складної деталі поверхонь, що мається на інших деталях групи.

Наступним кроком є проектування, стосовно до комплексної деталі, групового ТП або групових операцій. Для кожної операції встановлюють послідовність і зміст переходів, вибирають устаткування. Груповий технологічний процес, послідовність операцій у ньому і послідовність переходів у групових операціях мають бути такими, щоб за ними можна було обробляти будь-яку деталь групи без значних відхилень від загальної технологічної схеми.

Метод групової обробки передбачає обов'язкове використання способу автоматичного одержання заданих розмірів. Тому для кожної

операції розробляють схему групового налагодження верстата. Налаштування верстата, здійснене для комплексної заготовки, дає можливість без серйозного переналагодження обробляти будь-яку деталь групи. Допускається незначне підналагодження верстата, яке, однак, повинно виконуватися з мінімальною витратою часу (заміна свердлів, перестановка лінійних і діаметральних упорів, заміна змінних деталей групового пристосування).

Наступний етап – проектування і виготовлення групового оснащення – пристосувань та інструментів. В окремих випадках передбачається часткова чи повна модернізація верстата.

Розглянемо тепер питання про джерела ефективності групового методу обробки деталей. Як і при типізації ТП, при використанні групового методу скорочуються витрати праці на проектування ТП і оснащення, скорочуючи витрати засобів на виготовлення спеціального оснащення, прискорюється процес підготовки виробництва та освоєння нового об'єкта. Але при груповому методі, крім того, забезпечується значне скорочення витрат часу на виготовлення деталей, тобто забезпечується значне зростання продуктивності праці робітників.

Розподіл об'єктів по класах здійснюється за конструктивно-технологічною спільністю. У групу поєднуються ті представники класу, що крім конструктивно-технологічної подібності, характеризуються спільністю необхідного для ремонту устаткування, оснащення і спеціального інструмента. Для групи вибирається типовий технологічний процес.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення типізації технологічних процесів відновлення АТ.
2. Назвіть способи здійснення типізації ТП.
3. Поясніть сутність типізації ТП при відновленні АТ.
4. Яка послідовність проектування ТПП?
5. Якими способами здійснюється відновлення працездатності зношених деталей?
6. Назвіть основні етапи розробки ТПП.

2. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

2.1. Необхідність та ефективність застосування покриттів

Ремонтне виробництво характерне наявністю великої різноманітності і специфічності технологічних процесів, що використовуються на етапах і фазах загального ТП відновлення: розбирання, промивання і очищення, видалення та нанесення ЛФП, дефектації, відновлення, складання, випробування та ін. Аналіз роботи авіаремонтних виробництв [11] показує, що невирішені проблеми є на всіх етапах ТП відновлення АТ. Найбільшу увагу заслуговує об'єктивне визначення технічного стану, очищення деталей та впровадження прогресивних технологій відновлення.

Відновлення деталей – один з основних елементів, що визначають конкурентоспроможність авіаремонтних підприємств. Застосування сертифікованих методів та технологій дозволяє істотно знижувати вартість відновлення при одночасному підвищенні надійності та термінів служби відремонтованих виробів.

Вважають, що несправності та дефекти АТ пов'язані в основному з трьома фізичними процесами: зношенням, корозією та розвитком пошкоджень втомлюваності. Ускладнення умов експлуатації (високі швидкості, температури, агресивні середовища) призвели до того, що вказані процеси розвиваються не автономно, а у взаємозв'язку один з одним. Щоб встановити причину відмови, необхідно шукати домінуючий, провідний вид пошкодження в комплексі їх поєднань.

Одним з найнебезпечніших та швидкоплинних процесів, що призводять до втрати працездатності виробів, є зношення. Зношення деталей у 80% (та більше) випадків визначає недостатньо високий ресурс. Труднощі боротьби з цим процесом пов'язані з його багатогранністю та недосконалим вивченням.

Зносостійкість та корозійна стійкість відносяться до категорії поверхневих властивостей матеріалів та виробів, а тріщини втомленості при циклічному навантаженні зароджуються, як правило, в їх поверхневих шарах. Удосконалення та широке застосування методів поверхневого зміцнення – ефективний технологічний засіб підвищення надійності машин та механізмів різноманітного призначення.

Проблема нанесення поверхнево-зміцнюючих покриттів на робочі поверхні трибоспряджень в останні десятиріччя вирішується

досить інтенсивно: накопичений позитивний досвід швидкісної хіміко-термічної обробки деталей, наплавлення композиційних твердих сплавів, газотермічного напилення матеріалів складного сполучення, обробки поверхонь деталей висококонцентрованими джерелами теплової енергії і т.ін. Економічна ефективність широкого впровадження покриттів пов'язана з тим, що покриття, складаючи тисячні долі об'єму деталей, дозволяють збільшити термін їх технічної служби в декілька разів.

Реалізація різноманітних технологічних методів нанесення покриттів зводиться до створення необхідної працездатності шарів на базі легуючих компонентів лише на робочій поверхні деталей. Економія дорогих компонентів, витрата яких визначається тільки розмірами поверхневих шарів деталі, лежить в основі ефективності використання зносостійких покриттів. Поряд з цим встановлено, що в тонких поверхневих шарах є можливість досягнути високого рівня фізико-механічних властивостей матеріалів, практично недосяжного в об'ємі деталі. Перевагою технологій, що розглядаються, служить можливість використання їх як при виготовленні виробів із необхідними якістьми поверхонь, так і при відновленні зношених деталей. Ця особливість дозволяє застосовувати такі методи не тільки в умовах великих авіаційних заводів та авіаремонтних заводів ЦА.

Пріоритетним напрямком у технологічних процесах поверхневого зміцнення деталей є комплексні методи, що передбачають як послідовне, так і одночасне використання двох і більшої кількості методів. Представниками таких технологій слід вважати: газотермічне напилення з подальшою лазерною обробкою; поверхневу механотермічну обробку; електромагнітне наплавлення з одночасним поверхневим пластичним деформуванням. Використання цих методів значно збільшує міцність зчеплення покриття з основою, зменшує пористість покриттів, підвищує їх якість та працездатність в різних умовах експлуатації.

Актуальними є роботи щодо заміни легованих високоміцних сталей титановими сплавами. Висока питома міцність, корозійна стійкість, технологічність титанових сплавів дозволяє широко використовувати їх у цивільній авіації. Але титанові сплави внаслідок невисокої твердості та високої здатності до схоплення при терті мають порівняно низьку зносостійкість, що стримує їх використання.

Серед різних методів захисту конструкційних матеріалів, які працюють при температурах 850...1200° С, особливе значення мають

температуростійкі покриття. У багатьох випадках ці покриття працюють в умовах одночасної дії високих температур, навантаження та агресивних середовищ. Такі покриття призначаються для:

- 1) захисту конструкційних матеріалів від газової корозії;
- 2) теплоізолюючого бар'єру між нагрітим до високих температур газом та металом;
- 3) захисту деталей від механічного зносу в умовах підвищених та високих температур.

Практика показала, що хімічне руйнування температуростійких покриттів має локальний характер. Руйнування починається на технологічних дефектах у шарі покриття. Такими дефектами можуть бути пори, пухирі, тріщини та ін. У цьому випадку одним із шляхів вирішення даної проблеми є використання пакетних покриттів, які складаються з двох, трьох і більшої кількості тонких шарів різної природи. Такі покриття є високоефективними в складних умовах експлуатації.

Вже сьогодні визначені пріоритетні напрямки, що передбачають реалізацію досягнень сучасної науки нанесення покриттів на деталі авіаційної техніки. До них відносяться:

- вибір і освоєння новітніх технологічних методів напилення матеріалів, номенклатури деталей;
- розробка матеріалів і методів нанесення зносостійких покриттів на титанові сплави;
- розробка багатошарових зносостійких і корозійностійких покриттів;
- розробка матеріалів для газотермічного напилення з різним типом зміцнення для захисту від корозії відновлених зношених деталей.

Для виконання цих завдань необхідно:

- дослідити структуру і фізико-механічні характеристики покриттів, нанесених на титанові сплави. Провести порівняльну оцінку їх триботехнічних характеристик в умовах граничного тертя і розробити рекомендації щодо їх застосування для конкретних вузлів авіаційної техніки;
- провести порівняльну оцінку фізико-механічних характеристик покриттів;
- розробити матеріали для газотермічного напилення, що забезпечують високу корозійну стійкість і зносостійкість деталей, що працюють в умовах фреттинг-корозії;

– провести порівняльні дослідження структурних і фізико-механічних характеристик найбільш перспективних матеріалів, нанесених різними методами газотермічного напилення і розробити технологію їх нанесення на авіаційні деталі.

У завдання впровадження методів нанесення зносостійких покриттів входить також створення сертифікованих технологічних процесів на основі їх типізації.

2.2. Класифікація методів нанесення покриттів

Основною класифікаційною ознакою для нанесення покриттів слід вважати вид технологічного процесу.

Одна з можливих класифікацій методів нанесення покриттів:

1. Дифузійне нанесення покриттів. Дифузійне насичування, термодифузійний метод, хіміко-термічна обробка:

- із газової фази;
- рідкої фази;
- твердої фази.

2. Наплавлення:

- газополуменеве наплавлення; полуменеве наплавлення;
- плазмове наплавлення; дугове плазмове наплавлення; плазмово-дугове наплавлення;
- електродугове наплавлення;
- електроіскрове наплавлення;
- електрошлакове наплавлення.

3. Напилення:

- газотермічне напилення;
- газотермічне нанесення покриттів;
- газополуменеве напилення;
- детонаційне напилення;
- плазмове напилення;
- нанесення покриттів дротиками, що вибухають;
- плазмохімічне напилення покриттів;
- розпилення розплавів.

4. Індукційне наплавлення. Оплавлення:

- лазерне оплавлення;
- плазмове оплавлення;
- радіаційне оплавлення;

– електронно-променеве оплавлення.

5. Осаджування з газової або парової фази. Вакуумна металізація, осадування з парової фази.

- іонна імплантація; іонне легування;
- фізичне осадування з парової фази; вакуумне випаровування, конденсація парів, парофазний метод;
- іонно-плазмове випаровування; іонне розпилення, іонно-плазмове розпилення, катодне розпилення;
- індукційне випаровування;
- випаровування пропусканням електричного струму; омічне випаровування;
- електронно-променеве випаровування;
- хімічне осадування з парової фази;
- газофазне осадування; термохімічне осадування;
- реактивне випаровування; реактивне розпилення;
- іонно-плазмове реактивне випаровування; катодне реактивне випаровування.

6. Осадування з розчинів. Рідинне хімічне нанесення покриттів, осадування з рідкої фази, хімічне нанесення покриттів.

7. Плакування.

- вибухове плакування;
- плакування прокаткою.

8. Занурювання. Гаряча металізація, гаряче занурювання, металізація занурюванням в розплав.

9. Припікання.

- напікання компактних тіл;
- напікання порошків;
- шлікерний метод.

10. Електрохімічне нанесення покриттів. Електроосадування.

- оксидування; анодування;
- одержання КЕП (композиційних електролітичних покриттів).

11. Комбіновані методи.

Дифузійні покриття – це хіміко-термічна обробка матеріалів або дифузійне напилення поверхонь у газових та рідких середовищах (часто в розплавах солей) і засипках.

Для дифузійного напилення необхідні умови отримання активних атомів насичувальних елементів. Необхідно щоб ці атоми успішно поглиналися поверхнею, адсорбувалися на поверхні, проникали всередину кристалічної ґратки поверхневих шарів.

Отримувати активні атоми насичувальних елементів можна з твердих, рідких та газоподібних речовин. Звідси й визначення процесів дифузійного насичення як твердо-, рідко- та газофазних. Виділення активних атомів проходить або в результаті термічного розпаду хімічних сполук, або в результаті електролізу розплавів солей, або випаровуванням насичувального елемента. Поверхню деталі перед хіміко-термічною обробкою ретельно очищують та обезжирюють: таким чином створюються умови для поглинання його атомів. Для того, щоб атоми насичувального елемента могли проникнути у кристалічну ґратку поверхневих шарів деталі, необхідне поєднання двох важливих факторів – температури та часу. Підвищена температура сприяє збільшенню рухомості активних атомів, викликає необхідні для процесу насичення структурні зміни в поверхневих шарах. Збільшення часу обробки обумовлює розвиток процесу насичення, більшу глибину насиченого шару.

Залежно від природи сплаву насичувального елемента, мети обробки, бажаних властивостей покриття температура та час дифузійного насичення коливаються в широких межах. Температура може змінюватися від 300 до 1500°C, час – від секунд до десятків годин. Температура процесу дифузійного насичення суттєво впливає на глибину, хімічний та фазовий склад поверхневого шару. Для більш глибоких дифузійних шарів температура підтримується на верхній допустимій для даного процесу межі.

Справа у тім, що, нагріваючи виріб, який оброблюється, слід враховувати не тільки процеси, які проходять у поверхневих шарах, але й пам'ятати про можливі негативні наслідки, які може мати нагрівання нижчих шарів. Глибина насиченого дифузійного поверхневого шару при заданій температурі головним чином залежить від часу протікання процесу. Протягом багатьох років велика тривалість процесу дифузійного насичення стримувала поширення цього виду обробки.

Найдавніший вид хіміко-термічної обробки – *цементация* – насичення поверхні деталі атомами вуглецю.

У результаті насичення у поверхневих шарах деталей утворюються зони, збагачені вуглецем. Глибина цих зон залежно від бажаних результатів коливається в широких межах (0,1...2,5 мм). Таким чином, поверхневі шари деталі – це ніби покриття з високовуглецевої сталі, а серцевина виробу – незаймана маловуглецева сталь. Такий розподіл вуглецю в поверхневих шарах та об'ємі виробу

приводить до поєднання властивостей: з одного боку, зносостійка поверхня, з іншого – в'язка серцевина, що добре опирається циклічним навантаженням.

Поряд з цементациєю стоїть *азотування* конструкційних, інструментальних, корозійностійких та жароміцних сталей і сплавів. Воно проводиться при температурі 500–600° С, насичувальне середовище – аміак. Порівняно невисока температура цього виду обробки має свої плюси та мінуси. З одного боку, чим нижча температура, тим менша небезпека температурних деформацій та короблення деталей, з іншого – більша тривалість процесу. Технологія азотування інтенсивно вдосконалюється. Щоб підвищити якість та покращити властивості азотованого шару, а також скоротити тривалість процесу насичення, все частіше застосовується азотування у слабких та сильних електростатичних полях (так звані анодні та катодні процеси). Азотування на відміну від цементациї підвищує зносостійкість та корозійну стійкість поверхонь, що оброблюються. Область застосування азотування – різальний та штампувальний інструмент, зубчаті колеса, деталі турбін, клапани двигунів.

Низькотемпературна нітроцементация – процес одночасного насичення поверхні деталі азотом та вуглецем при температурі 500...600° С. Поряд з високою зносостійкістю (у 2–3 рази вище, ніж у необроблених) нітроцементовані деталі набувають опору задиру, у них підвищується оброблюваність.

Дифузійне насичення поверхонь деталей сполуками бора (*борування*) призначене для підвищення зносостійкості деталей, які працюють у широкому інтервалі температур.

Часто процес борування поєднують з насиченням іншими елементами. В результаті поряд із зносостійкістю деталей набуває ряд інших цінних властивостей. Приклади тому – *бороалітування* (насичення бором та алюмінієм) і *боросиліціювання* (насичення бором та кремнієм), у результаті яких поверхня, що оброблюється, стає зносо- та кислотностійкою.

Один з найбільш універсальних методів дифузійного насичення, який дозволяє підвищити жаро-, зносо-, корозійно- та кавітаційну стійкість деталей та інструментів у машинобудуванні, приладобудуванні, хімічній та інших галузях промисловості – це *дифузійне хромування*. Поряд з наведеними властивостями хромований шар високопластичний, міцно зв'язаний з основою. Хромовані деталі можна термічно обробляти, полірувати, зварювати, спаювати, а

хромовані заготовки піддавати холодній та гарячій деформації. По суті, хромування вуглецевих сталей заміняє легування, що суттєво знижує витрати на дорогий та дефіцитний матеріал добавок.

Технологічні різновиди дифузійного хромування відрізняються великою різноманітністю насичуючих середовищ. Відомі процеси насичення у порошкових сумішах, у пастах, у рідкій фазі, у газовому середовищі. Кожний різновид має свої галузі раціонального використання. Хромування впевнено завоювало найважливіші рубежі хіміко-термічної обробки. Спеціалісти стверджують, що дифузійне хромування щорічно забезпечує економічний ефект у народному господарстві у декілька мільйонів гривень.

Наплавлення охоплює методи, при яких за рахунок тепла зовнішнього джерела на деяку глибину (іноді до міліметра) розплавляється поверхня оброблюваного матеріалу або заготовки, а також нанесений матеріал, після чого виникає їх контакт і взаємодія з виникненням зв'язків. Джерелами тепла при цьому можуть бути полум'я, електрична дуга, плазма, іскровий розряд. При електрошлаковому наплавленні струм від електрода проходить через розплавлений шлак, а покриття формується охолодженням. На відміну від плазмового напилення при плазмовому наплавленні деталь знаходиться під струмом, а робочий потік створюється двома дугами – плазмотрона і тої, що переходить на деталь (катод-виріб). У цьому методі використовується три газових потоки: плазмостворюючий (завичай аргон), транспортуючий (аргон, суміш аргону з воднем) і коаксіальний захисний (аргон, азот та ін).

Напилення включає методи, при яких нанесений матеріал оплавляється (розплавляється) в спеціальному апараті, розпилюється і транспортується до деталі або заготовки потоком газу. При цьому краплі (частинки) металу мають досить високу кінетичну енергію. Специфічним у цьому відношенні є детонаційне нанесення покриттів, при якому порошок матеріалу транспортується до поверхні деталі за рахунок енергії ударної хвилі, що формується в детонаційній гарматі. Тепло, що забезпечує міцне щеплення матеріалу покриття з поверхню, збільшується під час удару частинками металу об поверхню деталі. Це дозволяє використовувати нанесення тугоплавких металів.

Нанесення покриттів оплавленням охоплює методи, при яких на поверхню металу деталі або заготовки сухим або "мокрим" методом наносять матеріал покриття, який потім розплавляють зовнішнім

джерелом тепла. Зараз джерела нагрівання забезпечують можливість нанесення любих тугоплавких матеріалів.

Під осаджуванням покриттів з газової і парової фази розуміють всю спільність методів формування покриттів з газів або парів, що реалізуються як при атмосферному тиску, так і у вакуумі з протіканням хімічних реакцій або без них. У всіх класифікаціях під фізичними методами формування покриттів з парогазової фази (у зарубіжній літературі – PVD) мають на увазі ті, які реалізуються у вакуумі при порівняно невисоких температурах з хімічною або без хімічної взаємодії парового середовища з підложкою, а під хімічним (у зарубіжній літературі – CVD) – ті, при яких у попередньо підготовленій парогазовій реакційній суміші протікають хімічні реакції, що призводять до формування покриття.

Іонна імплантація – це бомбардування поверхні матеріалу або заготовки іонами з енергією порядку 10 еВ, що призводить до зміни структури поверхневого шару (в ряді випадків) і його хімічного складу і, таким чином, до формування шару зміненого матеріалу, покриття.

Методи іонно-плазмової обробки широко використовуються для зміцнення поверхонь та підвищення зносостійкості відповідальних деталей, що працюють в умовах зношення. Вона здійснюється у вакуумних установках. Метал у вакуумі послідовно перетворюють у газ, пар, іонізований пар та плазму, а потім осаджують в атмосфері нейтрального газу у виді конденсату на поверхню, яку необхідно зміцнити. Покриття отримують термічним випаровуванням, катодним або іонно-плазмовим розпиленням, бомбардуванням поверхні іонами речовини, яка осаджується. Робочим газом служить азот або вуглеводень.

Безпосередній попередник іонно-плазмових методів нанесення покриття – термічне напилення у вакуумі, яке використовується для створення декоративних покриттів.

Технологічні можливості вакуумно-плазмового напилення обумовлюються можливістю керувати структурою та властивостями покриттів підбором оптимальної величини енергії, різноманітністю матеріалів та складом газів. Висока енергія сприяє ефективності протікання плазмохімічних процесів отримання складних речовин при змішуванні плазмових потоків зносостійких нітридів, карбідів, окислів і т.д. Це дозволяє отримати на виробіках поверхневі шари з високими експлуатаційними характеристиками в умовах тертя та зношення.

Якщо як газоподібні суміші використовують бензол, хлорид титану, аргон та водень, – то в результаті термічного випаровування та хімічного осадження отримують шари із хлориду титану. Експериментально встановлено, що найбільшу зносостійкість має шар товщиною 4...8 мкм. Високоєфективні одношарові та двошарові покриття з TiN чи TiC, що осаджуються з газової фази при температурі 800...1000°C. Наприклад, в результаті хромування твердість покриття складає HV 1200, а покриття з карбіду титану має твердість HV 2000, а твердість двошарового покриття зі сполуки титану досягає вже HV 3000. Дуже важливо, що ці покриття наносяться на деталі з твердих сплавів, вуглецевої та легваної сталі, сплавів на основі кобальту, нержавіючої сталі і т.д.

Сьогодні у вітчизняній та закордонній практиці підвищення зносостійкості високо-навантажених вузлів використовується метод *іонного (катодного) розпилення*. Система розпилення складається з двох електродів, розміщених у вакуумній камері. Мішень розміщується на катоді. У вакуумну камеру безпосередньо після створення граничнодопустимого розрідження нагнітають робочий газ (частіше всього аргон). Потім на електрод з деталями подають від'ємний потенціал і відхищають їх, бомбардуючи іонами. Від'ємний потенціал прикладається до мішені для її розпилення. В свою чергу, розпилені часточки, електризуючись через плазму, осаджуються на поверхні деталі, утворюючи покриття. Якщо робоче середовище азот або кисень, то при розпиленні металів на поверхні деталей утворюються покриття з оксидів, нітридів і т.д. Описана схема є універсальною.

Висока швидкість термічного напилення та достатня адгезія покриття, отриманих іонним розпиленням, дозволили розробити схеми *іонно-термічного напилення*. Випаровуючись різними методами, матеріал іонізується плазмою в середовищі інертного газу та прискорюється від'ємним потенціалом і рухається в напрямку деталей. Для випаровування використовується електронно-променевий та лазерний нагрів. За допомогою цих висококонцентрованих джерел теплової енергії легко розпилюють тугоплавкі матеріали, отримують особливо чисті, без будь-яких забруднень, зносостійкі покриття.

Іонно-плазмове насичення поверхні різними елементами при бомбардуванні її іонами. Метод знаходить застосування для захисту поверхні деталей, які працюють в умовах зношення чи впливу корозійно-активних середовищ. Іонне легування ділиться на іонне

насичення та іонне занесення. У першому випадку глибина шару, насиченого легуючими елементами 200–300 мкм. У другому – іони заносяться в матеріал деталі та залишаються в кристалічній ґратці.

Іонне насичення – основа широко відомого процесу іонного азотування інструменту.

Методи *іонно-плазмової* обробки збільшують довговічність деталей, мають невеликі витрати легуючих матеріалів, незначна товщина покриття виключає подальшу механічну обробку, а також практично повна відсутність екологічних проблем, гігієнічність та комфорт виробництва. Проте іонно-плазмова обробка не є універсальним засобом підвищення зносостійкості.

Під фізичним осаджуванням з парової фази розуміють методи, що використовують різні способи нагрівання або іншої дії при переведенні речовини в пар з подальшим осаджуванням (конденсацією) на підложці без хімічної взаємодії з нею або хімічних реакцій у паровій фазі. Випаровування може відбуватися пропусканням струму, індукційним підігрівом, лазером, електронним променем, різноманітними засобами іонно-плазмової дії.

Під хімічним осаджуванням з парогазової фази розуміють методи, аналогічні описаним вище, при яких протікають хімічні реакції у паровій фазі або на поверхні деталі. Реакції можуть проходити і в суміші газоподібних речовин, що вводяться в робочу камеру.

Осаджування покриттів з розчинів охоплює методи, що засновані на хімічних реакціях матеріалів деталей або заготовок з водними розчинами солей або інших з'єднань, причому ці реакції протікають без електричного струму. Так наносять металічні покриття, наприклад, нікелеві; неметалічні, наприклад, кисень, фосфор; комбіновані, наприклад, відомі Ni-P покриття.

Плакування – це з'єднання двох або більше твердих матеріалів за рахунок механічних дій: вибуху, прокатки, екструзії.

Нанесення покриттів зануренням – це утворення на матеріалі деталі або заготовки металічного або неметалічного шару при зануренні в розплав металу або неметалу, наприклад, скла, але не солей (цей метод відноситься до хіміко-термічної обробки). Наприклад, проводять так звану металізацію.

Трипінання – це утворення зв'язку між матеріалом, що наноситься, і матеріалом деталі за рахунок процесів, що протікають, як правило, при твердофазному спіканні в порошковій металургії. При

цьому матеріал, що наноситься, може бути у вигляді порошку, пасти або твердому консолідованому вигляді, а теплота, що необхідна для прип'якання, отримується будь-яким способом, включаючи екзотермічні реакції горіння гетерогенних сумішей (СВЧ-метод).

Електрохімічне нанесення покриттів охоплює всі методи, що реалізуються у водних розчинах або суспензіях з прикладанням електричного струму, наприклад, гальванічні та електрофоретичні методи формування шарів, включаючи композиційні (так звані КЕП).

Електрохімічні (гальванічні) покриття широко розповсюджені як засіб захисту від корозії та покращення зовнішнього вигляду виробів, але основне їх застосування у вузлах контактної взаємодії для їх відновлення і підвищення зносостійкості.

При зносостійкому *хромуванні* покриття товщиною 0,1...1 мм наноситься безпосередньо на сталю поверхню. Стальна поверхня попередньо ретельно оброблюється, обезжирюється, промивається та протравлюється у слабкому розчині кислот. У результаті перед нанесенням хромового покриття поверхня має мінімальну висоту мікронерівностей, очищена від забруднень та окисних плівок. Товщину та властивості хромового покриття вибирають залежно від умов експлуатації деталей. Найбільша ефективність досягається при пористому хромуванні. В порах та каналах затримується змащувальний матеріал.

Електролітичні покриття ефективні не лише на сталених, але й на алюмінієвих деталях. Але для підвищення зносостійкості деталей із алюмінієвих сплавів найбільш широко використовується процес глибокого чи *твердого анодування*. Поряд із зносостійкістю товста оксидна плівка, сформована електрохімічним способом, має добрі електро- та теплоізоляційні властивості. Це дозволяє застосовувати деталі в умовах зношування при підвищених температурах. Висока зносостійкість оксидних плівок дозволяє використовувати алюміній та його сплави замість важких металів (у першу чергу сталей). Поряд з хромуванням тверде анодування використовується при відновленні деталей із алюмінію та його сплавів у процесі ремонту. Цей вид обробки застосовується для підвищення довговічності гідравлічних та пневматичних циліндрів і поршнів, лопаток газових турбін.

Електрохімічні нікелєві покриття мають меншу твердість, ніж хромові, порівняно легко оброблюються, у них підвищена в'язкість до товщини 2 мм. При підготовці поверхні деталі під нікелювання її ретельно шліфують чи полірують, знежирюють, промивають, травлять

у слабкому розчині кислот та сушать. Нікелювання застосовується для поршнів гідравлічних машин, напрямних втулок, при ремонті нерухомих посадок та деталей приладів.

Отримало поширення *електроіскрове* легування та відновлення поверхонь деталей машин. Спосіб важливий тим, що не потребує складного дорогого обладнання. При електроіскровому відновленні з використанням ферохрому довговічність вузлів тертя зростає у 10–14 разів. Відомі різновиди способу, наприклад, наплавлення пучком електродів, які обертаються, – *мікронаплавлення*. Застосовується *електроімпульсний* спосіб утворення тонких шарів металу (при вібрації електроду з періодичним замиканням на деталі).

Щорічно з'являються нові технологічні різновиди раніше відомих способів нанесення зносостійких покриттів, удосконалюючи склад електролітів для нанесення гальванічних покриттів, використовуючи нові джерела енергії та прогресивне високоавтоматизоване обладнання для дифузійного насичення, розроблюються нові схеми наплавлення та напилення.

Але необхідно мати спеціальний банк інформації, в якому, поряд з технологічними можливостями та особливостями різних методів нанесення зносостійких покриттів, містились би дані про області раціонального використання кожного методу. Тоді, знаючи умови експлуатації конкретної деталі, показники її ресурсу, величину допустимого зношення, ряд економічних даних, можна було б оптимізувати і вибір технології нанесення покриття, і сам технологічний процес.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Поясніть основні причини, що викликають несправності та дефекти АТ.
2. Назвіть пріоритетні напрямки відновлення деталей АТ.
3. Наведіть можливу класифікацію методів нанесення покриттів.
4. Дайте стисло характеристику основних методів нанесення покриттів.

3. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ

3.1. Типові технологічні процеси газотермічного напилювання покриттів

Відповідно до ГОСТ 28076-89 «Газотермічне напилювання. Терміни і визначення» під газотермічним напилюванням варто розуміти одержання покриттів з нагрітих і прискорених із застосуванням високотемпературного газового струменя часток матеріалу, що напиляються, при зіткненні яких з основою або напилюваним матеріалом відбувається їх з'єднання за рахунок металургійної взаємодії і механічного зчеплення. При використанні контактного матеріалу його дроблення на частки (розпилення) відбувається безпосередньо в процесі газотермічного напилювання.

Доцільним і ефективним є широке застосування відновлення деталей авіаційної техніки з використанням покриттів, нанесених методами газотермічного напилення (плазмового, детонаційного, газополуменового), які характеризуються високою продуктивністю, універсальністю, невисокою температурою нагрівання деталі, значною товщиною покриттів, можливістю повторного відновлення зношених деталей, завдяки чому відпадає необхідність заміни деталей на нові. При використанні технології газотермічного напилення собівартість відновлених деталей, як правило, не перевищує 10% собівартості нових деталей.

Загальна собівартість багаторазово відновлених деталей, зазвичай, не перевищує 75% собівартості нових; витрати матеріалів на відновлення у 15...20 разів нижчі; капіталовкладення в організацію такого виробництва у 10...15 разів нижчі.

За даними закордонної преси, немає ні одного літака або космічного апарату, в якому б не використовувалися захисні покриття, отримані методом напилення, а на деяких авіаційних фірмах напиленню підлягає більше 1200 видів продукції. Покриття наносять в першу чергу на найбільш відповідальні деталі, що несуть високі механічні і теплові навантаження: лопатки газових турбін і компресорів, сопла РРД ТРД, камери згоряння, передні кромки конструкцій літальних апаратів і т.ін.

Газотермічне напилення дозволяє одержувати покриття з високими фізико-механічними властивостями, коли ресурс відновленої

деталі збільшується у 1,5...2 рази. Таку технологію слід розглядати як зміцнюючу і її застосування доцільно не тільки для відновлення зношених деталей, але і для зміцнення нових. Індустріально розвинені країни Європи та США в основному використовують газотермічне напилення для зміцнення поверхонь нових деталей (особливо в авіації та космонавтиці). Особливо це актуально при створенні машин з високим ресурсом роботи без капітального ремонту.

Перелік і послідовність основних організаційних заходів при впровадженні технології відновлення деталей АТ газотермічним напилюванням (ГТН) можна розбити на 4 етапи.

На першому етапі зважається питання економічної ефективності використання ГТН для відновлення зношених деталей. В економічному розрахунку необхідно врахувати:

- номенклатуру і кількість деталей, відбракованих через знос і які допускаються на відновлення методами ГТН;
- техніко-економічні показники методів ГТН;
- витрати на придбання, налагодження й освоєння устаткування, навчання персоналу.

Найбільш важливим питанням є відсутність номенклатури і кількості деталей, які можна відновити методами ГТН. Перший етап завершується вибором матеріалів покриттів, способів ГТН і розрахунком їхніх економічних показників. Прийнятним варто вважати варіант, що забезпечує собівартість відновленої деталі не більше ніж 75% від собівартості нової.

Другий етап включає випробування обраної технології ГТН у лабораторних умовах і на стендах за участю заводу-виготовлювача. На цьому етапі важливу роль відіграє участь НДІ і галузевих лабораторій у проведених дослідженнях.

Третій етап – створення ділянки ГТН на АРЗ ЦА. Він включає розробку технічного завдання на проект ділянки для ГТН і його узгодження з санітарно-епідеміологічною станцією, підготовка виробничих площ, забезпечення устаткуванням і матеріалами, допоміжним оснащенням, навчання персоналу, проведення пусково-налагоджувальних робіт, підготовка нормативної і технологічної документації. На цьому етапі значно допомагає участь галузевих науково-дослідних лабораторій.

Освоєння методу ГТН дозволяє перейти до четвертого етапу – розробки основної технології відновлення АТ.

Четвертий етап завершується розробкою дослідної технології ГТН на реальні деталі АТ і випробуванням дослідної партії відновлених деталей на стендах АРЗ.

Схема розробки технології відновлення зношених деталей АТ показана на рис. 3.1.

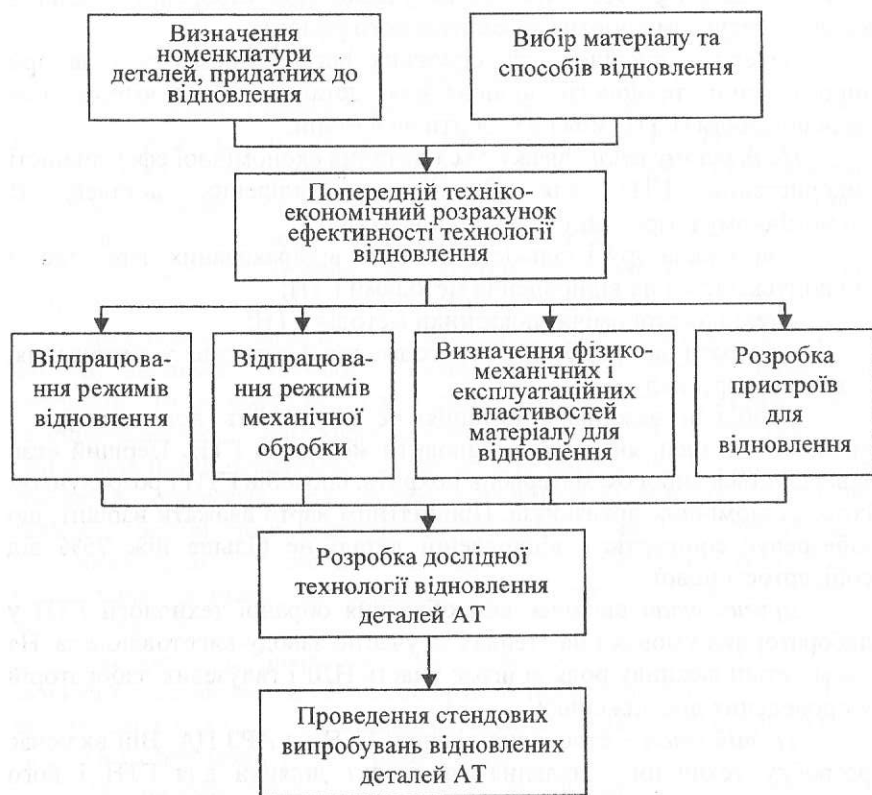


Рис. 3.1. Схема розробки технології відновлення зношених деталей АТ

Технологічний процес газотермічного напилення складається з таких основних операцій: підготовка поверхні деталі до напилення і порошоків, що напилюються; нанесення покриття; механічна обробка покриття; контроль якості покриття. У загальному вигляді схема технологічного процесу напилення порошковими матеріалами має вигляд, зображений на рис. 3.2.

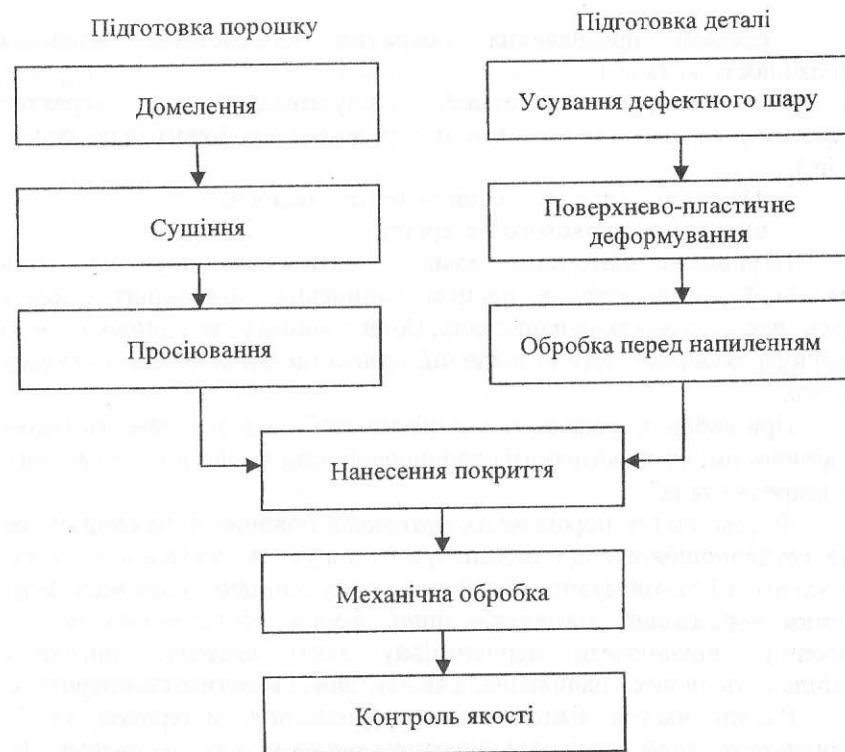


Рис. 3.2. Схема технологічного процесу напилення

Підготовка матеріалу покриття. Порошкові матеріали, що застосовуються для газотермічного напилення, повинні пройти вхідний контроль на відповідність їх супроводжуючому документу, кожна партія порошку повинна мати паспорт зі вказаним найменуванням порошку, його марки, хімічного складу, розміру часток, дати виготовлення, терміну зберігання, заводу-постачальника.

Порошки повинні зберігатися відповідно до вимог технічних умов на кожний конкретний тип порошку.

Для нанесення газотермічних покриттів застосування знаходять такі порошкові матеріали: сплави, тугоплавкі з'єднання, композиції тощо.

При виборі порошкових матеріалів для газотермічного напилення покриттів необхідно враховувати:

– основні призначення покриттів (зносостійкі, жаро- і корозійностійкі та ін.);

– умови роботи деталей (допустимий знос, характер прикладення навантаження, ступінь агресивності робочого середовища та ін.);

– фізико-хімічні властивості матеріалу основи;

– вартість порошкового матеріалу.

Порошкові матеріали повинні мати необхідну швидкість дисоціації і сублимації в процесі напилення; мінімальну хімічну взаємодію з продуктами напилення. Вони повинні бути однорідними за хімічним складом і мати визначений гранулометричний склад і форму часток.

При виборі порошкових матеріалів необхідно враховувати також їх фізико-хімічні властивості: теплопровідність, коефіцієнт термічного розширення та ін.

Форма часток порошкових матеріалів повинна бути сферичною або грудкоподібною, що забезпечує їм текучість. Остання дозволяє регулювати і підтримувати постійну витрату напилюваного матеріалу. Частки порошкових матеріалів іншої форми ускладнюють подачу порошку, викликають нерівномірну його витрату, знижують стабільність процесу напилення, а як наслідок, і властивості покриттів.

Розмір часток напилюваних порошкових матеріалів та їх гранулометричний склад здійснюють вплив на процес напилення і на властивості отримуваних покриттів. Основними факторами при визначенні оптимального розміру часток порошкового матеріалу є: теплофізичні властивості, теплопровідність, питома теплоємність, температура плавлення тощо, а також термодинамічні характеристики газотермічного потоку.

Перед нанесенням газотермічних покриттів порошкові матеріали необхідно просушити. Сушіння порошкових матеріалів проводиться при температурі 130...150°C протягом 2–3 годин. Їх сушать у печах на листах з нержавіючої сталі, періодично перемішуючи. Товщина шару засипки повинна бути не більше 20 мм. Далі виконується прожарювання порошоків в електропечах при температурі 600...700°C протягом 2–3 годин.

Визначена фракція (гранулометричний склад) порошку досягається шляхом здрібнювання вихідного порошку в спеціальних пристроях (кульові млини і т.п.). Одноразове завантаження 25 кг порошку та 25 кг тіл, застосовуваних для здрібнювання (кулі з

твердого сплаву). Для відділення потрібної фракції порошку від інших фракцій порошок просіюють через вібросито.

Підготовка деталей. Підготовка поверхні основи до нанесення покриттів включає такі операції:

1) очищення та знежирення;

2) попередню механічну обробку;

3) спеціальну підготовку;

4) ізоляцію поверхонь деталей, що не підлягають напиленню.

1. Перед напиленням усі деталі повинні бути старанно очищені та знежирені. З поверхонь, які підлягають напиленню, повинна бути знята емульсія, мінеральне масло, нагар, старе покриття. Чистоту підготовленої поверхні нових деталей контролювати на відсутність масла та забруднень, а ремонтних – на відсутність нагару та зняття старого покриття. Знежирення проводити хімічне, у травильних розчинах. Локальні свіжі забруднення допускається видаляти протиранням бензином, ацетоном і спиртом.

2. Механічну обробку поверхонь роблять частіше всього на шліфувальних станках зі зняттям невеликих припусків.

3. Спеціальну обробку поверхонь для покращення зчеплення напилюваного матеріалу з основою можна робити:

а) дробоструминним методом.

Дробоструминну обробку можна робити пневматичним і відцентровим методом. Пневматичний спосіб подачі оброблюваних часток дешевше і частіше застосовується. Зі збільшенням розмірів часток для обробки поверхні продуктивність зростає, однак при цьому збільшується шорсткість. Тому найчастіше використовують суміш, що складається з мілких та великих часток. Як обробляючі матеріали використовують стальну крихту, корунд, карбід, кремній, кварцовий пісок та інше. Розмір часток може коливатися від 400 до 1000 мкм залежно від розмірів оброблюваної деталі і матеріалу покриття. Тиск стислого повітря змінюють від 0,3 до 0,5 МПа залежно від оброблюваного матеріалу. При обробці сталлюю або чавунною крихтою тиск повітря підвищують. При обробці корундом тиск повітря легко регулюється.

При піскоструминній обробці сталей рекомендується промитий сухий пісок із зернистістю до 2 мм, для інших металевих матеріалів – 0,5...1,5 мм. Найкращі результати за шорсткістю досягаються при обробці з параметрами, зазначеними в табл. 3.1;

Таблиця 3.1

Параметри піскоструминної технології обробки поверхні

Тиск повітря P, 1000000 Па		Відстань до сопла, мм		Кут нахилу ерозійного струменя		Міні- мальний кут
Піско- струминний агрегат	Інжекторні установки	min	max	сталь	чавун	—
2,5...4	3,5...6	80	150	45	30	25...30

б) механічними способами обробки.

Цей спосіб обробки застосовують перед напиленням покриттів на вали, циліндри та інші подібні деталі. Попередню обробку роблять нарізанням різи, проточкою канавки. Механічну обробку застосовують у тих випадках, якщо основа є достатньо м'якою або легко піддається механічній обробці;

в) напилення тонкого шару тугоплавких матеріалів.

Зазвичай як матеріал підшару застосовують молібден і різні сплави на нікелехромовій основі. Хороше зчеплення молібдену з поверхнею сталеві основи пояснюється високим тиском парів його окислів. Нанесення металічного підшару сприяє створенню хороших демпфувальних властивостей підкладки, що забезпечують їх пористість і пластичність;

г) електроіскровим методом.

Електроіскрову підготовку поверхні зазвичай проводять в тому випадку, якщо основа має більш високу твердість і не може бути оброблена дробоструминним або механічним способами. Її проводять звичайним зварювальним апаратом. До недоліків цього методу слід віднести низьку швидкість обробки поверхні і значне зниження втомної міцності, а також структурні зміни, викликані дією високих температур;

д) хімічним методом.

Хімічну обробку поверхні проводять травленням поверхні різними хімічними реактивами. При цьому утворюється визначена шорсткість. До недоліків хімічної підготовки можна віднести можливість затримки в порах поверхні травильних реактивів, що може призвести до інтенсивної корозії напиленої деталі.

З порівняльного аналізу різних методів спеціальної обробки поверхонь можна сказати, що найбільш прийнятним методом для

газотермічних напилень є метод пневматичної дробоструминної обробки.

4. Ізоляцію поверхонь, що не підлягають напиленню, роблять картоном або листовим залізом. Отвори або пази закріплюють дерев'яними або резиновими пробками. Після підготовки поверхні приступають до напилення покриттів не пізніше двох годин після підготовки.

3.2. Класифікація методів газотермічного напилювання

Різні методи газотермічного напилювання визначаються відповідно до класифікації за енергетичними (рис. 3.3) і функціональними ознаками. Класифікаційний термін за функціональною ознакою відбиває лише найбільш характерну, істотну рису конкретного газотермічного покриття. У дійсності ознаки одного покриття можуть існувати й у покритті, віднесеному до іншого функціонального типу. Наприклад, ущільнювальне покриття може бути одночасно термостійким, але його основне призначення – служити елементом, що ущільнює, і, навпаки, термостійке покриття може бути й ущільнювальним, але його основне призначення в конкретному виробі – забезпечити термостійкість останнього.

Основні елементи конструкції, такі як головні осі, внутрішній циліндр, розпірки, стояки виконані з легованих високоміцних сталей, що піддаються термічній обробці.



Рис. 3.3. Класифікація методів газотермічного напилювання за енергетичною ознакою

Спряжені поверхні при ремонті зазвичай хромують для підвищення корозійної стійкості і зносостійкості. У ряді випадків

хромування не є достатньо ефективним – хром руйнується, а на зруйнованих ділянках поверхонь з'являється корозія. Для відновлення зношених деталей у даному випадку успішно може бути застосоване плазмове покриття з алюмініду нікелю з захисним шаром кадмію, що показало позитивні результати при експлуатаційних умовах протягом декількох років.

Особливо ефективним є застосування напилювання покриттів на деталі авіадвигунів. Насамперед, це **зносостійкі покриття**, які характеризуються тим, що мають щільну й однорідну структуру, в якій тверді частки (карбідів, інтерметалідів, боридів і т.д.) вкраплені в більш м'яку матрицю. Найвідомішим із зносостійких покриттів, що мають високі фізико-механічні характеристики, є покриття WC-Co, яке широко застосовується для підвищення опору матеріалів впливу динамічних навантажень і зносу при терті ковзання. Такі покриття напилюють плазмовим чи детонаційним напилюванням на вали роторів двигунів.

На поверхні тертя деталей компресора доцільно наносити нікель-алюміній, нікель-графіт, хром-алюміній-нітрид бора.

Покриття, що утворюють тепловий бар'єр. Підвищені температури на вході газів (до 1300 °C), термоудари й окислювання, впливу яких піддаються камери згоряння, є причинами зниження термінів їх експлуатації і зниження ефективності роботи. Для захисту таких деталей використовуються багатошарові покриття – з нижнього металевого шару і верхнього шару з чистого шару, між якими наносять проміжний шар, що складається із суміші металу й окисла, що є буферною зоною, яка компенсує різницю теплового розширення між металом і окислом. Типові приклади, коли необхідне нанесення покриттів, які є тепловим бар'єром, – це камери згоряння і вкладиші.

Покриття для обертових ущільнень. Двома основними ущільненнями, що вимагають нанесення покриттів, є ущільнення для доріжки пробігу лопаток і пази для лабіринтових ущільнень. На двигунах необхідність нанесення покриттів визначається умовою балансу обертових вузлів, у яких збільшення зазорів відбувається внаслідок незбалансованості ротора. На статичні частини наносять покриття, що стираються, а на обертові частини – абразивні, при цьому знос має місце на статичних частинах.

Абразивні покриття. До цього типу відносяться покриття з оксидів алюмінію. Способом плазмового напилювання вони наносяться на обертові розпірні кільця компресора, а також на ребра

лабіринтового ущільнення з метою зменшення їх зносу в сполученні з м'яким покриттям.

Покриття, що стираються. До цього типу покриттів відносять нікель-графіт, алюміній-графіт, нітрид бора і т.д.

Покриття для лопаток турбін. Метод плазмового нанесення покриттів, за допомогою якого формуються жаро- і корозійностійкі захисні покриття, відноситься до числа передових технологічних процесів, застосовуваних в авіаційній промисловості при виготовленні деталей ГТД.

Необхідність покриттів для лопаток турбін виникла в результаті високих температур (750...800 °C) їх експлуатації. До групи корозійностійких покриттів для захисту лопаток турбін від окислення і впливу продуктів згоряння палива є покриття типу MeCrAl, у яких Me – нікель, кобальт або їх комбінація. Ці покриття, що утворюють верхній захисний шар на вже нанесених покриттях іншого типу, наносяться на профілі лопаток та інші частини турбін, які контактують з гарячими вихлопними газами. Немаловажними серед техніко-економічних характеристик газотермічних покриттів є нескладне їх видалення і можливість повторного нанесення.

Напилювання на сталеві поверхні алюмінієвих та цинкових покриттів забезпечує високоефективний захист від корозії. Ефект від напиленого покриття досягається за рахунок використання процесу катодного захисту металу від корозії, для чого на поверхню виробу, що захищається, наноситься покриття з матеріалу, що має більш електронегативний електродний потенціал. У цьому випадку покриття, виконуючи функцію анода відносно до відновлюваного катода (сталі), що піддавався окисленню з утворенням щільних та міцних погано розчинних продуктів, що заповнюють можливу пористість у покритті. В результаті воно стає непроникним для вологи, а доступ кисню до основного металу припиняється, що забезпечує надійний захист металу від корозії.

У разі механічного порушення покриття спрацьовує ефект самозалічування, аналогічний процесу заповнення пор, і дефектне місце в покритті відновлюється. При окисленні алюмінієвого покриття утворюється інертний оксид алюмінію, після утворення якого подальше окислення швидко припиняється.

Виключно високу корозійну стійкість забезпечують алюмінієво-цинкові покриття, позитивний ефект яких пояснюється швидким заповненням пор у нанесеному покритті щільним шаром продуктів

корозії алюмінію та цинку. Об'єм продуктів корозії значно перевершує об'єм металів, з яких вони утворилися. Контакт алюмінію з цинком безпечний, оскільки електродний потенціал цинку в більшості електролітів більш негативний від потенціалу алюмінію, і, отже, цинк, розчиняючись, електрохімічно захищає алюміній.

Переваги напилювання алюмінієвих та цинкових покриттів:

– можливість нанесення покриття на деталі будь-яких габаритів і складної конфігурації;

– відсутність викривлення і погіршення властивостей основного металу через виникнення водневої крихкості внаслідок травлення як способу підготовки поверхні при газотермічному напилюванні;

– підвищені характеристики втомної міцності за рахунок створення стискаючих залишкових напруг після абразивно-струменевої обробки;

– шорсткість поверхні напилюваного металу збільшує тертя в болтових з'єднаннях і знижує вірогідність утворення фретинг-корозії;

– мікропористість напиленого покриття сприяє збереженню в порах продуктів корозії, значно уповільнює корозійний процес;

– можливість отримання покриттів значно більшої товщини, ніж при гарячому зануренні в розплав або при термодифузійному методі (наприклад, при гарячому цинкуванні максимальна товщина покриття – 50...60 мкм, при термодифузійному методі – 12...50 мкм);

– одержувані покриття, внаслідок своєї шорсткості і пористості є високоякісною основою для антикорозійних мастил, лакофарбових, полімерних та інших матеріалів;

– можливість забезпечення додаткового захисту зон зварювання оброблених виробів безпосередньо на місці монтажу конструкцій;

– відносна простота процесу, що не вимагає підвищеної кваліфікації обслуговуючого персоналу (на відміну від катодного захисту з використанням зовнішнього джерела напруги, де застосовуються складні станції катодного захисту і необхідний періодичний вимір потенціалу);

– мала кількість технологічних операцій – попереднє очищення поверхні будь-яким відомим методом, абразивно-струменева обробка і безпосереднє нанесення покриття, при цьому устаткування може використовуватися як у ручному режимі, так і спільно з маніпулятором;

– екологічна чистота процесу у зв'язку з відсутністю відходів виробництва;

– вимоги безпеки процесу не накладають істотних обмежень на його широке застосування і визначаються використанням газополумєневих і електродугових джерел нагріву.

3.3. Газополумєнєве напилювання

Для нанесення газотермічних покриттів найбільш широкого застосування знаходить метод газополумєневого напилювання, що використовують для нанесення і наступного оплавлення покриттів зі сплавів, які самофлюсуються, на основі нікелю і кобальту, а також для напилювання керамічних та інших тугоплавких матеріалів.

Одним із спеціальних видів газополумєневого напилювання є напилювання, при якому використовується енергія детонації суміші ацетилену з киснем – детонаційний метод [16, 21]. Цей вид напилювання дозволяє наносити покриття з матеріалів із ще більш високою температурою плавлення.

При газополумєневому напилюванні джерелом теплової енергії є полум'я, що виділяється при згорянні паливних газів (ацетилену, пропан-бутану, водню, метану, природного газу та ін.) у суміші з киснем та стисненим повітрям.

Напилювання залежно від стану напиленого матеріалу може бути трьох типів: дрогове, пруткове і порошкове.

На рис. 3.4 показано принцип дрогового газополумєневого напилювання.

Пруткове напилювання відбувається аналогічним чином. В обох випадках напилений матеріал у вигляді дроту або прутка подається через центральний отвір пальника і розплавляється у вигляді полум'я. Струмінь стиснутого повітря розпорошує розплавлений матеріал на дрібні частки, що осаджуються на оброблюваній поверхні.

На рис. 3.5 показаний принцип газополумєневого напилювання порошкового матеріалу. Порошок, який напилюється, надходить у пальник зверху з бункера через отвір, розганяється потоком транспортуючого газу (суміш кисень — паливний газ) і на виході із сопла попадає в полум'я, де відбувається його нагрівання. Захоплені струменем гарячого газу частки порошку попадають на поверхню, яка напилюється. У порошкових пальниках, як і дрогових, подача

матеріалу, який напилюється, в полум'я і розгін розплавлених часток, що утворюються, може відбуватися за допомогою стиснутого повітря.

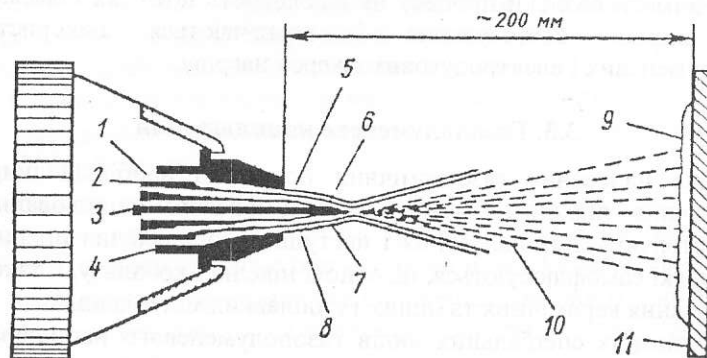


Рис. 3.4. Газополуменеве напилювання дротом: 1 - стиснене повітря, 2 - ацетилено-киснева чи пропано-киснева пальна суміш, 3 - дріт, 4 - насадок, 5 - ядро ацетилено-кисневого полум'я, 6 - оплавлений кінець дроту, 7 - смолескип полум'я, 8 - повітряний потік, 9 - покриття, 10 - потік часток напиленого матеріалу, 11 - основний матеріал

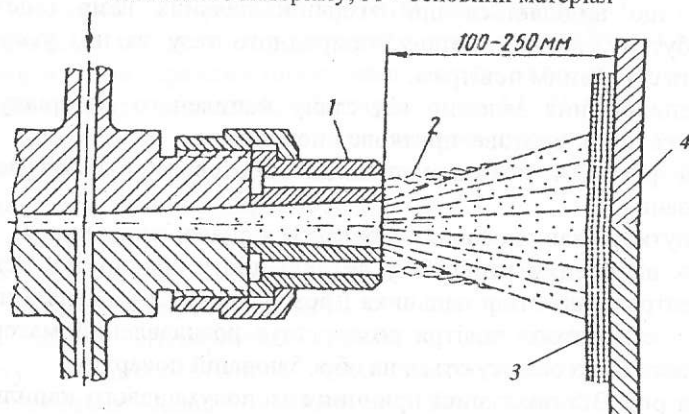


Рис. 3.5. Газополуменеве напилювання порошкового матеріалу: 1 - сопло, 2 - смолескип; 3 - покриття; 4 - основний матеріал

Газополуменеве нанесення покриттів, його різновиди, обладнання та технологія напилювання наведені у багатьох джерелах [16, 21].

В останній час застосовуються установки для надзвукового газополуменевого напилення покриттів. Надзвукове газополуменеве

напилення – це новий метод, що базується на застосуванні надзвукового пальника з метою отримання високошвидкісного (надзвукового) струменю на його виході. Порошок вводиться у газовий потік, нагрівається, прискорюється і направляється на оброблюєму деталь. Даний метод може бути використаний для формування покриттів з характеристиками, порівняними з отриманими на детонаційних установках, що істотно перевищують параметри покриттів, які забезпечуються газоплазмовим методом.

Розроблено портативне технологічне обладнання для надзвукового газополуменевого напилення покриттів з високою адгезією, твердістю, щільністю, низькою пористістю, яке може використовуватись для відновлення зношених деталей; зниження абразивного зносу, ерозії; захисту від корозії; нанесення декоративних покриттів; різання високолегованих сталей, чавуна, кольорових металів.

Розробником обладнання СГН-1 є Науково-дослідний інститут енергетичного машинобудування Московського державного технічного університету імені Н.Е. Баумана.

Обладнання сертифіковане (ТУ 3645-001-05693446-98) і має технологічні характеристики, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Технологічні характеристики обладнання

Пальне	пропан (метан)
Окислювач	кисень
Параметри надзвукового струменю: швидкість, м/с температура, К	до 2600 2500...3000
Характеристики покриттів: адгезія, МПа пористість, %	50...80 (до 100) не більше 2
Товщина покриття, мм	0,1...1,5 (до 5)
Система подачі порошку, що напилюється	ежекційна без додаткового несучого газу
Система охолодження	проточна водяна
Система запалення	п'єзоелектрична
Максимальна продуктивність, кг/год	1,5

До складу базового комплексу технологічного обладнання входять: надзвуковий пальник; контейнер для напилюваного порошку; пульт керування; редуктор тиску горючого газу; редуктор тиску

кисню; комплект резинових шлангів. Для початку роботи необхідно мати балони з горючим газом, киснем, а також водопровід (або ємність з водою об'ємом 500 л та насос).

Перевагами портативного технологічного обладнання є те, що за експлуатаційним затратам, складністю, необхідною кваліфікацією обслуговуючого персоналу воно відповідає серійно випускаємим звуковим пальникам для газополуменевого напилення, однак дозволяє підвищити якість покриттів у 2...5 разів. При ефективності еквівалентній сучасному плазмовому технологічному обладнанню вартість покриттів знижується у 1,5...2 рази.

На відміну від західних аналогів (Diamond Jet – SULZER METCO, JP-5000 – TAFA, Jet Kote II – Deloro Stellite GmbH) дане обладнання призначене для масового споживача, при цьому є переносним, може експлуатуватися на будь-якій ділянці для газового різання (зварювання) і в польових умовах, є істотно більш дешевим (приблизно у 20 разів), а також має розширені функціональні можливості – крім напилення може різати високовуглецеву сталь, чавун, кольорові метали.

3.4. Прогресивні розробки зарубіжних фірм

Устаткування бельгійської фірми *General Metal Alloys INTL (GMA INTL)* для газотермічного нанесення покриттів з різних матеріалів є широким спектром установок для газополуменевого або електродугового напилення – від ремонтних установок газополуменевого нанесення покриттів до високопродуктивних промислових надзвукових *HVOF*-комплексів. Устаткування є виключно простим і надійним в експлуатації. Як робочі гази використовується стисле повітря, кисень, пропан-бутан (ацетилен або природний газ).

Напилювані матеріали (метали та їх сплави – мідь, бронза, бабіти, цинк, алюміній, молібден, сталі та ін. метали; пластики; кераміка (на основі оксидів алюмінію, титану, хрому та ін.); металокераміка; карбіди – вольфраму, хрому та ін. у відповідній матриці – кобальт, нікель та ін.), поставляються як у вигляді порошоків, так і дротів.

З використанням цього устаткування (зокрема, комплексу *Micro[®]Jet HVOF*) можливо наносити виключно щільні покриття з

низькою пористістю (~0,1 %), низьким вмістом оксидів у напиленому шарі та виключно високими адгезійними властивостями (80...83 МПа для WC/Co, понад 100 МПа для кераміки, понад 200 МПа для матеріалів на основі NiBSiCr – заміна гальванічного хрому).

При використанні устаткування можна наносити покриття на деталі будь-яких габаритів і форми на зовнішні та внутрішні (діаметром від 25 мм і завдовжки до 1,5...2 м) поверхні. При цьому температура поверхні деталі, на яку наноситься покриття, не перевищує 150 °С, що виключає термічні деформації деталі. Покриття наносяться з використанням верстатного парку або роботів-маніпуляторів, а також і ручним способом з будь-яких просторових положень.

Різноманітність деталей, на які можуть бути нанесені покриття за допомогою устаткування *GMA INTL*, дуже велика: опорні шийки навантажених валів і роторів (робота при обертах 12 000 1/хв та більше), лопатки турбін, втулки, штоки циліндрів гідравлічного устаткування, робочі колеса насосів, посадочні місця під втулки і підшипники, поверхні валів різного призначення та ін. На рис. 3.6 наведено приклад відновлення штока гідроциліндра та розрахунку параметрів відновлення.

Зносо- та корозійностійкі покриття *Micro[®]Jet HVOF*. Промисловий комплекс *Micro[®]Jet HVOF* (High Velocity Oxy Fuel), призначений для надзвукового нанесення зносостійких, антифрикційних, антикорозійних, зміцнюючих та інших покриттів. Комплекс відноситься до систем напилення останнього покоління, технічно та економічно забезпечує альтернативу гальванічному хромуванню і дозволяє запропонувати такі сплави як заміну гальванічного хрому:

FeCrMo – залізо-хром-молібденовий сплав. Покриття з цього сплаву має високу стійкість до зносу і корозії до температури 650 °С. Внаслідок наявності в його складі молібдену, коефіцієнт сухого тертя значно нижчий, ніж у чистого хрому. Проте таке покриття трохи поступається гальванічному хрому за твердістю та зносостійкістю;

NiBCrSi – нікель-бор-хром-кремнієвий сплав, що самофлюсується. Виключно щільне покриття з цього сплаву має дуже високу адгезію (понад 200 МПа), прекрасну корозійну стійкість, зокрема у кислотних середовищах. За твердістю та зносостійкістю – рівнозначно покриттю гальванічним хромом;

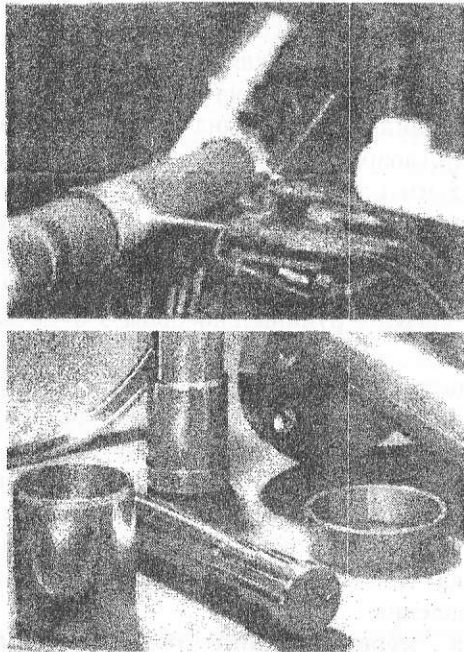


Рис. 3.6. Приклад відновлення штока циліндра
(заміна гальванічного хромування)

Приклад розрахунку параметрів відновлення

- Розмір штока: діаметр - 88 мм; довжина - 1200 мм
- Площа покриття: $8,8 \text{ см} * 3,14 * 120 \text{ см} = 3\,315,84 \text{ см}^2$
- Товщина покриття - 0,4 мм
- Щільність порошкового сплаву - $7,8 \text{ г/см}^3$
- Маса напиленого покриття: $3\,315,84 \text{ см}^2 * 0,04 \text{ см} * 7,8 \text{ г/см}^3 = 1\,034,5 \text{ г}$
- ККД використання порошку - 90%
- Витрата порошку: $1\,034,5 \text{ г} / 90\% = 1\,149,49 \text{ г}$
- Ціна порошку - 165 грн/кг
- Вартість порошку в покритті: $1,150 \text{ кг} * 165 \text{ грн/кг} = 189,75 \text{ грн}$
- Витрата газів: кисень - $3,27 \text{ м}^3$; пропан - $0,7 \text{ м}^3$; азот - 7 л
- Вартість газів - 27 грн
- Собівартість покриття: $189,75 \text{ грн} + 27 \text{ грн} = 216,75 \text{ грн}$
- Продуктивність устаткування - $2,5 \text{ кг/год}$
- Час напилення: $1,150 \text{ кг} / 2,5 \text{ кг/год} = 0,46 \text{ год} (28 \text{ хв})$

WCCo (83/17) – твердий сплав на основі карбіду вольфраму – ВК-17. Виключно тверде та щільне покриття, що має високу опірність до ударних і стираючих навантажень. Твердість такого покриття порівняно з покриттям гальванічним хромом у 1,5 раза вище, а зносостійкість – у 2 рази;

WCCoCr (86/10/4) – твердий сплав на основі карбіду вольфраму ВК10 з додаванням 4 % хрому. Дуже тверде покриття, що має високу корозійну стійкість і надзвичайно високу опірність абразивному зносу та зносу від тертя. Широко використовується в умовах дії морської води. Як і у твердого сплаву ВК-17, твердість покриття перевищує твердість гальванічного хрому в 1,5 раза, а зносостійкість – у 2 рази.

Усі ці покриття практично абсолютно безпористі (проте при необхідності можна створювати покриття із заданою мікропористістю – для поліпшення умов змащування). Товщину покриттів можна варіювати в достатньо широких межах – від 25 мкм до 1 мм і більше, залежно від умов експлуатації виробу. Твердість покриттів HRC досягає 75 од. Важливим чинником при цьому є висока продуктивність комплексу *Micro®Jet HVOF* – до 5 кг/год (наприклад, при товщині покриття в 25 мкм за 1 год покривається площа в 10...15 м²). Процес нанесення покриттів є «холодним» (температура поверхні виробу не перевищує 150 °С), що виключає термічну деформацію виробів.

Пропонована технологія нанесення покриттів володіє цілим рядом переваг у порівнянні з гальванічним хромуванням:

- відпадає необхідність у гальванічних ваннах;
- немає токсичних відходів;
- не використовуються розчини кислот, тому немає виділень водню, здатного привести до утворення вибухонебезпечних сумішей;
- оскільки не використовуються кислоти, деталь, що покривається, не руйнується і її міцність не зменшується;
- немає необхідності в застосуванні дорогого водоочисного устаткування;
- немає обмежень на розміри деталей, що покриваються;
- щільність покриттів вища;
- значне зниження (у декілька разів) кількості технологічних операцій та ін.

Параметри та характеристики покриттів комплексу *Micro®Jet HVOF* наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Параметри та характеристики покриттів комплексу *Micro® Jet HVOF*

Швидкості напилення	Надзвукова (~ 1500 м/с)
Температура поверхні напилюваного виробу	Не вище 150 °С («холодна» технологія)
ККД використання порошків та дротів	> 90 %; для WC/Co ~ 70 %
Напилювані матеріали	- порошки: - метали та сплави (твердість від 25 до 75 HRC); - кераміки (твердість 1000–1200 HV); - карбіди WC/Co (твердість 1000–2500 HV); - дроти: бабіти, цинк, алюміній, сталі, бронза, мідь, молібден та ін.
Міцність зчеплення (адгезія)	Мінімум - 83 МПа (досягається при напиленні WC/Co) Для кераміки понад 100 МПа Для матеріалів типу NiBSiCr понад 200 МПа
Пористість	Не більше 0,1 % (при необхідності можна збільшити)
Можливість напилення внутрішніх діаметрів (спеціальні насадки)	Ø 25 мм і більше на глибину 1,5 м (при необхідності і більше); можливість напилювати з руки у будь-якому просторовому положенні
Продуктивність	2...8 кг/год залежно від напилюваного матеріалу
Додаткове устаткування	Компресор (сухе повітря)

Питання і завдання для самоконтролю

1. Назвіть основні організаційні заходи для впровадження технологій відновлення газотермічним напилюванням покриттів.
2. Наведіть принципову схему розробки ТП відновлення деталей АТ.
3. Наведіть принципову схему ТП напилення покриттів та поясніть основні його етапи.
4. Наведіть класифікацію газотермічного напилювання.
5. Поясніть сутність газополуменевого напилювання та наведіть приклади технологічного обладнання.

4. ПЛАЗМОВЕ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

4.1. Загальна характеристика

Плазмове напилення — прогресивний технологічний процес нанесення покриттів [15, 16, 23]. При плазмовому напиленні матеріал покриття у вигляді порошку або дроту вводиться в плазмовий струмінь, де він інтенсивно нагрівається та плавиться, розпилюється і при взаємодії з поверхнею оброблюваної деталі утворює покриття. Плазмові покриття характеризуються шаруватою арочною структурою, яка виникає внаслідок сильної деформації і дуже швидкої кристалізації напилюваних частинок. Шаруватість додає покриттям еластичність і підвищує їх термостійкість в умовах термоциклічних навантажень. Властивості напиленого покриття відрізняються від властивостей цього ж матеріалу як у спеченому, так і в литому стані. Плазмові покриття мають певну пористість, яка залежно від матеріалу і умов напилення може коливатися в межах 2...15%. Використовуючи спеціальні методи і режими напилення, можна одержувати покриття пористістю 30...40%.

Властивості плазмових покриттів визначаються фізико-хімічними процесами, що відбуваються в частинках при напиленні, і процесами, що протікають між підкладкою та частинками і самими частинками в покритті при їх деформації та затвердінні. Кінетика і механізм контактної взаємодії частинок, а також процеси в самих частинках визначають основні властивості і працездатність покриттів.

Плазмою можна наносити покриття практично з усіх матеріалів. Останнім часом розроблені порошки, частинки яких плакіровані металевою оболонкою, що дозволило наносити навіть матеріали, що розкладаються при напиленні.

Внаслідок високої температури та енергії плазми її застосування ефективно для нанесення покриттів з тугоплавких матеріалів. Тугоплавкі матеріали мають високу енергію зв'язку в кристалічній ґратці, володіють великою міцністю, твердістю, стійкістю в різних середовищах і при високих температурах. Тому з метою підвищення робочих характеристик і ефективності роботи виробів застосовують покриття з тугоплавких матеріалів.

Серед способів нанесення газотермічних покриттів плазмове напилення завдяки своїм технологічним можливостям привертає особливу увагу. Плазмове напилення є логічним розвитком

електродугової металізації та газополуменевого напилення, тому при плазмовому напиленні використовують основні технологічні прийоми нанесення покриттів цими методами. Застосовуючи плазму — високотемпературне джерело нагріву — можна наносити покриття практично з усіх відомих тугоплавких матеріалів, які в плазмовому струмені не сублімують і не зазнають інтенсивного розкладання.

Слід зазначити, що при плазмовому напиленні навіть інертні плазмоутворюючі гази не повністю захищають частинки напилюваного матеріалу, тому властивості покриттів відрізняються від властивостей початкового матеріалу.

Вміст кисню та азоту в покритті може досягати десятих доль відсотка і більше. При формуванні покриття на підкладці в ньому утворюється відкрита та замкнута пористість. Пластичність напиленого металу нижче, ніж початкового, але в цілому покриття володіють задовільною пластичністю. Міцність напиленого матеріалу в 5...10 разів нижча за міцність початкового компактного матеріалу. Змінюється фазовий склад, теплопровідність та електрична провідність напиленого матеріалу і т.д. Властивості покриттів залежать від технологічних параметрів напилення, що дозволяє регулювати ці властивості в широких межах.

Найбільш загальними причинами, що визначають властивості напилених матеріалів, є:

- 1) дія навколишнього середовища на напилюваний матеріал;
- 2) знижена міцність зчеплення на межах між частинками і шарами покриття, нанесеними за один прохід, що виникає внаслідок неповного схоплення, а також підвищеного вмісту оксидів, пор та інших включень у прикордонних областях;
- 3) утворення пористості в результаті газовиділення і кристалізації частинок з високими швидкостями;
- 4) зміна будови матеріалу внаслідок фазових перетворень і появи нових структур;
- 5) виникнення напружень у всьому об'ємі напиленого матеріалу і в об'ємі кожної частинки.

При нанесенні покриттів плазмою як початковий матеріал застосовують дріт або порошок.

Напилюваний матеріал у плазмовому струмені нагрівається, плавиться, розпильнюється (дріт, стрижні) і сформований потік частинок прямує у бік підкладки.

При ударі та деформації відбувається взаємодія частинок з поверхнею підкладки і формування покриття.

При використанні для покриттів порошку його вводять у плазмовий струмінь. Причому найбільш поширена схема подачі порошку вперек або під невеликим кутом назустріч потоку плазмового струменя на зрізі сопла (рис. 4.1).

Продуктивність напилення дротяних плазмових розпилювачів — до 10 кг/год, порошкових — до 5 кг/год при напиленні важких металів і 2...4 кг/год при напиленні легких оксидів. Продуктивність напилення залежить від фізико-хімічних характеристик напилюваного матеріалу, роду плазмоутворюючого газу, потужності розпилювача і т.д.

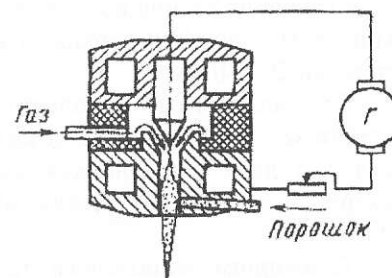


Рис. 4.1. Принципова схема плазмового нанесення покриттів з порошку

У комплект устаткування для плазмового напилення входять плазмовий розпилювач (порошкового або дротяного типу), джерело живлення, пульт управління, пристрій для подачі в розпилювач газопорошкової суміші (бункер-живильник), що комутує дроти та шланги і т.д.

Плазмове нанесення покриттів проводять на заздалегідь підготовлену поверхню деталі. Поверхню деталі очищають від механічних забруднень. Вологу і масло видаляють протиранням ганчіркою, змоченою в розчинниках (ацетоні, бензині і т.д.), потім деталь піддають абразивно-струменевій обробці (корундом, чавунною або сталеву кришкою). Час між підготовкою поверхні та напиленням повинен бути, по можливості, малим і не перевищувати 1 год, оскільки очищена поверхня виробу швидко втрачає активність і на неї з навколишньої атмосфери потрапляє волога, пил і т.д., що зменшує міцність зчеплення покриття з підкладкою. Покриття, як правило, наносять на поверхню, розташовану перпендикулярно плазмовому струменю. Для отримання рівномірного покриття необхідно розпилювач переміщати щодо деталі або навпаки.

Мінімальна товщина покриття визначається розміром частинок напилюваного матеріалу. При плазмовому напиленні бажано застосування порошку гранулами у 40...100 мкм. Якщо

використовувати порошок гранулами у 5...20 мкм (порошок повинен при цьому мати добру сипучість), то можна одержати покриття мінімальної товщини 15...20 мкм. Верхня межа товщини покриття практично не обмежена. Проте слід враховувати, що зі збільшенням товщини покриття в ньому підвищуються внутрішні напруги, що знижують міцність зчеплення з підкладкою. Застосовуючи спеціальні заходи (охолодження покриття, підкладки і т.д.), можна одержувати покриття на плоских поверхнях завтовшки 1...2 мм, на тілах обертання завтовшки 20...30 мм.

При плазмовому напыленні порошку можна регулювати склад покриття за товщиною та за довжиною деталі. Для цієї мети порошок подають з двох бункерів-живильників. Зміною продуктивності цих бункерів в процесі напылення можна змінювати склад порошкової суміші.

Плазмовим напыленням також можна формувати покриття з поєднань матеріалів, наприклад, графіт – метал, кераміка – метал, можна одержувати багат шарові та армовані покриття і т.д.

Якщо змішують метали або сплави, то покриття називають покриттям з псевдосплавом, якщо змішують оксиди (кераміка) з металом, то покриття називають покриттям з кермета. Застосування таких сумішей істотно підвищує працездатність покриттів, термостійкість, ударну в'язкість, корозійну стійкість, зносостійкість і т.д. Створені технологічні варіанти отримання композиційних порошоків для плазмового напылення, тобто порошоків, до складу яких входить декілька матеріалів. Зазвичай, частинки таких порошоків складаються з ядра основи, оточеного плакіруючим шаром другого компоненту.

Якість покриттів залежить від великої кількості змінних чинників (за різними даними близько 60): конструкція розпилювача, рід і витрата плазмоутворюючого газу, споживана потужність; фізико-хімічні властивості, грануляція напылюваного матеріалу, швидкість його подачі; відстань від розпилювача до поверхні виробу, відносна швидкість переміщення розпилювача і виробу, склад захисної атмосфери; спосіб підготовки поверхні виробу, температурний режим у процесі формування покриття і т.д. Тому залежно від напылюваного матеріалу, а також від матеріалу і форми виробу звичайно для кожного конкретного випадку режим напылення підбирають експериментально, керуючись загальними положеннями теорії газотермічного напылення.

Складні фасонні форми поверхонь (наприклад, пера лопаток) не можна покривати захисними шарами без використання механізованих способів їх нанесення. Вимоги до рівномірності нанесення порошку по всій поверхні пера призводить до необхідності застосування такої системи, що забезпечує рухливість лопатки і плазмового пальника, принаймні, уздовж п'яти осей. Тому керування лопатками і пальниками виробляється за допомогою роботів чи маніпуляторів.

Устаткування, що застосовується в розвинутих країнах і являє собою механізми вищого світового стандарту, пропонують фірми «Плазма технік» (Швейцарія), «Електроплазма» (США), «Перкін-Елмер-Метко» (ФРН). Останнім часом до них відносяться і фірми «Інтервельд» (Австрія) і СНМІ (Франція).

Застосування плазмового нанесення покриття у вакуумі замість атмосфери має ряд переваг і удосконалень, які можна коротко охарактеризувати таким чином:

- нагрів плазмоутворюючих газів в електричній дузі та їх розширення у вакуумі дозволяють підвищити швидкість плазмового струменя до величин, що перевищують швидкість звуку більш ніж у 3 рази, внаслідок чого швидкість часток рухомого напылюваного матеріалу в 2–3 рази вище швидкості часток при атмосферному тиску. Підвищення швидкості часток супроводжується збільшенням щільності шару, зниженням до мінімуму пористості та зменшенням шорсткості поверхні;

- шунтована електрична дуга з протилежною полярністю дозволяє зробити очищення поверхні деталі в умовах вакууму. В результаті підвищується адгезія захисного шару (особливо на гладких поверхнях) і усуваються ускладнення з видаленням залишків струминної абразивної обробки. Це створює сприятливі умови для взаємної дифузії між матеріалом деталі і захисним шаром;

- перед нанесенням покриттів основний матеріал може бути підігрітим до межі його жароміцності. Це здійснено за допомогою плазмового струменя з використанням шунтованої електричної дуги з прямою (нормальною) полярністю. В результаті підігріву (до 700...950°C) істотно знижуються внутрішні напруження в захисному шарі і на границі його контакту з матеріалом основи;

- процес нанесення покриття відбувається при відсутності активних газів. Вміст оксидів у захисному шарі можна знизити до мінімуму, і різниця в хімічному складі напылюваного матеріалу і самого шару незначна.

4.2. Устаткування і матеріали

Для плазмового нанесення покриттів необхідний комплекс основного та допоміжного устаткування. Окрім установки для нанесення покриттів необхідний пристрій для переміщення оброблюваного виробу щодо розпилювача або навпаки, причому його слід розташовувати в робочій витяжній шафі. До установки підводиться робочий газ (аргон, азот і т.д.), стисле повітря і електроенергія. Для охолодження електродів розпилювача і джерела живлення до них підводять воду.

Перед нанесенням покриттів поверхня виробів піддається попередній обробці, яка здійснюється в установці з герметичним робочим об'ємом.

Якщо для покриттів використовують порошок, то необхідне устаткування для його підготовки та зберігання, прилад для розсіювання по фракціях, муфельна піч для сушки, термошкаф для його зберігання і т.п. Якщо для покриття застосовують дріт, то необхідний пристрій для його перемотування, очищення та промивки.

Устаткування для плазмового нанесення покриттів слід розміщувати в окремому ізольованому приміщенні, як правило, на першому поверсі біля зовнішніх стін будівель. Можливі різні варіанти розміщення устаткування, його компоновки. Причому розміщення устаткування в основному визначається виглядом і габаритними розмірами виробів.

При плазмовому нанесенні покриттів виникає підвищений звуковий тиск та інтенсивне ультрафіолетове випромінювання. Тому стіни і стеля робочого приміщення повинні бути покриті звукоізолюючим та звукопоглинальним матеріалом і забарвлені в заспокійливі колірні тони, причому забарвлена поверхня повинна бути матовою щодо запобігання появи відблисків.

Для плазмового нанесення покриттів серійно випускається універсальна установка типу УПУ. У комплект установки входить джерело живлення, порошковий та дротяний розпилювачі, бункер-живильник для утворення двофазної газопорошкової суміші і подачі її у плазмовий розпилювач. Установка має дистанційний пульт керування, що дозволяє плавно і достатньо точно регулювати основні енергетичні параметри плазмового струменя (електричні параметри, витрати плазмоутворюючого і транспортуючого газів).

Для нанесення покриттів можна використовувати порошкові та дротяні матеріали. Зміна плазмотронів здійснюється перемиканням струмопровідних шлангів та шлангів подачі охолоджуючої води.

Установка УПУ-3 поставляється в комплекті з джерелом живлення, призначеним для живлення силового ланцюга як при металізації дротом з використанням аргону в якості плазмоутворюючого газу, так і при нанесенні покриттів з порошкових матеріалів. Як плазмоутворюючі гази застосовують аргон, азот, гелій, водень та їх суміші. Джерело живлення складається з трифазного силового трансформатора з плавним регулюванням робочого струму в діапазоні 400...600А, випрямляючого блоку, системи охолодження, комутаційної та пускорегулюючої апаратури.

Розроблено ряд плазмотронів загального та спеціального призначення (ПП-12.5; ПП-25; ПМ-25; ПВ-25), які при високій надійності та працездатності мають малі розміри і масу. Спроектвані оригінальні конструкції механічних (ДР-2, ДШ-1) і газових порошкових дозаторів, що забезпечують рівномірну подачу матеріалів, що розпилюються. Розроблений прилад для контролю витрат порошку (РПЗ-1) і газів, температури охолодної води з виходом на електричний реєструючий прилад.

Для нанесення покриття розпилюванням матеріал вводиться у плазму, де він нагрівається і плазмовим струменем прямує до підкладки.

У промисловості найбільше застосування знайшло нанесення покриттів з порошків, оскільки у вигляді порошку можуть бути приготовлені практично будь-які матеріали. Для плазмового напилення використовують як стандартні порошки з частинками розміром 40...100 мкм, так і спеціальні.

При нанесенні покриттів з порошків, не дивлячись на високу температуру плазми, важко добитися рівномірного і повного плавлення всього напилюваного матеріалу. Це пояснюється рядом причин. Неметалічні матеріали звичайно мають низьку теплопровідність і тому їх частинки поволі прогріваються у плазмі. Час перебування частинок у плазмі становить $\sim 10^{-3}$ с, що часто виявляється недостатнім для повного плавлення на всю глибину частинок матеріалів з низькою теплопровідністю. Крім того, небагато із використовуваних плазмоутворюючих газів ефективно передають теплоту порошку, що нагрівається.

Для практики плазмового напилення велике значення має вирішення взаємозв'язаних задач взаємодії частинок порошку з плазмою.

Недивлячись на різноманіття теоретичних робіт, для практичних цілей найбільш доцільний напівемпіричний підхід, що поєднує використання фізичних уявлень про взаємодію плазми і твердої речовини з експериментальними даними.

Плазма служить джерелом енергії не тільки для нагрівання, плавлення і розпилювання матеріалу, що наноситься, але і для надання йому певного запасу кінетичної енергії. Швидкість частинок напилюваного матеріалу збільшується плазмовим потоком під час руху їх до підкладки.

Покриття, нанесене на поверхню виробу, може бути піддано подальшій обробці з метою надання йому необхідних властивостей.

Для зменшення пористості покриттів його піддають термообробці, просоченню шару з термообробкою, проплавленню або оплавленню шару.

Зменшення пористості покриття можна добитися подальшою термообробкою, напиленням у камері із захисною атмосферою або в динамічному вакуумі, введенням у матеріал покриття легкоокислювальних домішок з подальшим окисленням, просоченням покриття іншими матеріалами.

При газотермічному нанесенні покриттів поверхня шару виходить достатньо грубою, для отримання чистих поверхонь з точними розмірами покриття наносять з деяким припуском для подальшої обробки різанням.

4.3. Плазмотрони

Плазмотрон є основним елементом енергетичної частини плазмового устаткування. За способом одержання електричного розряду розрізняють дугові та індукційні плазмотрони. У плазмотронах першого типу іонізація плазмоутворюючого газу відбувається в електричній дузі постійного або змінного струму. В індукційних плазмотронах цей процес здійснюється під дією змінного високочастотного поля індуктора. Найбільш широко застосовуються в промисловості дугові плазмотрони постійного струму – плазмотрони прямої або непрямої дії, що працюють в інертних, нейтральних і

кисневмісних середовищах. У плазмотроні прямої дії електрична дуга виникає між електродом і оброблюваним виробом, а в плазмотроні непрямої дії – між електродом і соплом. За способом подачі плазмогенеруючого газу розрізняють плазмотрони з тангенціальною та аксіальною подачами. Залежно від умов експлуатації дугові плазмотрони можуть працювати на змінному та постійному струмі, в останньому випадку – у режимі прямої (мінус джерела живлення на електроді плазмотрона) або зворотної (плюс джерела на електроді плазмотрона) полярності. При плазмовому напилюванні покриттів з порошків застосовують плазмотрони непрямої дії.

Плазмотрони всіх конструкцій мають три основних елементи: електрод, сопло та ізолятор, що їх відокремлює.

У теперішній час розроблено велику кількість конструкцій дугових плазмотронів постійного струму, що відрізняються конфігурацією розрядного каналу, сопла-анода та катода, методом введення газопорошкової суміші, конструкцією, матеріалами та способами виготовлення електродів, принципами стабілізації дуги. Найбільшого поширення одержали плазмотрони лінійної (осьової) схеми з поздовжньою подачею плазмоутворюючого газу (рис. 4.2). Електродуговий розряд 1 горить між циліндричним анодом 2 і катодом 3 із гладким (рис. 4.2, а) або східчастим (рис. 4.2, б) каналом, причому в останньому випадку розширення каналу на виході служить для газодинамічної фіксації анодної плями розряду. Для таких плазмотронів характерна простота конструкції, однак мала довжина дуги й, отже, низька напруга розряду призводять до необхідності збільшення струму дуги для підвищення потужності, що негативно позначається на ресурсі роботи електродів.

Для зменшення щільності теплового потоку в катод або анод застосовуються електроди з магнітним обертанням приелектродних ділянок дуги (рис. 4.2, в). Однак у таких пристроях виникає небезпека розсіювання порошку внаслідок обертання дуги. Для збільшення швидкості напилюваних частинок використане надзвукове сопло (рис. 4.2, г). У деяких конструкціях плазмотронів для підвищення ефективності нагрівання і збільшення коефіцієнта використання порошок уводиться в прикатодній зоні плазмотрона. У таких пристроях катодна частина може складатися з вольфрамового стрижневого катода в мідній водоохолоджуваній обоймі, оточеного конічною насадкою 5 (рис. 4.2, д). У зазор між насадкою і катодом подається плазмоутворюючий газ. Напилюваний матеріал разом із

транспортуючим газом надходить у концентричний зазор між цією насадкою й анодним соплом. Конфігурація проточної частини забезпечує змішання потоків плазми й газопорошкового струменя за катодом в зоні інтенсивного тепловиділення.

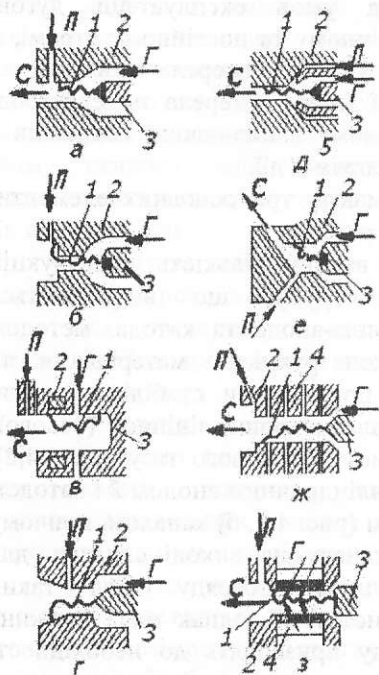


Рис. 4.2. Схеми дугових плазмотронів з поздовжньою подачею плазموутворюючого газу для плазмового напилювання: *а* — лінійний (основний) плазмотрон з гладким каналом; *б* — те ж зі східчастим каналом; *в* — плазмотрон з магнітним обертанням приелектродних ділянок дуги; *г* — плазмотрон з надзвуковим соплом; *д* — плазмотрон з уведенням порошку в прикатодну область; *е* — плазмотрон для напилювання внутрішніх поверхонь; *ж* — плазмотрон з міжелектродними вставками; *з* — плазмотрон з пористою міжелектродною вставкою; 1 — електроодуговий розряд; 2 — анод; 3 — катод; 4 — міжелектродна вставка; 5 — насадка; Г — подача плазموутворюючого газу; П — подача порошку; С — струмінь газопорошкової суміші

Для напилювання внутрішніх поверхонь використовують анодне сопло з поворотом потоку під деяким кутом до осі розрядного каналу (рис. 4.2, *е*). Застосування плазмотронів з міжелектродними вставками дозволяє підвищити потужність плазмових генераторів при забезпеченні підвищеного ресурсу роботи електродів і стабільності режимів горіння дуги. Збільшення потужності при фіксованій силі струму дуги (менше 300 А) досягається підвищенням напруги розряду, що виникає в довгому секційному каналі (рис. 4.2, *ж*). При використанні плазмотронів підвищеної потужності стають більше актуальними завдання збільшення енергетичного ККД плазмового генератора й ефективного охолодження теплонапружених елементів його конструкції. Застосовують плазмотрони з пористою

міжелектродною вставкою 4 (рис. 4.2, *б*), тепловий ККД яких досягає 95 %. Плазмотрони майже всіх конструкцій мають циліндричне порожнє анод-сопло, довжина дуги в них визначається процесами шунтування струмопровідної області плазмового потоку металеву стінкою. Характеристики таких плазмотронів із самовстановлюваною довжиною дуги істотно залежать від стану електродів, ступеня зношування сопла й режимів роботи плазмотрона. У даний час більшість плазмових генераторів, що застосовуються для плазмового напилювання, виконані за схемою із самовстановлюваною довжиною дуги в гладкому або східчастому каналі (рис. 4.2, *а, б*), наприклад, плазмові генератори УМП-5 та УМП-6, плазмотрони ГН-5Р та ГН-5М [23].

Геометрія дугового каналу (рис. 4.3, *б*) і незмінність її під час експлуатації плазмотрона визначають параметри плазмового струменя й стабільність її формування. Вхідна частина сопла зазвичай виконана у вигляді дифузора із плавним переходом у циліндричний канал. На виході в деяких випадках сопло має уступ і конусоподібне розширення. Для створення надзвукових швидкостей використовують сопло Лавалю. Підвищення ресурсу роботи сопла, виконаного, зазвичай, з міді, досягають за рахунок використання вольфрамових вставок, застосовуваних фірмами «Плазма-Технік АГ» і «Кастолін» (Швейцарія). Як катод використовують вольфрам, легований торієм, барієм, лантаном або іншими матеріалами, що знижують роботу виходу електрона. Зазор між анодом і катодом, а також їх співвісність істотно впливають на стабільність і параметри плазмового струменя, тому рекомендується точне центрування електродів, особливо при аксіальній стабілізації дуги. Для охолодження електродів використовують проточні або замкнуті системи охолодження. Фірма «Кастолін» застосовує роздільне охолодження анодного та катодного вузлів, що дозволяє робити швидко зміну електродів без відключення системи охолодження. Порошок зазвичай подається в струмінь на вихідному зрізі сопла (рис. 4.3, *г-ж*) або всередині його в області за анодною плямою (рис. 4.3, *в*). Це дозволяє розділити зону горіння дуги й нагрівання порошку і виключити їх взаємний вплив, що значно підвищує надійність роботи плазмотрона. Введення порошку в струмінь через один отвір, як це здійснюється в більшості плазмотронів, відрізняється простотою, але характеризується нерівномірним завантаженням плазмового струменя. Значно кращі

результати забезпечуються при введенні порошку в струмінь через кілька отворів, що підвищує ККД процесу.

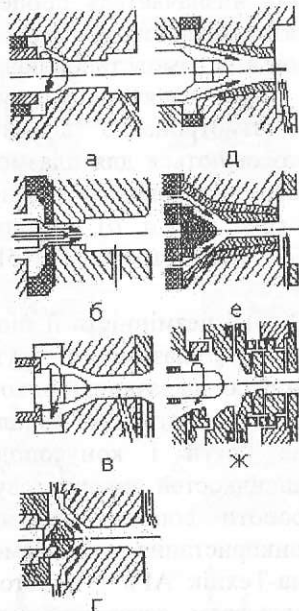


Рис. 4.3. Схематичний вид дугових каналів плазмотронів для напилювання:
 а — установка УПУ, потужність 40 кВт;
 б — установка УМП, потужність 40 кВт;
 в — фірми «Плазмадайн» (США), потужність 80 кВт;
 г — фірми «Метко», потужність 40 кВт;
 д — фірми «Плазма-Технік АГ», потужність 80 кВт;
 е — фірми «Кастолін», потужність 80 кВт;
 ж — фірми «Аква Центрм», потужність 180 кВт

Висока продуктивність процесу напилювання досягається за рахунок збільшення потужності плазмотрона. Так, створений плазмотрон потужністю 160 кВт, що використовує воду як плазмоутворюючу речовину (рис. 4.3, ж). Продуктивність напилювання по оксиду алюмінію становить 30 кг/год, якщо сила струму дуги до 450 А. Дуга горить між графітовим катодом і обертливим анодом, винесеним за зріз сопла плазмотрона.

Важливим моментом при конструюванні плазмотронів є вибір способу просторової стабілізації дуги: осьовим або тангенціальним (вихровим) потоком газу, магнітної крутки стовпа дуги або їх комбінацією. Конструктивна простота, досить високий ККД нагрівання газу і великий термін служби є основними перевагами плазмотронів з вихровою стабілізацією дуги плазмоутворюючим газом. Так, у плазмотронах серії ГН (Ржевське ПО «Електромеханіка») і SG (фірма «Плазмадайн», США) використовується вихрова тангенціальна стабілізація дуги, що забезпечує порівняно з аксіальною більший ступінь обтиснення дуги й більш інтенсивне переміщення

анодної плями дуги по поверхні сопла, що подовжує термін служби анода. При аксіальній стабілізації дуги поліпшені умови введення й нагрівання порошку в плазмовому струменю, тому що порівняно з газовихровою стабілізацією дуги порошок значно менше відкидається в периферійні області струменя, що підвищує компактність напилювання і коефіцієнт використання матеріалу.

Плазмотрон 0890-60 И (рис. 4.4) має цанговий спосіб кріплення катода 1, виготовленого з лантанованого вольфраму, що забезпечує його надійне кріплення і при необхідності швидку заміну. Регулювання зазору між катодом і мідним водоохолоджуванім соплом 7 у процесі експлуатації плазмотрона в міру зношування катода виконується за допомогою цанги.

Технічна характеристика:

- максимальна потужність – 20 кВт;
- максимальна сила струму – 600 А;
- витрата холодної води – 10 л/хв;
- маса – 1,3 кг.

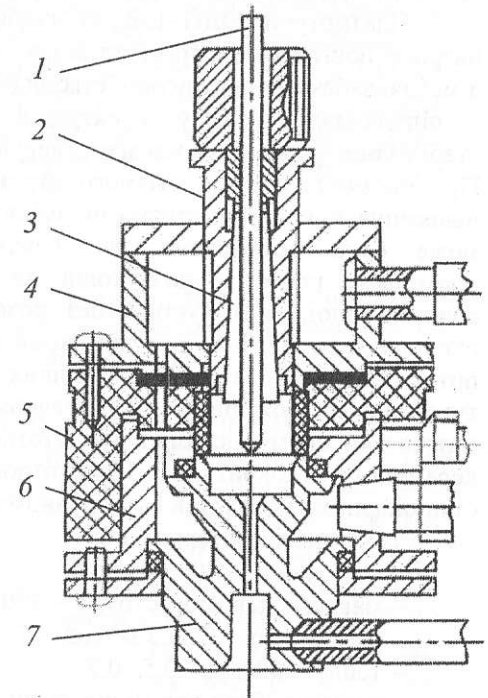


Рис. 4.4. Плазмотрон для напилювання порошкових матеріалів 0890-6011:
 1 — катод; 2 — втулка;
 3 — цанга; 4 — кришка;
 5 — корпус; 6 — стакан;
 7 — сопло

У пальнику застосований вихровий метод стабілізації дуги тангенціальною подачею плазмоутворюючого газу в робочу камеру. Необхідна співвісність між катодом і соплом пальника в зборі досягається шляхом токарної обробки посадкової поверхні кришки 4 і конуса втулки 2 з однієї установки після аргонодугового зварювання.

Робочі поверхні сопла й катода, а також посадкові місця цанги виконані з високим ступенем точності та шорсткості поверхні. Плазмотрон може бути використаний для напилювання в автоматичному й ручному режимах. При напилюванні в ручному режимі виготовлюють новий тримач або допрацьовують готовий від пальника ГН-5Р установки УПУ-3М. Плазмотрон комплектується набором цанг для застосування катодів діаметром від 3 до 8 мм.

Плазмотрон має такі переваги: простота регулювання зазору між катодом і соплом; простота виготовлення самого електрода і його більш ощадливе використання; більш тривалий термін служби катодного вузла. Термін служби такого плазмотрона, обумовлений головним чином терміном служби сопла, досягає 100 год.

Плазмотрон ЭДП-162 (з газовихровою стабілізацією дуги) нагріває повітря, азот, аргон та їх суміші до температур 6000...8000 К. З метою забезпечення високої стабільності електричних характеристик і підвищення ресурсу електродів застосована вихрова газова стабілізація розряду й магнітне керування анодною ділянкою дуги. При цьому параметри стічного струменя, що впливають на якість нанесення покриттів, істотно не змінюються. Зміною вихідних сопел може бути реалізовано два режими витікання турбулентного плазмового потоку – дозвуківий та надзвуківий. Зміна вихідного сопла й анода виконується без розгерметизації системи водяного охолодження. Передбачено дві схеми введення порошку в плазмовий потік: під зріз сопла для легкоплавких матеріалів і в канал сопла – для тугоплавких. Можливість застосування як плазмоутворюючих повітря й газів з високим змістом кисню істотно знижує витрати при нанесенні керамічних покриттів. Плазмотрон використовується як у стаціонарних умовах, так і при ручному напилюванні.

Технічна характеристика:

- потужність – 20...40 кВт;
- максимальна сила струму – 300 А;
- расход газу – 2,5...5 м³/год;
- тепловий ККД – 0,5...0,7;
- ресурс роботи при мідному аноді – не менше 50 год;
- при вольфрамовому або композиційному аноді – 100 год;
- маса – 0,7 кг;
- габаритні розміри: діаметр – 80 мм, довжина – 130 мм.

Плазмотрон з індивідуальним охолодженням анодного та катодного вузлів (рис. 4.5). Таке конструктивне рішення дозволяє

підвищити термін служби пальника й спрощує процес заміни деталей, що зношуються. Пальник складається з катодного та анодного вузлів, з'єднаних чотирма болтами або іншими кріпильними елементами. Катодний вузол являє собою кожух з ізоляційного матеріалу, в якому змонтований елемент циліндричної форми для установки катода, виготовлений з міді й оснащений двома патрубками для введення та виведення холодної води.

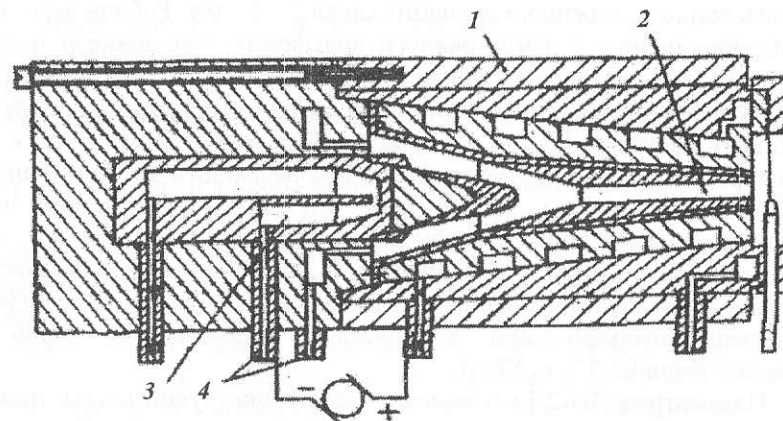


Рис. 4.5. Плазмотрон з індивідуальним охолодженням анодного та катодного вузлів: 1 – кожух; 2 – анодний вузол; 3 – канали для охолодження катода та анода; 4 – катодний вузол

Основний недолік описаних вище плазмотронів – необхідність роботи при великій силі струму, що знижує їх ресурс роботи, надійність і ККД. Цього недоліку позбавлені плазмотрони з міжелектродною вставкою, в яких підвищення потужності забезпечується збільшенням напруги на дузі. Розроблені плазмотрони різних модифікацій типу ПН із секційними міжелектродними вставками, що мають від двох до шести секцій. Застосування вставок дозволяє подовжити дугу, знизити силу струму, зберігаючи потужність, і, як наслідок, зменшити ерозію електродів і підвищити стабільність роботи.

Як плазмоутворюючий газ в плазмотронах типу ПН із вольфрамовим стрижневим катодом використовують інертні гази, а з гафнієвим або цирконієвим – повітря. Подача порошку здійснюється або за зрізом плазмотрона, або в канал поблизу вихідного перетину.

При цьому залежно від типу порошку і його грануляції змінюються місце та кут уведення порошку стосовно вісі каналу. Продуктивність при нанесенні покриття з оксиду алюмінію досягає 10 кг/год.

Плазмотрон ПН-1 має самовстановлювану довжину дуги. Дуговий канал плазмотрона конусний, з переходом у циліндричний діаметром 7 мм. Довжина циліндричної частини каналу сопла залежно від його номера змінюється від 15 до 30 мм. Основним елементом служить сопло з довжиною дугового каналу 20 мм. Робоча вершина катода, виконаного з лантанованого вольфраму, має діаметр 6 мм. Катод у мідній обоймі встановлюється на відстані 3 см від вихідного зрізу сопла. Таке розташування катода забезпечує формування дуги довжиною близько 1,2 см при подачі аргону (довжина дуги в плазмотронах, катод яких устанавлюється на вході в дуговий канал, становить 0,5...1,0 см). Підвищення потужності досягається при порівняно великій силі струму дуги (близько 400...500 А), що призводить до помітної ерозії електродів, нестабільності плазмового струменя і до невідтворюваності режиму напилювання. Аналогічні результати отримані при експлуатації плазмотронів серійних установок типів КУТУ та УМП.

Плазмотрон ПН-2 і всі описані нижче конструкції плазмотронів серії ПН мають секційовану міжелектродну вставку. У ньому встановлені дві секції вставки, довжина дуги становить 2,2 см. Максимальна сила струму дуги невисока (300...350 А), що забезпечує більш тривалу і стабільну експлуатацію плазмотронів при нанесенні емісійних і електроізоляційних покриттів. Катод виконаний з лантанованого або тарованого вольфраму.

Плазмотрон ПН-6 використовується для нанесення переважно товстих покриттів і для формування виробів. Працює на азоті, продуктивність по оксиду алюмінію становить близько 10 кг/год, пористість 0...2 %.

Плазмотрон ПН-14м служить для напилювання щільних жаро-, зносо-, корозійностійких, теплозахисних, антифрикційних та інших покриттів. Він складається зі стрижневого конусного катода, секційованої міжелектродної вставки з шести секцій, що утворюють дуговий канал і східчастий сопло-анод. Газ подається збоку катода аксіально. Плазмотрон може працювати в ручному або механізованому режимі від джерел живлення з напругою холостого ходу більше 150 В.

Плазмотрон ПН-15 призначений для нанесення металевих покриттів з міді, нікелю та інших металів на різні вироби електронної

техніки. Характеризується високою стабільністю, надійністю і тривалим ресурсом роботи.

Плазмотрон ПН-16 служить для напилювання покриттів тугоплавких матеріалів з підвищеною продуктивністю процесу напилювання. Працює переважно на суміші аргону з азотом.

Плазмотрон ПН-20 підвищеної потужності, застосовується для механізованого напилювання тугоплавких матеріалів зі збільшеною продуктивністю, виконаний на основі плазмотронів ПН-14 та ПН-16. Конструкція його більш зручна з погляду технології збирання – розбирання. Поліпшено конструкції катода та анода. Для підвищення стабільності горіння дуги дуговий канал зроблено конусоподібним.

Розроблено ряд плазмотронів різного призначення типу ПВК потужністю від 10 до 200 кВт з катодом, що постійно поновлюється.

Конструювання плазмотронів базувалося на таких вимогах: забезпечення стабільного горіння дуги з незмінними у часі параметрами, забезпечення разом з катодом підвищеного ресурсу роботи сопла-анода, простота конструкції, збирання та розбирання, технологічність виготовлення, безпека експлуатації. Відповідно до цього основними уніфікованими елементами плазмотронів незалежно від призначення і потужності є катодотримач із закріпленням у ньому складеним катодом, анод-сопло зі ступінчастим каналом, ізолююча електроди втулка, завихрювач плазموутворюючого газу. На рис. 4.6 наведена конструкція плазмотрона ПВК-50.

У табл. 4.1 наведені основні параметри струменевих плазмотронів ПВК-50 та ПВК-200.

Таблиця 4.1

Основні параметри плазмотронів ПВК-50 та ПВК-200

Найменування параметра	Норма параметра	
	Плазмотрон ПВК-50	Плазмотрон ПВК-200
Установка		
Потужність номінальна, кВт	40	150
Межі зміни струму, А	120...350	250...600
Витрата плазموутворюючої суміші природного та вуглекислого газів, г/с	0,1...0,6	0,8...4,5
Те саме, нм ³ /год	1,0...1,5	2...10
Робоча напруга на дузі, В	120...180	220...300
Термічний ККД плазмотрона, %	70...75	70...80

Закічення табл. 4.1

Найменування параметра	Норма параметра	
	Плазмотрон ПВК-50	Плазмотрон ПВК-200
Установка	Плазмотрон ПВК-50	Плазмотрон ПВК-200
Корисна теплова потужність плазмового струменя, кВт	25...35	60...150
Повна ентальпія суміші газів на виході з сопла (розрахункова), кДж/г	45...65	20...45
Те саме, кДж/моль	500...600	250...360
Середньомасова температура суміші газів на виході з сопла, К	7000...10000	5000...7000
Швидкість витікання суміші газів на виході з сопла, м/с	950...1300	1000...1200

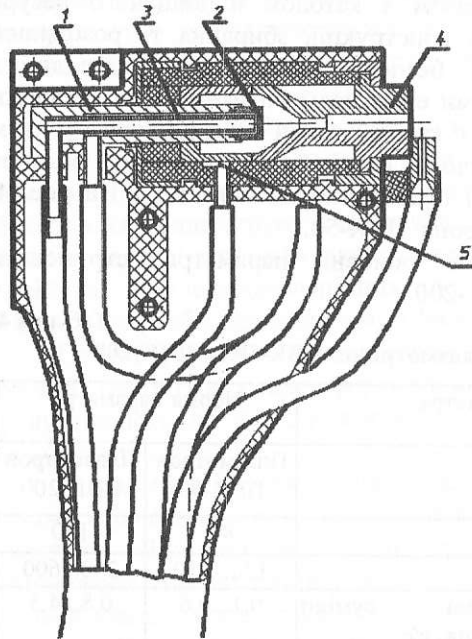


Рис. 4.6. Плазмотрон ПВК-50:
1 — катодотримач; 2 — корпус катода;
3 — трубка охолодження катода;
4 — анод-сопло; 5 — завихрювач

В установках для напилення плазмотроном ПВК-50 застосовані джерела живлення, що серійно випускаються.

До складу установки входять системи водо- та газопостачання, подачі порошку.

В авіаційній промисловості і на ремонтних заводах плазмовим напиленням наносять матеріали ВКНА (23% Al, 2% легуючих добавок, 73% Ni), СНГН (16% Cr, 4% Si, 4% B, 76% Ni), КХН (25% CrC₂, 75% Ni) та ін.

4.4. Зміст технологічного процесу нанесення покриття КХН-15 при відновленні двигуна Д-36

Підготовка до нанесення покриття

1. Перед виконанням робіт із плазмового напилення перевіряється: справність установок і відсутність у них сторонніх предметів; справність вентиляції; справність повітряної магістралі; справність газових балонів і наявність у них газу.

2. Перевіряється кількість сертифікатів на порошок, що напилюється. Порошок ВКНА повинен відповідати ТУ 14-1-1790-76; порошок нікелю марки ПНЭ-1 – ГОСТ 9722-72; порошок карбіду хрому гранулами у 40...100 мкм – ТУ 14-13891-84.

3. Не допускається попадання масла і пилу на напилювану поверхню.

4. Використовується верстатне устаткування: круглошліфувальний верстат і плазмова установка.

5. Використовується нормальний різальний інструмент: круг шліфувальний ПП 300-8-32; шабер 150; круг гнучкий полірувальний ПП 125-8-32.

6. Використовуються матеріали: лакофарбові – лак, кремній органічний; хімікати – бензин або ацетон технічний, аргон (газ), азот (газ).

Підготовка матеріалів, що напилюються

1. Просушується роздільно порошок нікелю і карбіду хрому в сушильній шафі при температурі 150...200° С протягом 2...3 год.

2. Після сушки порошок зважується: карбід хрому – 85%, нікель – 15%.

3. Перед нанесенням суміш КХН-15 просушується протягом 1,5...2 год у деках з нержавіючої сталі при температурі 100...150°С. Після сушки суміш повинна бути використана протягом 5 год.

4. Порошок ВКНА перед нанесенням просушується протягом 2...3 год на деках з нержавіючої сталі при температурі 150...200°С.

Видалення старих покриттів КХН-15

1. Перевіряються геометричні розміри деталі згідно з ескізом. Видалення покриття проводиться при виробленні відновлюваної поверхні на 0,015 мм і більше понад допуск на розмір.

2. Проводиться збирання деталі в пристрої і видалення старого покриття на круглошліфувальному верстаті. Шліфування поверхні ведеться до діаметра 15,7...0,35 мм.

Підготовка поверхні деталі

1. Проводиться знежирення деталі бензином або ацетоном і просушування на повітрі протягом 10...15 хв.
2. Деталь монтується в пристосування (для обдування).
3. Поверхня, що підлягає напиленню, обдувається електрокорундом при тиску повітря 3...5 кгс/см².
4. Після обдування електрокорундом деталь очищається від пилу сухим стислим повітрям при тиску 4...6 кгс/см².
5. Перевіряється якість обдування. Обдута поверхня повинна мати рівномірну шорсткість, без темних та світлих плям. Залишок старого покриття не допускається.

Напилення підшару ВКНА

1. Деталь встановлюється в пристрій для напилення.
2. Пристрій з деталлю встановлюється в патрон установки і проводиться налагодження плазмотрона. Відстань між плазмотроном і деталлю 100...120 мм.
3. Встановлюється швидкість обертання деталей 60 об/хв та переміщення плазмотрона 100...200 мм/хв.
4. Порошок ВКНА поміщається в дозатор установки. Проводиться напилення підшару ВКНА товщиною 0,05...0,08 мм.

Нанесення покриття КХН-15

1. У дозатор установки поміщається порошок покриття КХН-15, заздалегідь прибравши з дозатора порошок ВКНА.
2. Наноситься покриття КХН-15 з товщиною шару 0,25...0,40 мм.
3. Перевіряються діаметри напилюваної деталі.
4. Пристрій знімається з установки і розбирається.
5. Перевіряється якість покриття КХН-15. Тріщини, сколи і здуття не допускається.
6. Допускається наявність покриття на прилеглих поверхнях на відстані 1...2 мм і відсутність покриття на відновлюваній поверхні до 1мм.
7. Перевірка міцності зчеплення нанесеного шару проводиться на напилених зразках не рідше за один раз на квартал і після кожного ремонту плазмової установки.

Механічна обробка покриття КХН-15

1. Деталь збирається в пристрій і встановлюється на круглошліфувальний верстат.
2. Напилена поверхня шліфується до діаметра 16...0,12 мм.
3. Зачищаються заусенці та гострі кромки радіусом 0,4...0,6 мм у місцях, вказаних на ескізі.

Виправлення дефектів

Проводиться у разі виявлення дефектів після механічної обробки типу тріщин, сколів, рихлот або зниження розмірів понад допуск.

Контроль міцності зчеплення покриттів

1. Заміряється довжина зразків до напилення.
2. Зразки встановлюються в пристосування для напилення.
3. Пристрій закріплюється в патроні маніпулятора.
4. Проводиться напилення підшару ВКНА.
5. Наноситься покриття КХН-15.
6. Заміряється висота зразків. Визначається товщина напилюваного шару за різницею висоти зразків до і після напилення. Товщина напилюваного шару 0,7...0,9 мм.
7. Зразки виймаються з пристрою.
8. Перевіряється якість покриття. Тріщини, відшаровування, спучування на напилених зразках не допускається.
9. Визначається міцність зчеплення покриття з основним матеріалом методом розриву на розривній машині. Необхідно перевіряти якість напиленого шару на міцність зчеплення при доведенні технологічного процесу раз на тиждень, при сталому виробництві – раз на квартал і після кожного ремонту плазмової установки. Середня міцність зчеплення покриття на 10 зразках не менше 200 кгс/см² (19,7 МПа).

Питання і завдання для самоконтролю

1. Поясніть сутність плазмового напилювання покриттів та його переваги.
2. Назвіть основні елементи плазмотронів.
3. Назвіть основні етапи ТП нанесення покриттів при відновленні авіадвигунів (на прикладі напилення покриття КХН-15).

ня
до
)
ду
за,
го
ту
нь
гь,
у
у
ня
у
ій
ть
її
та
у
з і
є з
пу
ей,
%,
алі

ня
з
го

5. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ЗВАРЮВАННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

5.1. Зварювання і зварюваність

Зварювання як спосіб отримання нерознімного з'єднання широко використовується як при виробництві, так і при відновленні повітряних суден і авіаційних двигунів [7].

Зварювання дозволяє отримати герметичні з'єднання, знижувати масу конструкції виробів, зменшувати трудомісткість виготовлення та складання [6].

Швидкість і простота технологічного процесу, можливість ремонту у важкодоступних місцях дозволяють застосовувати зварювання при відновленні підмоторних рам, лонжеронів, деталей шасі, органів керування, вузлів кріплення агрегатів і т.ін.

Зварювання металів (ГОСТ 2601-84) – це процес отримання нерознімного з'єднання металевих виробів нагріванням їх до розплавленого або пластичного стану (без застосування або із застосуванням механічного зусилля).

Складність конструкцій виробів і різноманітність матеріалів та їх конструктивних елементів обумовлюють застосування різних видів зварювання.

У ремонтному виробництві застосовують газове та електродугове зварювання. У газовому зварюванні джерелом тепла є горюча суміш газів ацетилену або водню з киснем. Температура полум'я при горінні ацетилену з киснем становить 3000°C. Електродугове зварювання здійснюється плавким або неплавким електродом, відкритою дугою, під шаром флюсу або в захисному газі. Можна використовувати точкове, роликове або стикове контактне зварювання з оплавленням або без оплавлення. Широко впроваджується електронно-променеве зварювання у вакуумі або світлопроменеве (лазерне) та плазмове зварювання.

Вибір того або іншого виду зварювання залежить насамперед від забезпечення надійної зварюваності металів. Під *зварюваністю* розуміється властивість металу або сполучення металів утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання, яке відповідає вимогам конструкції та експлуатації виробів.

Розрізняють два види зварюваності металів – фізичну та технологічну.

Фізична зварюваність – це отримання нерознімного з'єднання металу утворенням міжатомних зв'язків.

Технологічна зварюваність – це чутливість металів і сплавів до нагрівання (зміна їх структури, механічних властивостей і т.ін.). Технологічна зварюваність або просто зварюваність залежить від ряду факторів: хімічного складу сплаву, конструкції зварного шва, елементів з'єднання, товщини металу, температури навколишнього середовища та ін. Наприклад, зварюваність сталі залежить від вмісту вуглецю, чим його більше, тим зварюваність гірша. *Погіршують зварюваність домішки сірки, кисню, водню, азоту.*

Збільшення вмісту *вуглецю* в сталі погіршує її зварюваність, підвищує схильність до загартування та утворення тріщин у навіколошовній зоні.

Марганець є корисною домішкою в сталі. Його вміст у маловуглецевій сталі становить 0,8% і приводить до поліпшення механічних властивостей та зварюваності сталі.

Кремній вводять у вуглецеву сталь як розкислювач. У маловуглецевій сталі його вміст не перевищує 0,45%. Кремній покращує міцність та зварюваність сталі.

Сірка та фосфор – шкідливі домішки, що погіршують зварюваність сталі. Як правило, їх вміст не перевищує 0,04...0,05%.

Наявність легуючих елементів у сталі значно покращує її механічні властивості: підвищує ударну в'язкість, зносостійкість та твердість.

Зазвичай домішка хрому та нікелю в сталі – 0,2...0,3%. У конструкційних сталях хрому та нікелю міститься відповідно до 3 і 5%, у спеціальних – хрому 12...35%, нікелю 8...25%. *Хром* утворює з вуглецем карбіди, що сприяють виникненню гартівних структур типу мартенситу. *Нікель* сильно підвищує пластичність та міцність сталей, на зварюваність впливає позитивно.

У конструкційних сталях молібдену міститься в межах 0,2...0,5%, у спеціальних інструментальних сталях – до 0,8%. *Молібден* у сталі подрібнює зерно, підвищує ударну в'язкість та опір навантаженням.

Ванадій у сталі ускладнює її зварюваність через утворення гартівних структур.

Зварюваність передбачає отримання зварного з'єднання з механічними та фізико-хімічними властивостями на рівні основного металу за відсутності дефектів.

Основними дефектами зварного шва є:

- пори;
- гарячі та холодні тріщини;
- крихкі руйнування.

Найбільш істотними і недопустимими дефектами є гарячі та холодні тріщини. Існують розрахункові способи визначення схильності до утворення тріщин в основному металі.

Гарячі тріщини. Критерієм їх утворення є відношення, яке характеризується виразом:

$$K = C(S + P + 0,04Si + 0,01Ni) / (3Mn + Mo + Cr + V),$$

де S, P, Si, Ni – домішки, що викликають утворення гарячих тріщин; Mn, Mo, Cr, V – домішки, що попереджують утворення гарячих тріщин.

Якщо $K < 0,004\%$, то гарячі тріщини, як правило, не утворюються.

Схильність до утворення холодних тріщин можна приблизно визначити за сумарним вмістом легуючих домішок у відсотках, приведеним до еквівалента вуглецю C_e :

$$C_e = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 + (Cr + Mo + V)/5,$$

де цифри 6, 15 та 5 є незмінними величинами.

При $C_e < 0,45\%$ у сталях холодні тріщини, як правило, не утворюються. При $C_e > 0,45\%$ сталі схильні до появи тріщин в околшовній зоні.

Якщо зварюваність сталі погіршується, то для отримання якісного з'єднання потрібні додаткові операції: до зварювання – попередній підігрів, а після зварювання – відпал або нормалізація. Таким чином, при зварювальних або наплавлювальних роботах слід пам'ятати про хімічний склад сталі та наплавлювальних матеріалів і про вплив різних легуючих елементів у сталі на її зварюваність. Залежно від цього слід вибирати спосіб та технологію зварювання деталей, які гарантували б отримання високоякісного зварного з'єднання та шару наплавленого металу.

Виходячи з характеристики зварюваності сталі їх можна розділити за класами: перлітні, мартенситні, феритні та аустенітні.

До класу перлітних відносяться мало- і середньолеговані сталі із вмістом вуглецю 1,2...0,4% і сумарним вмістом легуючих елементів не більше 6%. Це сталі 30ХГСА, 18ХНМА, 15ХМА, 20ХМА та ін. Для цього класу сталей придатні всі методи зварювання залежно від конструкції АТ.

До класу мартенситних відносяться сталі із вмістом вуглецю 0,1...0,4% і хрому 12...14%. Це сталі 1Х13, 2Х13, 4Х13, 18Х2Н4ВА та ін. Вони схильні до утворення гарячих і холодних тріщин. Найбільш ефективними для них є електродугове та електронно-променеве зварювання. Перед зварюванням виконується підігрів зварюваних деталей, а після – їх термічна обробка для відновлення пластичних властивостей.

До класу феритних сталей відносяться Х17 (ЭШ17), Х18ЦЮ та ін., процентний вміст хрому в яких становить більше 17. Високоякісне зварювання отримують при малій товщині деталей, при збільшенні товщини механічні властивості зварювання знижуються внаслідок росту зерна. Для поліпшення механічних властивостей зварювання необхідні попередній підігрів і термообробка шва після зварювання, а також введення у зварювальний дріт алюмінію, ванадію, титану. Найбільш доцільні електродугове, контактне та електронно-променеве зварювання.

Клас аустенітних поєднує нержавіючі сталі Х14М14Н3Т (ЭИ-711), Х18Н10Т, Х18Н11Б (ЭИ-398) та ін. з високим вмістом хрому і нікелю, при зварюванні яких можлива поява гарячих тріщин. Для поліпшення зварюваності необхідно вводити легуючі елементи з метою зменшення зерен. При зварюванні від нагрівання можуть погіршуватися антикорозійні властивості сталей при температурах 550...800°C, коли розчинність вуглецю різко зменшується і відбувається його дифузія до границь зерен. На границях зерен хром утворює карбіди, внаслідок чого примежові зони збіднюються хромом. Щодо запобігання цього явища доцільне зварювання таких сталей на високих швидкостях і при високій концентрації джерела тепла, а також термообробка виробу після зварювання.

5.2. Зварювальні властивості та умови зварювання сталей

Сталі залежно від свого хімічного складу та механічних властивостей діляться на дві основні групи:

- вуглецеві, що являють собою сплави заліза з вуглецем і містять, як немінучі домішки, марганець, фосфор та сірку;
- леговані – сплави заліза з вуглецем, що містять, окрім немінучих домішок, ще й легуючі елементи: хром, нікель, мідь, ванадій та ін.

Вуглецеві сталі за хімічним складом розділяються на *маловуглецеві*, що містять до 0,24% вуглецю, *середньовуглецеві*, що містять 0,25...0,37% вуглецю, та *високовуглецеві*, що містять вуглецю в межах від 0,38 до 0,55%. Вуглецеві сталі залежно від призначення підрозділяються на конструкційні (м'які сталі зі зниженою міцністю – маловуглецеві і сталі середньої твердості та міцності – середньовуглецеві) та інструментальні (тверді сталі з підвищеною крихкістю – високовуглецеві). Вуглецеві конструкційні сталі у вигляді прокату різної товщини та профілю в основному застосовуються в зварних конструкціях у будівництві та в машинобудуванні.

Інструментальні сталі застосовуються для виготовлення різних ріжучих, вимірювальних та ударних інструментів. Інструментальна сталь ділиться на якісну та високоякісну. Сталь якісна позначається буквою У і цифрою, що вказує кількість вуглецю в десятих частках відсотка (наприклад, У7, У8 і далі до У13). Високоякісна сталь містить менший відсоток фосфору та сірки і позначається У7А, У8А. В залежності від матеріалу, для обробки якого призначений інструмент, а також від умов, в яких доводиться йому працювати, інструментальні сталі розбиваються на групи: вуглецеві інструментальні, леговані інструментальні, швидкоріжучі, тверді сплави.

Леговані сталі – сплави заліза з вуглецем, що містять, окрім неминучих домішок (марганцю, кремнію, сірки та фосфору), також легуючі домішки: хром, нікель, мідь, ванадій, молібден та ін. У низьколегованих сталях допускається збільшення вмісту марганцю до 1,6...1,8% та кремнію до 1...1,1%.

Залежно від загального вмісту легуючих елементів леговані конструкційні сталі розділяються на три групи:

- низьколеговані, що містять сумарно не більше 2,5% легуючих елементів та використовуються без додаткової термічної обробки;
- середньолеговані, що містять від 2,5 до 10% легуючих елементів та використовуються звичайно після відповідної термічної обробки;
- високолеговані – містять 10...55% легуючих елементів (магнітні, немагнітні, нержавіючі, жароміцні і т.п.).

Різні конструкційні сталі умовно можна розділити на чотири групи залежно від їх зварювальних властивостей і відповідно до них вибирати умови зварювання (табл. 5.1, 5.2).

Таблиця 5.1

Розподіл сталей на групи за їх зварювальними властивостями

Марки сталей		
Вуглецеві	Низьколеговані	З особливими властивостями
I група		
М*Ст1; МСт2; МСт3; МСт4; Ст3; 05; 05кп; 08; 08кп; 10; 10кп; 15; 15кп; 20; 20кп; 25; Б**Ст3; БСт4	15ГС; 10Г2СД; 14ХГС; 14ХГСН; 10ХГСНД; 15Г; 10ХСНД; 10ХГ2Н; 14ХГ2Н; 09Г2; 15Х; 15Г2; 10ГНД; 10Г2; 10ХНДП; 15ХА; 15НМА; 12ХН3А; 15ХФА; 12Х2Н3МА; 15ХСНД	0Х18Н9; 1Х18Н9Т; Х18Н11Б
II група		
МСт5; 30; 35; БСт5	18Г2С; 25Г2С; 19Г; 20Г; 20Г2; 12Х2Н4А; 12ХН2; 24Г; 12ХГ; 20ХА; 20ХФ2; 20МА; 20ХМА; 20ХГА; 18ХГМА; 20ХНА; 30Г; 30Х; 30ХМ; 16ХСН; 18ХГТ; 27СГ	Х28; Х5М; Х18Н12М2Т; 1Х19Н9; Х18Н12М3Т; Х23Н13; Х23Н18; 1Х14Н14В2М; 25Х; Х25Т
III група		
40; 45	30ХГ2С; 35СГ; 35Х; 25ХГС; 30ХГТ; 30ХГСНА; 30ХГМА; 30МА; 35ХМНА; 30НА; 26Х2МФА; 25Х2МФА; 20ХН3А; 20ХНВА; 20ХН4ФА; 20Х2Н4А; 40Г; 40Х; 30ХН2МФА; 20ХГС	1Х13; 2Х13; Х14; Х17; Х17Н2; Х6С; Х25С3М; Х20НМС2; Х6СМ; Х7СМ; Х18Н25; Х18Н25С2; 2Х18Н9
IV група		
50; 60; МСт7	36Г2С; 38ХА; 38Х10; 33ХС; 39ХС; 40ХС; 40ХГ; 35ХГ2; 30ХГС; 35ХГТ; 40ХН; 30ХН3А; 38ХГН; 45ХА; 40ХФА; 50ХФА; 50Х; 50ХН; 50Г; 50Г2; 32Х2МА; 40ХГМА; 35ХГСА; 35ХМФА; 40ХНА; 37ХН3А; 33ХН3МА; 45ХНМФА	Х18; Х13Н7С2; 4Х14Н1; 4В2М; 3Х13; 4Х13; Х9С2

* Мартенівський спосіб виробництва сталі.

** Бесемерівський спосіб виробництва сталі.

Таблиця 5.2

Умови зварювання сталей в залежності від групи і типу конструкції

Тип конструкції, марка сталі	Умови зварювання	Примітка
I група		
Невідповідальні конструкції з маловуглецевої сталі	Зварювання без попереднього підігріву, в будь-яких температурних умовах і без подальшої термообробки	—
Складні конструкції з низьковуглецевої та легованої сталі перлитового класу	Необхідний попередній підігрів до 100–150°C (товщина конструкції понад 25 мм)	При вмісті вуглецю в сталі 1,6%
II група		
Невідповідальні конструкції з середньовуглецевої сталі	Зварювання без попереднього підігріву	—
Складні вузли та конструкції з великою жорсткістю з низьколегованої та легованої сталі	Необхідний попередній та супутній підігрів до 200°C, а після зварювання – відпуск при 600–650°C	—
III група		
Невеликі вироби елементарної форми з середньовуглецевої сталі	Зварювання без попереднього підігріву з подальшим високим відпуском при 650°C	—
Складні вузли та конструкції з великою жорсткістю з низьколегованої та легованої сталі	Необхідний попередній та супутній підігрів до 250–400°C з подальшим відпуском	Для відповідальних деталей необхідна термічна обробка
IV група		
Складні вузли та конструкції з високовуглецевої, низьколегованої сталі та сталі з особливими властивостями	Зварювання з попереднім загальним та супутнім підігрівом до 250–650°C. Після зварювання обов'язкова термічна обробка залежно від марки сталі	—

5.3. Зони термічного впливу і вибір виду зварювання

Збереження міцності елементів конструкції при ремонті зварюванням значною мірою залежить від правильного вибору виду зварювання. При ремонті авіаційних конструкцій, виготовлених зі сталі, зазвичай, використовують ацетилено-кисневе або електродугове зварювання. У цьому випадку метал деталей стримує локальне плавлення. Розподіл температур у металі біля зварювального полум'я має характер, обумовлений видом зварювання й товщиною деталей. Як наслідок, при ремонті сталевих конструкцій зварюванням у зоні зварного шва спостерігається область термічного впливу, розмір якої залежить від виду зварювання. Вплив цієї області на міцність конструкції буде різним і залежить від вихідної міцності конструкції. Чим вище потужність зварювального полум'я, а отже, і вище швидкість зварювання, тим більш вузька область впливу зварювального тепла на деталі.

У області термічного впливу залежно від характеру структурних змін, розрізняють три зони: плавлення основного та присадкового металів, загартування і додаткового відпуску.

У зоні плавлення метал має характерну для литого металу дендритну структуру. Внаслідок нагрівання до високих температур і швидкого охолодження виробу на повітрі поряд зі зварюванням відбувається процес загартування металу. Тому твердість металу зварювального шва після зварювання часто виявляється вище твердості основного металу.

У зоні загартування за характером структурних змін можна виділити три ділянки (рис. 5.1):

- ділянка 1 в інтервалі температур від початку плавлення до температури $\sim 1100^{\circ}\text{C}$;
- ділянка 2 в інтервалі температур від 1050°C до критичної точки ($\sim 800^{\circ}\text{C}$);
- ділянка 3 в інтервалі температур нижче критичної точки A_{c1} до критичної точки A_{c} .

У ділянці 2 зони загартування метал не розплавляється, однак твердий розчин витримує значний перегрів, викликаний високою температурою на границі сплавлення. У зв'язку із цим метал у цій ділянці отримує крупнокристалічну структуру. У перехідній ділянці метал отримує ще більшого загартування, ніж наплавлений, а отже, і більш високу твердість. Дана ділянка найбільш слабка у зварному

з'єднанні й під час експлуатації у ній найчастіше спостерігаються дефекти у вигляді тріщин.

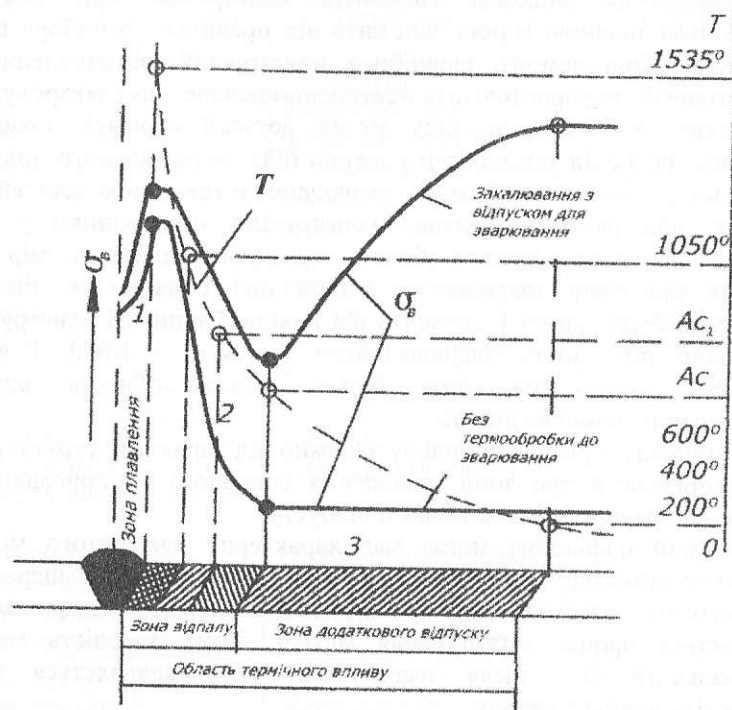


Рис. 5.1. Структурні зміни металу в зоні зварного шва при зварюванні плавленням: 1 – зона плавлення; 2 – зона відпалу; 3 – зона додаткового відпуску; T – крива зміни температури; σ_v – крива зміни межі міцності

Діапазон температур ділянки 2 відповідає нормальній термічній обробці сталі. Тому на цій ділянці метал охолоджуючись повністю перекристалізується. Різкої границі між ділянками 1 і 2 у легованої сталі не виявляється, їх називають ділянкою повного загартування.

У ділянці 3 не відбувається повної перекристалізації, внаслідок чого його механічні властивості відносно невисокі.

Міцність металу в зоні загартування і ширина цієї зони не залежать від вихідної міцності зварюваного металу, а залежать тільки від виду зварювання й товщини металу виробу. Якщо зварюванням відновлюють виріб, що раніше пройшов нормалізацію або

загартування на невисоку межу міцності, то метал у зоні загартування буде мати після відновлення більш високу межу міцності у порівнянні з міцністю вихідного металу ремонтного виробу.

В авіаційних конструкціях, що пройшли в процесі виробництва загартування з відпуском, при відновленні зварюванням вплив зварювального тепла на основний метал поширюється вже на область нижче критичної точки A_{c1} . Вироби, термічно оброблені перед відновленням на різні межі міцності, після зварювання мають різні області термічного впливу. Так у виробах, термічно оброблених на високу межу міцності, при відновленні зварюванням область термічного впливу розширюється і навпаки. При цьому дія зварювального тепла приводить до значного ослаблення елемента конструкції, що відновлюється, за рахунок утворення зони додаткового відпуску.

Таким чином, при відновленні виробів зварюванням розмір зони загартування не залежить від характеру попередньої термічної обробки металу перед відновленням, а зона додаткового відпуску буде тим ширша, чим вища вихідна міцність ремонтного елемента.

Як показують дослідження, найбільш слабким місцем виробу після відновлення зварюванням є область термічного впливу, мінімальна міцність в якій характеризується границею зон 2 і 3 (див. рис. 5.1). У зв'язку із цим при виконанні відновлювальних робіт зварюванням виникає проблема зменшення області термічного впливу.

Установлено, що на розмір області термічного впливу вирішальний вплив робить потужність зварювального полум'я, що буде різним залежно від виду зварювання.

Нагрівання металу газовим полум'ям відбувається внаслідок теплообміну між газовим полум'ям і ділянками поверхні виробу, що нагрівається. Внаслідок розтікання газового потоку полум'я нагріває значну за розмірами область поверхні виробу. Електрична дуга, перетворюючи електричну енергію в теплову, має високу температуру і виділяє значну кількість тепла безпосередньо на поверхні металу в активній зоні дуги. Таким чином, область термічного впливу при використанні газового та електродугового зварювання має різні розміри, а отже, і по-різному впливає на втрату міцності після відновлення.

Тому критерієм для вибору виду зварювання при відновленні сталевих елементів конструкцій АТ повинна бути межа міцності при

розтягуванні ремонтного елемента конструкції після його термообробки. При цьому для відновлення зварюванням конструкцій, термічно оброблених на високу межу міцності, необхідно використовувати такий вид зварювання, який дає найменшу область термічного впливу. Цій вимозі найбільше задовольняє електродугове зварювання.

Встановлена область використання ацетилено-кисневого та електродугового зварювання при виконанні відновлювальних робіт. Ацетиленокисневе зварювання при відновленні сталевих елементів конструкції АТ застосовують у тому випадку, якщо межа міцності при розтягуванні не перевищує 300...320 МПа. Електродугове зварювання при відновленні сталевих елементів застосовується при будь-якій межі міцності ремонтного елемента, однак за умови, що товщина матеріалу при цьому повинна бути не менше 1,5 мм.

5.4. Особливості застосування зварювання при відновленні авіаційної техніки

Найпоширенішими видами зварювання, що застосовуються при відновленні авіаційної техніки, є зварювання плавленням (аргонодугове, електродугове, киснево-ацетиленове) і електроконтактне зварювання (точкове та роликкове).

Киснево-ацетиленове зварювання має обмежене застосування внаслідок низької продуктивності та значного температурного впливу на зварювані деталі, що приводить до істотного зниження міцнісних характеристик.

При виборі способу зварювання необхідно враховувати: призначення зварюваного виробу, зварюваність його металу, умови та характер виробництва, конструктивні особливості зварного з'єднання, характер температурних впливів. З великої кількості деталей та вузлів літальних апаратів, які доводиться відновлювати при ремонті зварюванням, найбільший об'єм займають деталі з алюмінієвих та титанових сплавів, легованих сталей.

Сучасні технології виготовлення і ремонту конструкцій ЛА використовують практично усі відомі види та способи зварювання.

При індивідуальному та дрібносерійному виробництві зварні конструкції економічніше литих.

При зварюванні деталей та вузлів літальних апаратів найбільшого поширення набуло зварювання в середовищі захисних газів. У той же час сучасні конструкції літальних апаратів характеризуються великою різноманітністю типів зварних з'єднань, що використовуються, марок матеріалів та способів зварювання. Область застосування різних видів зварювання наведена у табл. 5.3. У табл. 5.4 наведена технологічна зварюваність металів при зварюванні плавленням.

Останніми роками все більшого застосування знаходять титанові сплави, що володіють високою втомною міцністю, витривалістю до малоциклових навантажень, підвищеною питомою міцністю, високою корозійною стійкістю в агресивних середовищах. Заміна сталевих конструкцій на титанові істотно понизить масу літальних апаратів.

Застосування зварювання при відновленні виробів з різних матеріалів. Виконання відновлювальних робіт зварюванням вимагає не тільки правильного вибору виду зварювання і використання при цьому оптимальних режимів, але і врахування особливостей зварюваних матеріалів.

В якості основного конструкційного матеріалу авіаційних конструкцій використовуються хромансильові сталі (30ХГСА, 30ХГСНА). Наявність хрому знижує їх критичні точки, внаслідок чого сталь має низьку теплопровідність, самозагартовується на повітрі та схильна до утворення тріщин. Тому не можна допускати швидкого охолодження металу після закінчення процесу зварювання. Термічно оброблені деталі з цих сталей дозволяється ремонтувати тільки електродуговим зварюванням з місцевим або загальним підігрівом до температури 200...250° С, яка повинна підтримуватись протягом всього процесу зварювання. Після закінчення зварювання деталь піддається відпуску в печі при температурі 200...250° С. Зварювання рекомендується вести тільки в нижньому положенні зварювальної ванни або з нахилом не більше 30°. Вертикальне зварювання деталей зі сталі 30ХГСНА не дозволяється.

При дуговому зварюванні **деталей із сталей 30ХГСА, 30ХГСНА** особливо невеликої товщини, відбувається часткове загартування металу в околешовній зоні. Для його усунення деталь нагрівають до 650...680°С та охолоджують в гарячій воді або повітрі. Остаточна термічна обробка складається із загартування та подальшого відпуску.

Область застосування основних видів зварювання

Вид зварювання	Спосіб зварювання	Тип конструкції деталей і вузлів	Матеріал	Товщина, мм
Дугове зварювання шпучними електродами	Ручне	З короткими і криволінійними швами у всіх просторових положеннях та труднодоступних місцях	Конструкційні корозійностійкі і жароміцні сталі та сплави, технічний алюміній	1 та вище 6 та вище
Дугове зварювання під флюсом	Автоматичне	З прямолінійними швами (більше 100 мм) та кільцевими швами діаметром більше 70 мм в нижньому положенні	Конструкційні, жароміцні сталі Титанові сплави	2 та вище 3 та вище
Дугове зварювання в середовищі інертних газів (аргону, гелію та сумішей газів)	Напівавтоматичне	З короткими і криволінійними швами в нижньому положенні	Технічний алюміній, конструкційні та корозійностійкі сталі	6 та вище 3 та вище
	Ручне	З короткими і криволінійними швами у всіх просторових положеннях та труднодоступних місцях	Нізьколеговані, корозійностійкі і жароміцні сталі та сплави, титанові, алюмінієві та магнієві сплави	0,6 та вище

Продовження табл. 5.3

Вид зварювання	Спосіб зварювання	Тип конструкції деталей і вузлів	Матеріал	Товщина, мм
неплавким електродом	Автоматичне: – імпульсною і безперервною дугою – зануреним електродом – трифазною дугою – стислою дугою (плазмове зварювання) – по флюсу, що активує – у контрольованій атмосфері – точками (точкове зварювання в аргоні) – магніто-керованою дугою	З прямолінійними (більше 100 мм), кільцевими та круговими швами	Сталі Алюмінієві та титанові сплави Алюмінієві, магнієві та титанові сплави Алюмінієві сплави Сталі Титанові сплави, сталі Титанові сплави Титанові сплави, активні та рідкоземельні метали Нізьколеговані та корозійностійкі сталі	0,1...3 0,5...3 10...20 5...20 0,1...10 0,5...16 3...6 1...12 0,5 та вище 0,5 та вище 0,5...1,5 зі сторони зварювання (верхній лист) до 10 (нижній лист) 0,5...1,5
		З одностороннім підходом і при неможливості використання контактного зварювання	Корозійностійкі сталі та титанові сплави	
		Трубопроводи з неперервними стиками і конструкції типу трубноі дошки		

Продовження табл. 5.3

Вид зварювання	Спосіб зварювання	Тип конструкції деталей і вузлів	Матеріал	Товщина, мм
Дугове зварювання в середовищі захисних газів плавким електродом	Автоматичне в інертних газах	З прямолінійними (більше 100 мм) та кільцевими швами	Низьколеговані, корозійностійкі та жароміцні сталі	0,5 та вище
	Напівавтоматичне в інертних газах	З короткими і криволінійними швами	Алюмінієві та магнієві сплави	5 та вище
	Автоматичне у вуглекислому газі	З прямолінійними (більше 100 мм) та кільцевими швами	Маловуглецеві, низьколеговані та деякі жароміцні сталі	1 та вище
Електрошлакове зварювання	Напівавтоматичне у вуглекислому газі	З короткими і криволінійними швами		1,5 та вище
	Автоматичне	Великого перерізу	Конструкційні, корозійностійкі та жароміцні сталі	30 та вище
Електронно-променево зварювання	Автоматичне	Товстостінні з'єднання більше 6 мм	Тугоплавкі метали (молібден, ніобій, вольфрам, цирконій та ін.)	0,2...20

Закінчення табл. 5.3

Вид зварювання	Спосіб зварювання	Тип конструкції деталей і вузлів	Матеріал	Товщина, мм
Газове та атомно-водневе зварювання	Ручне	Малонавантажени з короткими криволінійними та прямолінійними швами	Мідь та її сплави	0,5...60
			Титанові сплави	0,5...60
Лазерне	Автоматичне	Тонкостінні з'єднання	Низьколеговані, високоміцні та корозійностійкі сталі	0,1...60
			Алюмінієві сплави	1...60
			Маловуглецеві та низьколеговані сталі	0,5...1,5
Лазерне	Автоматичне	Тонкостінні з'єднання	Алюмінієві сплави ($\sigma_B \leq 165$ МПа)	0,5...1,5
			Мідь та її сплави	0,5...1,5
Лазерне	Автоматичне	Тонкостінні з'єднання	Усі сталі та сплави	0,1...10

Таблиця 5.4

Технологічна зварюваність металів при зварюванні плавленням

Марка матеріалу	Характеристика зварюваності
Маловуглецеві та марганцевисті сталі; 08; 10; 10КП; 20; 20А; 25; 10Г2А; 12Г2А	Зварюються всіма видами зварювання плавленням. При дуговому зварюванні в середовищі інертних газів у шві з'являються пори, які усуваються шляхом застосування присадкового дроту марок Св.08Г2С та Св.08Г2. При газовому зварюванні жорстких конструкцій з тонколистових сталей можливі тріщини. У поєднаннях матеріали вказаних марок зварюються аналогічно
Конструкційні низьколеговані сталі: 12Х2НВФА; 23Х2НВФА; 25ХГСА; 30ХГСА; 25ХНВФА	Зварюються всіма методами зварювання плавленням. Зварні з'єднання схильні до утворення холодних тріщин, тому після зварювання необхідно проводити термообробку для зняття залишкових напружень з обов'язковим дотриманням інтервалу часу між закінченням зварювання та термообробкою. Термообробці піддаються тільки вузли напружених конструкцій із сталі ЭИ712
Конструкційні сталі високої міцності ($\sigma_b < 1500$ МПа): 30Х2ГСНВМ (ВЛ1-Д); СП28; КВК-26; КВК-32; КВК-37; КВК-42; 42Х2ГСНМА; (ВКС-1)	Зварюються дуговим зварюванням у середовищі інертних газів. Зварні з'єднання схильні до утворення холодних тріщин, для запобігання яких слід проводити термообробку, виконуючи вимоги з дотримання інтервалу часу між закінченням зварювання та відпуском
30ХГСН2А (30ХГСНА); 40ХН2СВА; 30Х2ГСН2ВМ (ВЛ1)	Зварюються дуговим зварюванням, дуговим зварюванням під флюсом, у середовищі інертних газів, електронно-променевим зварюванням. Для попередження утворення тріщин рекомендується виріб підігрівати до 200...300 °С, а після зварювання термообробляти при 600...650 °С. Зварювання тонких листів (до 4 мм) не рекомендується через виникнення холодних тріщин. Загартовані елементи зварюються аустенітними електродами, міцність шва при цьому значно знижується

Закінчення табл. 5.4

Марка матеріалу	Характеристика зварюваності
Корозійностійкі сталі: 12Х18Н10Т (Х18Н10Т, Я1Т); 15Х18Н12С4ТЮ; 12Х21Н5Т; 12Х17Г9АНК; 12Х21Н5Т	Зварюються всіма методами зварювання плавленням. При газовому зварюванні зварні з'єднання мають пониженої міцність і стійкість до міжкристалітної корозії; при дуговому зварюванні у вуглекислому газі – пониженої стійкість до міжкристалітної корозії
1Х12Н2ВМФ; 11Х11Н2В2МФ; 14Х17Н2; 16Х11Н2В2МФ; ХН28ВМАБ; Х21Н28В5МЗБАР	Зварюються дуговим зварюванням, дуговим зварюванням у середовищі захисних газів та під шаром флюсу. Мають схильність до утворення холодних тріщин. Після зварювання необхідна термічна обробка для зняття напружень і нормалізації структури
Корозійностійкі теплостійкі сталі: 07Х16Н6 (СН2А); 09Х15Н8Ю (СН4); 1Х15Н4АМ3 (ВНС-5); Х20Н6МД2Т (ВНС-4); Х15Н5Д2Т (ВНС-2); 06Х14Н6Д2МБТ	Зварюються дуговим зварюванням, дуговим зварюванням у середовищі інертних газів, електронно-променевим та електрошлаковим зварюванням. Розплавлений метал схильний до окислення, тому зворотний бік шва необхідно захищати підкладками, піддуванням інертного газу або флюсом
Титанові сплави: технічні та низьколеговані ВТ1-00; ВТ1-0; ОТ4-1; ОТ4; ОТ4-2; ПТ7М; ВТ5; ВТ5-1	Зварюються дуговим зварюванням у середовищі інертних газів, дуговим зварюванням під шаром флюсу, електронно-променевим та електрошлаковим зварюванням. Механічні властивості зварних з'єднань високі і мало відрізняються від властивостей основного матеріалу. Для зняття напружень після зварювання і підвищення пластичності швів рекомендується проводити відпал. При зварюванні необхідний захист зворотного боку шва.
термічно зміцнені ВТ4; ВТ6; ВТ6Ч; ВТ14; ВТ15; ВТ20; ВТ22	Зварювання конструкцій, для яких захист зворотного боку шва неможливий, виконується в камерах з контрольованою атмосферою

При великій кількості швів на деталях з цих сталей після зварювання певної кількості швів рекомендується проводити проміжний низький відпуск деталей для зняття напружень. У разі

тривалої перерви між зварюванням та термообробкою бажано проводити відпуск при температурі 650°C.

При виконанні ремонтних робіт зварюванням властивості наплавленого металу й показники міцності виробу після ремонту значною мірою визначаються якістю присадкового матеріалу. Наприклад, зварювання дефектів на деталях зі сталі 30ХГСНА виконують електродами із дроту ЭИ-334 з обмазкою ВИ 12-6.

Деталі із сталі 30ХГСНА дозволяється зварювати не більш двох разів. Підварювати тріщини та інші дефекти в металі шва допускається сумарною довжиною не більше 25% загальної довжини.

При електродуговому зварюванні **нержавіючих сталей типу 1Х18Н9Т** може статися науглецювання металу шва, що викликає пониження його стійкості щодо міжкристалітної корозії. Тому кращі результати дає зварювання нержавіючих сталей у середовищі захисних газів (аргону, гелію) або плазмове зварювання.

Хромонікелеві сталі з підвищеним вмістом вуглецю зварюються з попереднім підігрівом до температури 300...500°C. Після зварювання виріб піддають термообробці – нагріву до температури 850°C з подальшим охолодженням у воді. Сталь товщиною 1...2 мм можна охолоджувати на повітрі. Хромонікелеві сталі, що містять титан або ніобій, термообробці після зварювання не піддаються.

Газове зварювання хромонікелевих нержавіючих сталей виконується нормальним полум'ям ацетилену при витраті 70...75 дм³/год на 1 мм товщини металу. Окислювальне полум'я не допускається, оскільки воно викликає вигорання хрому.

Елементи конструкцій з **жароміцних сплавів** марки ЭИ435 зварюються всіма видами зварювання, вироби зі сплаву ЭИ602 зварюються тільки аргонно-дуговим зварюванням.

Наявність на поверхні жароміцних сталей і сплавів тугоплавкої плівки окису хрому, мала теплопровідність цих матеріалів і порівняно велике лінійне розширення створює значні труднощі при виконанні ремонтних робіт зварюванням і вимагають дотримання деяких технологічних рекомендацій, які забезпечують необхідну якість ремонтних робіт.

Для видалення з поверхні деталі окислів і захисту місця зварювання від окислювання при використанні ацетилено-кисневого або електродугового зварювання застосовують флюси та обмазки.

При застосуванні ацетилено-кисневого зварювання в якості присадкового матеріалу використовують дріт з матеріалу тієї ж марки або смужки шириною 3...5 мм, вирізані з основного матеріалу.

Зварювання виконують із флюсом, який наносять на кромки матеріалу зі зворотної сторони шва шаром не менше 0,4 мм і просушують протягом 20...25 хв. Прискорювати просушку підігрівом виробу полум'ям газового пальника не рекомендується. Застосовувати флюси, що містять борні або фтористі з'єднання, не рекомендується, тому що перші сприяють появі тріщин у зварних швах, а другі викликають міжкристалітну корозію.

Зварювання ведуть нейтральним полум'ям. Відстань від кінця ядра до поверхні зварювальної ванни не менш 1...2 мм. Весь процес зварювання необхідно вести безупинно, не відриваючи пальник від шва. При вимушених перервах, а також по закінченні шва полум'я пальника варто повільно відводити від розплавленої ванни шва, забезпечуючи поступове охолодження металу деталі у зоні зварювання.

Електродугове зварювання виконують на постійному струмі при зворотній полярності із застосуванням електродів із дроту тієї ж марки, що й матеріал, з обмазкою ВИ12-6 (НЖ-1 або НЖ-2).

При зварюванні **сплавів із алюмінію** необхідно враховувати, що при нагріванні він легко окислюється, утворюючи на поверхні тугоплавкий окисел алюмінію Al₂O₃, що плавиться при температурі вищій за 2000°C.

При зварюванні можлива поява гарячих тріщин, пористості у швах і т.ін. Для зварювання алюмінієвих сплавів використовують аргонно-дугове та ацетилено-кисневе зварювання. Для невеликих товщин можна використовувати точковий контактний спосіб зварювання.

Чистий алюміній, сплави АМЦ, АМГ та силуміни зварюються добре; гірше зварюються термозміцнювані сплави марки Д (Д1, Д16 та ін.). Це обумовлюється тим, що в зварному шві такого сплаву утворюється структура литого металу, міцність якого в 2 рази менше міцності основного прокатаного металу. При зварюванні відбувається відпал основного металу, що приводить до погіршення механічних властивостей зварного з'єднання.

Аргоннодугове зварювання алюмінієвих сплавів виконується із застосуванням електродів ОЗА-1 зі стрижнем з алюмінієвого дроту

марки АД1 або АВ2Т. Зварювання ведеться в нижньому та вертикальному положеннях постійним струмом зворотної полярності.

При діаметрі електроду 4 мм сила струму 120...140А, при 5 мм вона повинна бути 150...170А. Зварювання здійснюють з попереднім підігрівом до температури 200...250°C при товщині металу 6...9 мм та 300...350°C при товщині 9...16 мм.

Листовий алюміній товщиною до 1,5...2 мм зварюють з відбортовкою кромки без присадкового металу.

Листи товщиною від 3 до 5 мм зварюють без скосу кромки, при товщині листів більше 5 мм – з одностороннім скосом кромки з кутом розкриття 60°.

Для зменшення внутрішніх напружень деталі з литих сплавів після зварювання відпалюють при температурі 300...350°C з подальшим повільним охолодженням. Алюмінієві сплави добре зварюються аргонодуговим, гелієво-дуговим та плазмово-дуговим зварюванням.

Алюмінієві сплави марок АД, АД1, АМЦ, АМГ, АВ та Д16 зварюють аргоно-дуговим і газовим зварюванням. В якості присадкового матеріалу при зварюванні сплавів АД, АД1, АМЦ використовують дріт того ж складу. При зварюванні сплавів АМГ, АВ, Д1 та Д16, крім дроту того ж складу, рекомендується застосовувати дріт АК, що складається з 95% алюмінію та 5% кремнію. Сплави Д1 та Д16 можна зварювати із застосуванням присадкового дроту В61.

Газове зварювання виконують нейтральним полум'ям. Відстань від кінця ядра полум'я до поверхні деталі повинна бути 3...5 мм.

При зварюванні металів різної товщини полум'я пальника необхідно направляти на метал більшої товщини. Режим у таких випадках встановлюють за середньою товщиною матеріалу, матеріал товщиною до 5 мм зварюють лівим методом зварювання, а метал товщиною понад 5 мм – правим методом зварювання. Зварювання виконується у нижньому положенні. Кут нахилу пальника до поверхні виробу при зварюванні металу товщиною до 5 мм повинен бути рівним 30...45°, а при зварюванні більшої товщини – 45...60°. Кут нахилу присадкового дроту до поверхні деталі повинен бути рівним 40...50°.

Зварювання потрібно вести без перерви, не відриваючи пальник від шва до закінчення зварювання. Вторинний прохід пальником по шву з метою згладжування його поверхні не допускається.

При зварюванні товстостінних виробів (товщиною понад 5 мм) рекомендується їх попередньо нагріти до температури

200...220°C. По закінченні зварювання виріб потрібно ретельно промити гарячою (60...80°C) водою, з хромовим ангідридом до повного видалення слідів флюсу. Якість промивання перевіряється двохвідсотковим розчином азотнокислого срібла: якщо крапля цього розчину викликає утворення білого осаду, то промивання вважається недостатнім і його необхідно повторити. Недостатньо ретельне промивання може привести до руйнування зварних з'єднань у результаті корозії.

Магнієві сплави, марок МА-1, МА-2 та МА-8 зварюють аргоно-дуговим і газовим зварюванням. Газовим зварюванням дозволяється зварювати тільки такі деталі, на яких можна допустити наявність залишків шлаків після зварювання, тому що видалити шлаки дуже важко. Деталі, на яких неприпустимі залишки шлаків, зварюються аргоно-дуговим зварюванням. В якості присадкового матеріалу при зварюванні використовують дріт того ж складу. Допускається застосування смужок, нарізаних з листового матеріалу тієї ж марки.

Нижче (п. 5.5) подається план операцій технологічного процесу зварювання при відновленні корпусу авіадвигуна Д-36, виготовленого з магнієвого сплаву.

Технологія й режими газового зварювання магнієвих сплавів такі ж, як і алюмінієвих. Перед зварюванням на присадковий матеріал наносять флюс ВФ-156, розведений у дистильованій воді до консистенції рідкої сметани. Після зварювання залишок флюсу і шлаки з поверхні деталей, що зварюють, видаляють механічним шляхом (сталевими м'якими щітками або обдуванням піском). Видалення флюсу водою не допускається.

Характеристика зварюваності титанових сплавів обумовлена хімічною активністю титану та здатністю з'єднуватися з багатьма хімічними елементами, швидко окислюватись на повітрі при нагріванні понад 850° С.

Труднощі зварювання титанових сплавів викликаються в основному поглинанням розплавленим або нагрітим металом газів, їх дифузіїю в зону зварювання з основного металу, а також структурними перетвореннями в металі шва та околшовній зоні. Підвищена газонасиченість металу різко знижує його пластичність та конструктивну міцність, а теплова дія зварювання викликає неоднорідність властивостей зварного з'єднання. Для зварювання титанових сплавів рекомендується аргоно-дугове або електронно-променеве зварювання при використанні присадкового дроту без

покриття. Склад дроту повинен бути близьким до складу основного металу. Зварювальний дріт з титанових сплавів (BT1, BT2, BT5, BT6 та ін.) виготовляють діаметром 0,8...7 мм і піддають вакуумному відпалу.

При зварюванні необхідно захищати від окислювання не тільки зони шва, але й околшовні зони, навіть зі зворотного боку при зварюванні тонкостінних деталей. При зварюванні титана та його сплавів можлива поява холодних тріщин внаслідок утворення гідритів титану.

Точкове та роликове зварювання застосовується при зварюванні легких сплавів товщиною від 0,3 до 7 мм.

Мікроплазмове зварювання:

1. При мікроплазмовому зварюванні джерелом тепла є стисла дуга, що стабільно горить при малих струмах, недостатніх для аргонодугового зварювання.

2. Неплавкий вольфрамовий електрод діаметром 0,8...2,0 мм з гострозаточеним кінцем виставляється по осі водоохолоджуваного плазмоутворюючого сопла з малим діаметром каналу перед входом у канал сопла. У пальник подається плазмоутворюючий газ – аргон. Як захисний газ також використовується аргон.

Технічні характеристики установок для мікроплазмового зварювання наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Технологічні характеристики установок мікроплазмового зварювання

1	Товщина зварного металу	МПУ-4	Н-155
	● сталь	0,1...1,5	0,5...2,5
	● алюміній	0,05...0,8	0,5...2,5
2	Струм основної дуги, А:		
	● пряма полярність	2,5...3,0	10...120
	● зворотна полярність	4...11	5...50
3	Струм чергової дуги, А	3...6	3...5
4	Витрата плазмоутворюючого газу	$(3...9) \cdot 10^{-6}$	$(3...9) \cdot 10^{-6}$
5	Витрата захисного газу	$(3...7) \cdot 10^{-3}$	$(3...7) \cdot 10^{-3}$

5.5. Правила виконання операцій при відновленні зварюванням

Підготовка до зварювання. Перш ніж приступити до зварювання елементів конструкції, необхідно їх ретельно очистити від

забруднень та покриттів, потім провести підготовку пошкодженого місця, обробити кромки, підготувати накладки, електроди, флюс і т.ін.

Особливістю підготовки поверхонь елементів, що відновлюються за допомогою дугового зварювання, є їх ретельне зачищення сталевими щітками до блиску, а потім промивання розчинниками (ацетоном, бензином Б-70) для видалення жирів і маслянистих забруднень та плям, що викликають пористість шва і понижують стійкість роботи дуги. Тріщини зварюються в один прохід.

На якість зварного шва значно впливають швидкість і метод накладення зварного шва. Однією з причин появи тріщин в зварних з'єднаннях є великі усадкові напруження вздовж та поперек шва, які стають тим менше, чим рівномірніше розподіл температури між місцем початку та кінця шва. Збільшення швидкості накладення шва знижує усадкові напруження по довжині шва. У зв'язку з цим необхідно дотримуватися наступних **загальних правил проведення зварювання:**

- газове зварювання завжди ведуть з внутрішнього боку до зовнішнього або від середини до країв;

- спочатку виконують внутрішні шви, потім зовнішні;

- при зварюванні замкнутого контуру периметр шва розбивають на чотири рівні частини і зварювання ведуть по симетричних ділянках;

- за наявності односторонніх та двосторонніх швів першими накладають двосторонні;

- у першу чергу роблять шви, що не створюють жорсткої системи для накладення решти швів;

- якщо один кінець зварюваного елемента закріплений, а інший вільний, зварювання починають із закріпленого кінця;

- при довгих та коротких швах першими накладають довгі;

- конструктивні отвори необхідно свердлити після зварювання.

Найпоширенішим дефектом в авіаційних конструкціях є тріщини. Перед підваркою тріщини в основному металі кінці її обов'язково засвердлюють свердлом діаметром 2 мм. Підварку тріщин у вузлах та деталях, виготовлених із сталі товщиною до 2 мм, дозволяється виконувати без обробки тріщин. При товщині металу понад 2 мм необхідно виконувати V-подібну обробку на глибину проникнення тріщини. Тріщина в зварному шві після видалення дефектної ділянки шва зварюється електродуговим зварюванням. Тріщина впоперек зварного шва з виходом за його межі підварюється

після засвердлення кінців тріщини і видалення дефектної ділянки в напрямі від засвердлених кінців до шва.

Підварювання тріщин на сталевих елементах дозволяється не більше двох разів. Якщо після підварки тріщина з'являється знову, дефект усувається постановкою накладки.

Деталі посилення на початку прихоплюються через 50...75 мм. При відновленні тонкостінних конструкцій прихвачування здійснюється зі зворотної сторони основного шва. Зварювання проводиться вольфрамовим електродом у середовищі аргону при постійному струмі прямої полярності. Зворотна сторона шва захищається від дії повітря мідними і сталевими прокладками, притискачами. Газ підводиться на зворотну сторону шва через прорізи, канавки в прокладках або через окремий шланг. Особливо ці заходи обережності необхідні при ремонті виробів з титанових сплавів, оскільки титан при високих температурах нагріву схильний швидко вступати у з'єднання з киснем, азотом та воднем, а це веде до зміни характеристик матеріалу. Так, при вмісті в титані кисню більше 0,15 % понижуються пластичність і в'язкість зварних з'єднань, а також у зварних швах утворюються тріщини. Рекомендується захищати інертним газом від дії навколишнього повітря не тільки зону зварного шва, але і решту ділянок титанового елемента, що нагріваються при зварюванні до 400 градусів.

Контроль якості зварювання. Зварний шов повинен бути рівномірний з основним металом і герметичний. При недотриманні необхідних умов, режимів зварювання, при використанні неефективних видів зварювання в зварних швах деталей можуть з'явитися внутрішні та поверхневі дефекти (тріщини, напливи, пори, раковини, нерівномірність шва, непровари, перекіс, неметалічні включення, деформація, негерметичність, зсув деталей, залишки шлаку, флюсу, оксидів).

Попереджувальний контроль якості зварювання проводиться за допомогою пробного зварювання зразків-свідків, які піддаються неруйнівному контролю (НК) та руйнівному контролю. Основний контроль якості зварювання при ремонті деталей АТ здійснюється візуально з лупою, за допомогою рентген-контролю, просвічування гамма-променями, ультразвукового контролю, течошукування; перевіркою твердості, аналізами металографії та ін.

Приклад виконання операцій технологічного процесу зварювання при відновленні проміжного корпусу двигуна Д-36

1. Підготовка присадкового матеріалу до зварювання:

1.1. Як присадковий матеріал рекомендується застосовувати зварювальний дріт з магнієвого сплаву МЛ-10 ГОСТ 18351-73, виготовлений методом пресування.

1.2. Оксидну плівку зі зварювального дроту видалити шляхом зачистки металеву щіткою.

1.3. Присадковий матеріал перед застосуванням хімічно знежирити по ТН-410 ГА/00-53/Ш.

1.4. Для захисту дуги і зони зварювання застосовувати аргон сорт вищий або перший ГОСТ 10157-79.

1.5. Для аргонодугового зварювання застосовувати вольфрамові прутки діаметром 2...6 мм (ТУ 48-19-27-77).

2. Підготовка деталей до зварювання:

2.1. Окалина, корозія, мастило, фарба, пісок та ін. забруднення на поверхні деталей і в зазорах між деталями не допускаються.

2.2. Бруд, мастило, маркувальну фарбу видалити промивкою або обтиранням чистою ганчіркою, змоченою ацетоном, бензином і іншими розчинниками.

2.3. Кількість і довжина заварених тріщин на стояках проміжного корпусу двигуна Д-36 не регламентуються.

2.4. Відстань між двома тріщинами, розташованими на стояках проміжного корпусу, і сумарна площа оброблення тріщин не регламентуються.

2.5. Тріщини, що йдуть поздовжньо по галтельному переходу стояк-конус проміжного корпусу і переходять на внутрішній корпус під кутом до галтельного переходу, обробляти борфрезами У6402-0209, У6642-0381.

2.6. Тріщини на зовнішніх і внутрішніх поверхнях проміжного корпусу з виходом на кромку заварювати не допускається.

2.7. Місця, що підлягають заварюванню, очистити від ЛФП і оксидної плівки на відстані не менше 10 мм від меж оброблення тріщин.

2.8. При обробленні дефектних місць деталей, керуються таким:

2.8.1. Дефектне місце після оброблення повинне мати плавні переходи і контури. Перехід від поверхні до дна оброблення повинен бути плавним (радіусом не менше 10 мм) з виходом на поверхню під кутом 35...50°.

2.8.2. При наскрізних обробленнях з площею 1 см² або у разі небезпеки провалу стінки, що залишилася, в процесі зварювання із зворотної сторони підлити рідким склом розмочений у воді асбест із провисанням його для утворення провару зі зворотного боку. Попадання рідкого скла на поверхню деталі ближче 10 мм від меж оброблення, а також безпосередньо в зону обробленого місця не допускається.

2.8.3. Наскрізні тріщини в деталях будь-яких товщин готувати одностороннім обробленням під кутом 35...40° з плавним переходом до її основи.

2.9. Провести зачищення місць зварювання з подальшим контролем цих місць методом кольорової дефектоскопії ЦМ-15.

3. Нагрів деталей перед зварюванням:

3.1. Перед зварюванням провести нагрівання проміжного корпусу.

3.2. Нагрівання деталі провести при температурі 200...230° С протягом 2,5...3,0 годин.

4. Заварювання дефектів:

4.1. Перед початком роботи зварник зобов'язаний перевірити справність зварювального обладнання.

4.2. При заварюванні дефектів на деталях аргонодуговим зварюванням необхідно підібрати режим зварювання відповідно до табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Режими зварювання

Товщина матеріалу, мм	Сила струму, А	Діаметр вольфрамового електроду, мм	Діаметр присадкового дроту, мм	Глибина оброблення, мм	Кількість шарів шва	Витрата аргону, л/год
До 5	60-120	2-3	3-5	До 5	1	7-8
5-10	110-150	4-5	5-6	5,1-10	1-3	10-14
				до 5	1	10-14
20 і більше	200-260	5	6-8	10,1-20,0	2-5	10-14
				До 5	1	12-16
				5,1-10	1-3	12-16
				10,1-20,0	2-5	12-16
				20,1-30	3-8	12-16
				більше 30	6 і більше	12-16

4.3. Дугу збуджувати на графітій пластинці з метою виключення попадання вольфраму в наплавлений метал у момент запалення.

4.4. У процесі зварювання при збудженні дуги на деталі не допускати зіткнення вольфрамового прутка зі зварювальною ванною і присадним дротом.

4.5. Відстань від сопла до поверхні виробу і від струмоведучого мундштука до краю сопла повинна бути оптимальною (10...15 мм і 5...10 мм відповідно).

4.6. Подачу присадкового дроту проводити тільки після оплавлення кромки обробки і утворення зварювальної ванни. Пруток розплавляти тільки у розплавленій ванні шва.

4.7. Присадковий дріт тримати під прямим кутом до осі електроду пальника і вводити у зварювальну ванну рівномірними зворотно-поступальними рухами.

4.8. Зварювання магнієвих сплавів товщиною 20 мм і більш з глибоким обробленням доцільно виконувати похилими електродами під кутом 7...15° до вертикалі.

4.9. Заварювання дефектів у всіх випадках закінчувати посиленням металу шва на 3...5 мм.

4.10. Щоб уникнути охолодження проміжного корпусу нижче необхідних температур, заварювання підігрітої деталі проводити не більше 10 хв.

5. Обробка деталей після зварювання:

5.1. Для зняття внутрішніх напружень після зварювання проміжний корпус піддати відпалу.

5.2. Заварену деталь завантажити в піч. Нагрів деталі проводити при температурі 180...200° протягом 1 години. Потім спільно з піччю охолоджувати до температури навколишнього середовища, видалити шлаки із місця зварювання.

5.3. Провести зачистку заварених місць, що запеклися з основною поверхнею деталі. Зачистку проводити борфрезами У6402-0209, У6642-0381.

6. Контроль якості зварювання:

6.1. Контроль якості зварювання виконувати методом кольорової дефектоскопії по ТН-АИ-25/00-15 і візуально-оптичним методом за допомогою лупи ЛП-4^х ГОСТ 25706-83.

5.6. Розрахунки на міцність зварних з'єднань

При розрахунку зварних з'єднань необхідно враховувати вид зварювання, від якого залежить вплив зварювального тепла на механічні властивості основного металу поблизу зварного шва.

Небезпечним перерізом з'єднання є не переріз самого зварного шва, а переріз по перехідній зоні від шва до основного металу. Вплив зварювального тепла на міцність основного металу залежить від термічної обробки сталі, тобто її міцності до зварювання. Сталі, термічно оброблені до межі міцності $\sigma_B > 900$ МПа, мають метастабільну структуру, що різко змінюється від впливу зварювального тепла з одночасним пониженням механічних властивостей.

Сталі, термічно оброблені до межі міцності $\sigma_B < 900$ МПа, мають більш стійку структуру та менш чутливі до зварювального тепла; їх механічні властивості в результаті зварювання майже не змінюються.

Розрахунок зварних з'єднань виконують за типовою схемою розрахунку на рівноміцність.

За умовою рівноміцності руйнуюче зусилля P на розрив ремонтovanого силового елемента в зоні відпуску зварного з'єднання, тобто в небезпечному перерізі, повинне бути рівне руйнівному зусиллю $P_{Ш}$ на розрив зварного шва, розташованого по один бік стику, і руйнівному зусиллю P_H привареної накладки (муфти, бужа) в небезпечному перетині, тобто

$$P = P_H = P_{Ш}.$$

Розрахунок ведеться в такій послідовності.

1. Руйнуюче зусилля на розрив ремонтovanого елемента в зоні відпуску

$$P = \sigma_B \cdot F = K_1 \cdot \sigma_{1B} \cdot F,$$

де σ_B – межа міцності на розтягування в зоні відпуску після зварювання ремонтovanого елемента, МПа; F – площа поперечного перерізу ремонтovanого елемента, m^2 ; K_1 – коефіцієнт, що враховує пониження міцності основного металу в зоні відпуску (береться в спеціальній таблиці залежно від σ_B основного металу і виду зварювання); σ_{1B} – межа міцності на розтягування до зварювання ремонтovanого елемента, МПа.

2. Визначається руйнівне зусилля P_H на розрив накладки (муфти, бужа) в небезпечному перерізі (рис. 5.2)

$$P_H = \sigma_{BH} \cdot F_H = K_1 \cdot \sigma_{1BH} \cdot F_H.$$

а) матеріал (σ_{1BH}) накладки вибирається аналогічним, площа F_H буде рівна $F_H = P / \sigma_{1BH}$;

б) з сортаменту труб (за довідником) підбирають найближчу більшу, ніж F_H , площу із зовнішнім (для бужа) або внутрішнім (для муфти) діаметром;

в) визначають руйнівне зусилля P_H на розрив бужа або муфти

$$P_H = \sigma_{BH} \cdot F_H = K_1 \cdot \sigma_{BH} \cdot F_H.$$

г) визначають коефіцієнт надлишку міцності муфти (бужа)

$$R = P_H / P = 1,0 \dots 1,15.$$

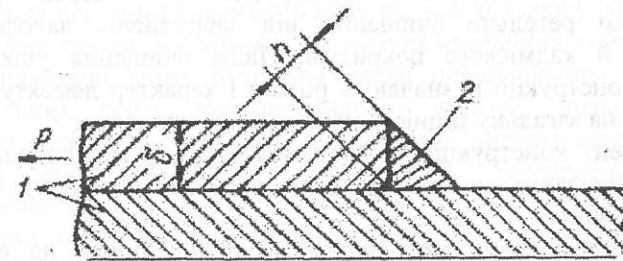


Рис. 5.2. Зварний шов внакладку: 1 – деталі, що зварюються; 2 – зварний шов; h – висота зварного шва; δ – товщина деталей, що зварюються

3. Визначають довжину муфти (бужа)

$$L = 5D + a,$$

де D – зовнішній діаметр труби, мм; a – довжина вирізаної ділянки, мм.

4. Визначають довжину зварного шва, розташованого по один бік стику. Залежно від типу шва (стиківий або кутовий) розрахунок його ведуть на розрив або на зріз.

Стикові шви розраховують на розрив

$$P_{Ш} = \sigma_{ВШ} \delta l = R_{Ш} \sigma_B \delta l,$$

де $P_{Ш}$ – руйнуюче зусилля шва на розрив; $\sigma_{ВШ}$ – межа міцності зварного шва на розрив, МПа; $R_{Ш}$ – коефіцієнт міцності зварного шва (береться за таблицею); σ_B – межа міцності основного металу; δ – товщина деталей, що зварюються, мм; l – довжина зварного шва, мм.

Валик зміцнення шва при розрахунку не враховують.

З формули знаходимо потрібну довжину шва

$$l = P_{\text{ш}} / \sigma_{\text{вш}} \delta.$$

Кутові шви розраховують на зріз у такий спосіб

$$P_{\text{ш}} = \tau_{\text{вш}} l h,$$

де $\tau_{\text{вш}}$ – межа міцності шва на зріз; l – довжина шва, мм; h – товщина шва за найбільш слабким перетином, рівна $0,7\delta$.

5.7. Типові технологічні процеси усунення дефектів авіаційних конструкцій зварюванням

Ушкоджені елементи конструкції АТ перед ремонтом зварюванням ретельно очищають від забруднень, лакофарбового, цинкового й кадмієвого покриттів. Після очищення ушкодженого елемента конструкції визначають розмір і характер дефекту, а також його вплив на загальну міцність конструктивного вузла.

Елемент конструкції, що відновлюється, у місці пошкодження повністю вирізають, а замість нього виготовляють нову частину і деталі посилення.

Для виключення можливості повторної появи на елементах конструкції таких дефектів, як тріщини, необхідно з'ясувати причину їх появи. Розміри деталей посилення в місці ремонту та розміри зварних швів для присіднання деталей посилення до ремонтваних елементів визначають шляхом розрахунку на рівномірність.

Після вибору виду зварювання важливим етапом технологічного процесу відновлення є встановлення режиму зварювання і порядку накладання зварних швів у місці відновлення. Правильність наміченого ТП відновлення доцільно перевіряти на зразках з такого ж матеріалу.

Підготовлені до зварювання деталі розташовують і фіксують у спеціальних пристроях відповідно до технології. Встановлені у пристрої деталі попередньо з'єднують прихвачуванням. Прихвачування необхідне для фіксації взаємного розташування деталей, особливо якщо зварювання виконується без спеціальних пристроїв. Прихвачування ведеться в певному порядку й послідовності. Це дозволяє зменшувати деформації у конструкції при виконанні зварювальних робіт. Зварюванням завершується технологія утворення нероз'ємних з'єднань. Якість зварного шва залежить від багатьох

факторів. Виходячи з цього, як загальні вказівки технологічного характеру, можна навести деякі рекомендації.

Газове зварювання слід вести від внутрішнього боку до зовнішнього або від середини до країв. Електродугове зварювання можна починати з краю деталі. Необхідно заварювати спочатку внутрішні шви, а потім переходити до зварювання зовнішніх.

Накладання паралельних швів при газовому зварюванні потрібно проводити на відстані не менш 10 мм один від одного, а при дуговому – на відстані не менш за 5 мм. При зварюванні близько розташованих швів (паралельних) другий шов накладається після охолодження першого.

При необхідності виконання однобічних і двосторонніх швів першими виконуються двосторонні шви. При наявності коротких і довгих швів першими виконують шви, що мають більшу довжину.

Поява тріщин на окремих елементах авіаційних конструкцій під час експлуатації може бути викликана незадовільним виконанням зварювальних робіт при відновленні деталей, низькою якістю матеріалу, низькою здатністю конструкції витримувати повторно-статичні або вібраційні навантаження, порушенням правил експлуатації АТ. Тому в кожному конкретному випадку необхідно з'ясувати причину виникнення тріщин, щоб уникнути повторної появи дефектів через неправильне призначення методу відновлення.

Прямі або розгалужені тріщини на основному металі (рис. 5.3), розташовані паралельно зварному шву, виникають у результаті впливу поперечної усадки двох паралельних швів, розташованих на близькій відстані, або внаслідок значних динамічних навантажень на елемент конструкції.

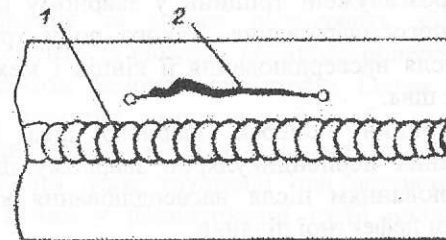


Рис 5.3. Тріщини в основному металі, розташовані паралельно зварному шву: 1 – зварний шов; 2 – тріщина

Усунення такого роду тріщин роблять підварюванням (рис.5.4,*a*). Для цього кінці тріщин обов'язково засвердлюють, щоб виключити наступне її поширення. Уважно встановлюють довжину тріщини, виявляючи її початок і кінець, тому що невиявлене мікроскопічне за своїми розмірами закінчення тріщини може виявитися незавареним і в процесі експлуатації перетворитись у значну за розмірами тріщину.

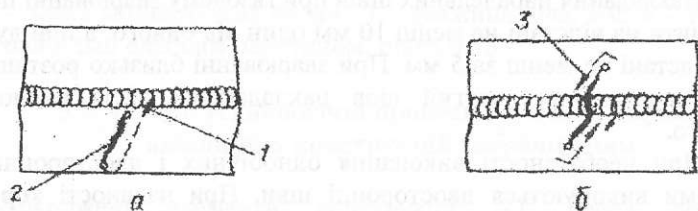


Рис. 5.4. Тріщини в основному металі (*a*) і у зварному шві (*б*):
1 - тріщина у зварному шві; 2 - тріщина на основному металі;
3 - тріщина у зварному шві

Підварювання тріщин на вузлах і деталях, виготовлених із сталі товщиною не більше 2 мм, дозволяється робити без видалення металу в зоні тріщини; дефектне місце із тріщиною піддають механічній обробці для отримання V-подібної канавки на повну глибину проникнення тріщини. V-подібне оброблення тріщини виконують за допомогою шліфувального каменю, торець якого заточений під кутом 60...90°. Такого роду обробка матеріалу значної товщини викликана необхідністю забезпечення наскрізного провару в місці утворення тріщини.

Прямі або розгалужені тріщини у зварному шві виникають у результаті неякісного зварювання. Такого роду тріщини усувають підварюванням після насвердлювання її кінців і механічної обробки дефектної ділянки шва.

Усунення тріщин поперек зварного шва і в основному металі, розташованих перпендикулярно зварному шву (рис. 5.4, *б*) виконують підварюванням після насвердлювання кінців тріщини і механічної обробки дефектної ділянки.

При наявності на деталі групових тріщин дефектну ділянку металу видаляють по плавному контуру: прямолінійні ділянки вирізають шліфувальним кругом, а криволінійні висвердлюють. Торці, що утворили лючок, зачищають напилком і шліфувальною шкуркою.

Після цього по лючку виготовляють вставку або накладку. Вставка підганяється так, щоб зазор між нею і торцями лючка не перевищував 1 мм. Накладку роблять такого розміру, щоб вона перекривала лючок на 8...10 мм із кожної сторони. Поверхню деталі та вставки зачищають металевою щіткою або шліфувальною шкуркою на відстані 10...15 мм від місця накладання зварного шва.

Якщо тріщина перетинає ребра жорсткості, то їх прорізають до основного металу шліфувальним каменем товщиною 1,5...2 мм.

Підварювання тріщин на сталевих елементах конструкції дозволяється не більше двох разів. Якщо після вторинної підварки тріщина в даному місці з'являється знову, то дефектне місце або підсилюють постановкою накладок, або повністю видаляють і ремонт здійснюють постановкою накладок або бужів. У цих випадках зварні шви при ремонті накладають по новому матеріалу, який не піддався термічному впливу, щоб виключити появу дефекту.

На трубчастих елементах конструкції можуть виникати такі дефекти, як вм'ятини, руйнування та деформація. Незначні з плавними переходами вм'ятини глибиною не більше $0,025 d_{TP}$ і довжиною не більше $0,5 d_{TP}$ не усуваються внаслідок їх незначного впливу на міцність. Трубчасті елементи, що мають вм'ятини глибиною $0,025...0,25$ діаметра труби d_{TP} , відновлюють шляхом місцевого посилення постановкою посилюючої накладки або заміною дефектної ділянки. У випадку більших вм'ятин або пробоїн ($d_{BM} > 0,25d_{TP}$) ушкоджена ділянка труби видаляється і на її місце встановлюється нова. Залежно від конструктивних особливостей ремонтowanego елемента для місцевого посилення і стикування труб можуть використовуватися телескопічні з'єднання, муфти або бужі (рис. 5.5). Телескопічні з'єднання та муфти дозволяють зберігати міцність ремонтowanego елемента за рахунок великого поперечного перерізу в порівнянні з перерізом ремонтваної труби. Однак у тих випадках, коли збільшення діаметра ремонтваної труби неприпустимо, для місцевого посилення і стикування використовують бужі.

Бужі створюють деякі труднощі при встановленні за місцем стику, у зв'язку з чим у ремонтваної трубі роблять прорізи, що дозволяють зрушувати внутрішній буж до потрібного положення і збільшувати довжину зварних швів, що з'єднують ремонтвані деталі.

Як показують дослідження, значний ефект для підвищення витривалості конструкції після відновлення електродуговим зварюванням дає зварювання з «вусом», сутність якого полягає у тому,

що в місцях з високою концентрацією напружень, починаючи від зварного шва, за напрямком дії навантажень наплавляють «вусом» металу довжиною 15...20 мм, що зветься вусом (рис. 5.6).

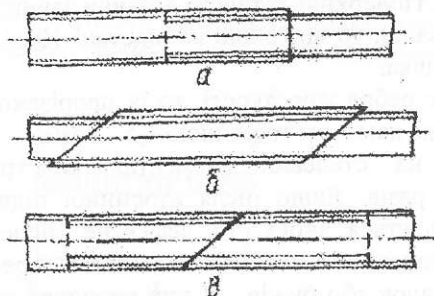


Рис. 5.5. Типові види трубчастих з'єднань:
а – телескопічне;
б – за допомогою зовнішнього бужа;
в – за допомогою внутрішнього бужа

Зварювання з «вусом» збільшує радіус закруглення в місцях з високою концентрацією напружень, а також поперечний переріз ремонтного елемента, компенсуючи втрату міцності в області термічного впливу зварювального тепла, чим досягається підвищення загальної витривалості конструкції після відновлення.

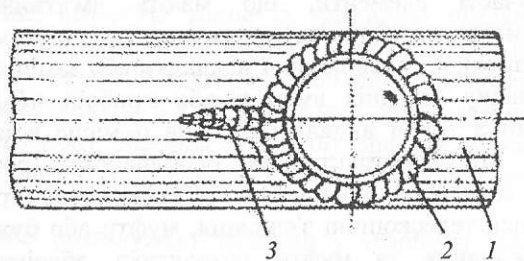


Рис. 5.6. Зварювання трубчастих з'єднань із «вусом»:
1 – труба; 2 – зварний шов; 3 – «вус»

Вибір виду зварювання для наплавлення «вуса» роблять із тих же міркувань, що і для відновлення сталевих елементів конструкцій. Наплавлення «вуса» роблять після накладання основних швів, починаючи його на шві й поступово зводячи нанівець.

Підвищення витривалості зварних з'єднань при ремонті АТ здійснюють також поверхневим наклепом зварних швів і навколошовних зон. У цьому випадку підвищення витривалості досягають створенням у зварному шві напружень стискування й

усуненням різного роду концентраторів напружень, таких як поверхневі тріщини, напливи, підрізи, неметалічні вклучення та ін.

5.8. Техніка безпеки при виконанні зварювання

Недбале поводження зі зварювальним устаткуванням, тобто порушення правил техніки безпеки при виконанні зварювальних робіт, може викликати ураження очей і незахищених ділянок тіла робітника електричним струмом, опіки бризками розплавленого металу, отруєння шкідливими газами, виникнення пожеж і т.п.

Необхідно пам'ятати, що дія електричного струму на організм людини при напрузі 36...40 В та вище при силі струму в 0,1 А та вище небезпечна для життя.

Перед початком роботи на стаціонарних зварювальних установках електрозварник повинен перевірити надійність заземлення зварювального трансформатора, генератора, зварювального стола. Необхідно, щоб проводка в усьому зварювальному колі була надійно ізольована та закріплена, а також захищена від механічних ушкоджень і високих температур. Зварювальне коло виправляють тільки при вимкненому струмі. Несправності у зварювальних апаратах усуває тільки електромонтер, але не зварник.

Для індивідуального захисту очей від ультрафіолетових та інфрачервоних променів і від бризок розплавленого металу та шлаків застосовуються щитки та шоломи зі спеціальним склом. Робоче місце зварника повинно бути обгороджене світлонепроникними щитами.

Одяг зварника із щільного та вогнетривкого матеріалу – брезенту, азбестової тканини або подібних їм матеріалів повинен бути вільним, без складок і відкритих кишень. При роботі варто користуватися брезентовими рукавицями. У гумовому одязі, взутті та рукавичках працювати не дозволяється, тому що їх можуть пропалити бризки розплавленого металу.

У закритих цехах, у зварювальній кабіні для видалення шкідливих газів і пилу з місця зварювання встановлюють загальну або місцеву вентиляцію.

При зварювальних роботах ацетилено-кисневим зварюванням необхідно виконувати такі вимоги техніки безпеки й протипожежної техніки:

– завантажувати карбід в ацетиленовий генератор не більше, ніж на половину обсягу реторти;

– стежити за повним розкладанням карбіду кальцію в генераторі;

– вживати заходів для утеплення генератора при роботі на повітрі з мінусовою температурою. У випадку замерзання генератора відігрівати його водою;

– балони, в яких перебуває кисень або ацетилен, не можна піддавати ударам, поштовхам, скидати з автомашини і т.п. Балони повинні бути обов'язково оснащені запобіжними ковпаками, башмаками та заглушкою (для кисню) на штуцері вентиля;

– кисневі балони необхідно берегти від забруднення маслом і жирами як зсередини, так і зовні, у противному випадку може відбутися вибух. Балони не можна піддавати нагріванню, дії сонячних променів і т.п.;

– категорично забороняється курити біля заряджених балонів, а також зберігати балони з киснем або ацетиленом разом з горючими речовинами.

Зварювальні роботи як електродуговим, так і ацетилено-кисневим зварюванням варто виконувати у спеціально відведених приміщеннях, які повинні бути обладнані для відповідних робіт.

При виконанні зварювальних робіт необхідно враховувати, що високий нагрів ділянок, які зварюються, може привести до зміни первісної структури металу, що може змінити механічні властивості деталі або вузла і привести до їх короблення.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення зварювання.
2. Назвіть основні зварювальні властивості сталей.
3. Назвіть основні види зварювання, що застосовуються при відновленні АТ.
4. Поясніть сутність мікроплазмового зварювання.
5. Назвіть основні операції при відновленні деталей зварюванням.
6. Наведіть типову схему розрахунку зварного з'єднання на рівноміцність.
7. Наведіть типові ТП відновлення авіаційних конструкцій зварюванням.

6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ НАПЛАВЛЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Наплавлення є процесом нанесення шару металу на поверхню деталі. Це технологічний процес аналогічний зварюванню. При відновленні АТ можуть бути використані такі різновиди наплавлення:

а) автоматичне електродугове під флюсом;

б) у середовищі вуглекислого газу;

в) автоматичне вібродугове наплавлення;

г) наплавлення електроконтактне та ін.

Фізико-механічні властивості та хімічний склад металу, що наплавляється, може відрізнятись від металу деталі. Метал, що наплавляється, і режими наплавлення підбирають з метою придання деталі необхідних характеристик: структури, твердості, зносостійкості, втомної міцності та ін.

6.1. Автоматичне електродугове наплавлення під флюсом

При цьому способі наплавлення механізовані два основні рухи електроду – подача його з оплавленням на деталь і переміщення його уздовж зварного шва.

Принципова схема автоматичного електродугового наплавлення деталей під флюсом показана на рис. 6.1.

При автоматичному напавленні електрична дуга горить не на відкритому повітрі, як це відбувається при ручному зварюванні, а під шаром розплавленого флюсу (рис. 6.2). Газы, що виділяються при плавленні електроду основного металу і флюсу, утворюють над зварювальною ванною склепіння, зверху обмежене рідким шлаком, а знизу – розплавленим металом. У зоні зварювання завжди є надмірний тиск газів, який перешкоджає доступу повітря до розплавленого металу.

Наплавлення металу під флюсом забезпечує високу якість розплавленого металу, оскільки зварювальна дуга та ванна розплавленого металу повністю захищені від шкідливого впливу кисню і азоту навколишнього повітря, а повільне охолодження напавленого металу сприяє найбільш повному видаленню з напавленого металу газів та шлакових включень. Повільне охолодження напавленого металу забезпечує також більш сприятливі умови для протікання дифузійних процесів у зоні напавлення і, отже,

легування металу через дріт та флюс. Виключається також можливість розбризування металу.

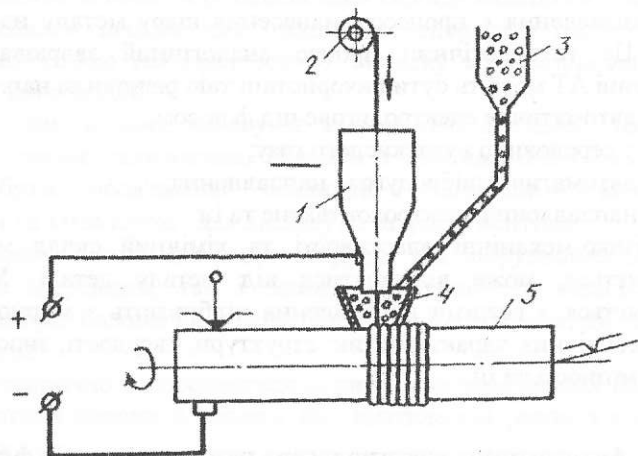


Рис. 6.1: Принципова схема автоматичного електродугового наплавлення деталей під флюсом: 1 - наплавний апарат; 2 - касета з дротом; 3 - бункер з флюсом; 4 - електродний дріт; 5 - деталь, що наплавляється

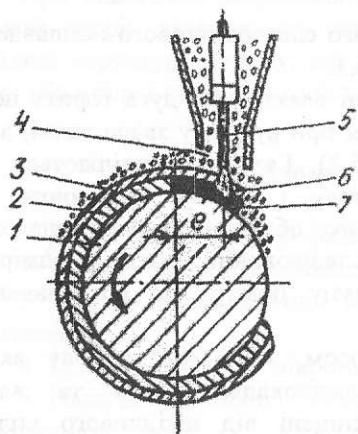


Рис. 6.2. Схема автоматичного наплавлення під флюсом:
1 - деталь;
2 - наплавлений метал;
3 - шлакова шкоринка;
4 - флюс;
5 - електрод;
6 - дуга;
7 - розплавлений метал;
e - зсув електроду із zenіту

При автоматичному напавленні заданий режим практично не змінюється, тому в кожен момент часу розплавляється цілком певна кількість електродного металу та флюсу. Це забезпечує отримання

напавленого металу, рівномірного за хімічним складом і властивостями.

Залежно від величини зварювального струму продуктивність процесу автоматичного напавлення коливається від 0,5 до 5 мм та більше за хвилину.

Фізико-хімічні властивості напавленого металу при автоматичному напавленні під флюсом значною мірою залежать від вибору електродного дроту та флюсу. Як напавний метал використовуються різного складу вуглецеві та легovanі матеріали. В якості флюсів застосовуються плавлені та керамічні флюси.

Плавлені флюси отримують сплавом початкових матеріалів (марганцевої руди, кварцевого піску, плавикового шпату, магнезиту та ін.) в електричних печах. Розплавлену масу виливають у воду і таким чином отримують склоподібний або пемзоподібний гранульований флюс з розміром частинок 3...3,5 мм.

Плавлені флюси мають хороші захисні властивості, але не містять легуючих речовин.

Керамічні флюси, окрім речовин, що входять у плавлені флюси, містять феросплави. Їх отримують змішуванням порошоків початкових матеріалів з добавкою рідкого скла. Після затвердіння масу дроблять на гранули розміром 2...3 мм. Керамічні флюси мають легуючі властивості, оскільки містять феросплави. Для отримання напавленого металу необхідного хімічного складу та властивостей застосовують такі способи легування: легування через електродний дріт, легування через флюс, легування через порошоків дріт та комбінований спосіб легування.

При легуванні через дріт напавлення ведуть високовуглецевим або легovanим дротом під плавленим флюсом. Цей спосіб легування має найширше застосування, не дивлячись на високу вартість і дефіцитність дроту. Пов'язано це з високою якістю напавлення.

При легуванні напавленого металу через флюс напавлення ведуть маловуглецевим дешевим дротом під шаром легovanого керамічного флюсу. Цей спосіб легування, не дивлячись на його економічні переваги, не отримав широкого застосування через велику нерівномірність напавленого металу за хімічним складом.

При легуванні через порошоків дріт забезпечується отримання напавленого металу, рівномірного за хімічним складом. Порошковий дріт є сталеву трубною, порожнина якої заповнена шихтою, що складається з суміші порошоків графіту, заліза та феросплавів.

Змінюючи склад шихти, можна отримати наплавлений метал необхідного хімічного складу і властивостей. Недоліком цього способу легування є дефіцит порошкового дроту.

Комбінований спосіб легування наплавленого металу виконують одночасно через дріт та флюс.

При наплавленні під флюсом для отримання якісного шару необхідно дотримуватись визначеного режиму. Режим наплавлення визначають такими параметрами: діаметром електроду, напругою дуги, силою зварювального струму, швидкістю наплавлення, швидкістю подачі дроту, вильотом електроду, кроком наплавлення, зсувом електроду та ін.

Діаметр електродного дроту вибирають залежно від діаметра або товщини деталі, що наплавляється. Звичайно застосовують дріт діаметром 1,6...2,5 мм.

Сила зварювального струму впливає на глибину проплавлення, розміри валика наплавленого металу та продуктивність процесу. З підвищенням сили струму збільшуються глибина проплавлення основного металу, ширина та висота наплавленого валика, а також продуктивність процесу.

Силу струму вибирають залежно від діаметра електроду.

При наплавленні звичайно застосовують постійний струм зворотної полярності.

Напруга дуги зв'язана з силою зварювального струму. Чим більше сила струму, тим вище повинна бути напруга дуги. Зі зростанням напруги дуги збільшується ширина валика і зменшується його висота. Щоб отримати хороше формування зварювального валика, напругу дуги витримують у межах 25...35 В.

Швидкість наплавлення звичайно вибирають у межах 12...45 м/год. Зі збільшенням швидкості наплавлення зменшується ширина валика, що наплавляється, і глибина проплавлення.

Швидкість подачі дроту вибирають залежно від діаметра електроду і сили струму. Для електроду діаметром 1,6...2 мм при силі струму 140...360 А швидкість подачі дроту змінюється у межах 75...180 м/год.

Виліт електроду залежить від сили струму і встановлюється рівним від 10 до 25 мм. Крок наплавлення вибирають залежно від необхідної товщини шару наплавлення, а також від величини сили струму та напруги в межах 3...6 мм.

Зсув електроду в бік, протилежний напрямку обертання деталі, дозволяє попередити стікання металу та флюсу. Зсув встановлюють залежно від діаметра деталі: для деталей діаметром від 50 до 150 мм він повинен бути в межах 3...8 мм.

Оцінюючи автоматичне наплавлення під флюсом як спосіб компенсації зносу деталей при їх відновленні, слід зазначити такі його переваги:

а) висока продуктивність процесу за рахунок застосування великої щільності струму;

б) економічність за рахунок меншої витрати електроенергії (відсутність втрат на випромінювання світла та тепла);

в) можливість отримання шару наплавленого металу великої товщини (від 1,5 до 5 мм та більше);

г) можливість отримання легуваного наплавленого металу з необхідними фізико-хімічними властивостями.

До недоліків цього процесу слід віднести:

а) високий нагрів деталі при наплавленні;

б) неможливість наплавлення циліндричних деталей діаметром менше 40 мм через стікання наплавленого металу і неможливості утримання флюсу на поверхні деталі;

в) складність видалення шлакової шкоринки;

г) необхідність термічної обробки наплавленого металу.

6.2. Ручне наплавлення в середовищі вуглекислого газу

При такому способі наплавлення зона горіння електричної дуги і розплавленого металу захищається від кисню та азоту повітря струменем вуглекислого газу (рис. 6.3).

Режим наплавлення визначається тими ж параметрами, що і при наплавленні під флюсом, проте є деякі відмінності в їх величині. Діаметр електродного дроту рекомендується застосовувати не більше 0,8...2 мм. Силу зварювального струму встановлюють залежно від діаметру електродного дроту в межах 70...220 А, а напругу дуги в межах 18...22 В. Швидкість наплавлення може бути значно підвищена порівняно з наплавленням під флюсом до 80...100 м/год та більше.

Ручне наплавлення деталей у середовищі вуглекислого газу порівняно з автоматичним наплавленням під флюсом має наступні переваги:

- а) менше нагрівання деталі;
- б) можливість наплавлення при будь-якому просторовому положенні деталі;
- в) вища за площею покриття продуктивність процесу (на 20...30%);
- г) можливість наплавлення деталей невеликого діаметра;
- д) відсутність трудомістких операцій з видалення шлакової шкоринки.

До недоліків цього способу наплавлення слід віднести:

- а) підвищене розбризування металу;
- б) при нанесенні легованого шару металу необхідно використовувати тільки легований дріт.

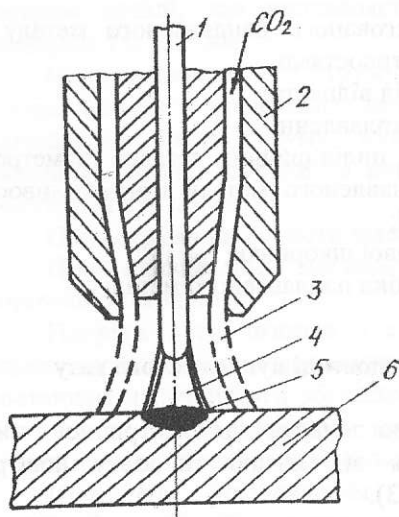


Рис. 6.3. Схема горіння дуги в середовищі вуглекислого газу:

- 1 - електрод;
- 2 - мундштук електродотримача;
- 3 - струмінь захисного газу;
- 4 - електрична дуга;
- 5 - наплавлений метал;
- 6 - деталь

6.3. Автоматичне вібродугове наплавлення

Наплавлення деталей вібруючим електродом із застосуванням охолоджуючої рідини отримала найширшого застосування. Основною перевагою цього способу наплавлення є невеликий нагрів деталі (близько 100 °С).

Суть процесу вібродугового наплавлення полягає в періодичному замиканні та розмиканні електроду і поверхні деталі, що знаходяться під струмом. Кожен цикл вібрації електроду включає

чотири процеси, що протікають послідовно: коротке замикання, відрив електроду від деталі, електричний розряд та холостий хід (рис. 6.4).

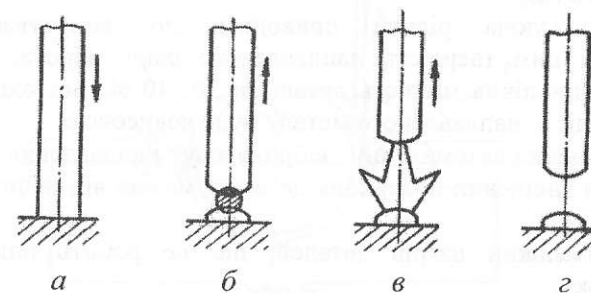


Рис. 6.4. Схема процесу вібродугового наплавлення

При короткому замиканні (рис. 6.4, а) струм швидко зростає від нульового значення до максимуму, а напруга падає майже до нуля – відбувається приварювання кінця електроду до поверхні деталі. При русі електроду від поверхні деталі відбувається зменшення його перетину на деякому віддаленні від кінця (рис. 6.4, б). Зменшення перетину електроду підвищує щільність струму і прискорює відрив електроду від деталі. Після відриву електроду на деталі залишається частинка металу, що приварився. В момент відриву електроду від деталі напруга струму зростає до 26...32 В і виникає короточасний електродуговий розряд (рис. 6.4, в). Різке зростання напруги пояснюється тим, що при розриві зварювального ланцюга в індуктивному опорі виникає ЕРС самоіндукції, яка співпадає за напрямом з напругою джерела струму. В період електродугового розряду в електродному проміжку виділяється до 80% теплової енергії, що приводить до оплавлення наплавленого металу. В міру відходу електроду від деталі електричний розряд припиняється і настає період холостого ходу (рис. 6.4, г). Далі електрод знов стикається з поверхнею деталі і процес повторюється.

Як джерела струму при вібродуговому напавленні використовують низьковольтні генератори з послідовним включенням у зварювальний ланцюг як індуктивний опір – дросель низької частоти, зміна індуктивності якого досягається увімкненням або вимкненням витків.

Наплавлення ведуть з охолодженням струменем рідини (5% розчин кальцієваної соди) і без охолодження, а також у середовищі вуглекислого газу.

Охолоджуюча рідина приводить до загартування сталі, підвищуючи цим твердість наплавленого шару. Проте, при цьому знижується циклічна міцність деталей на 30...40 %. Без охолоджуючої рідини твердість наплавленого металу буде невисокою.

Оцінюючи автоматичну вібродугову наплавлення як спосіб відновлення зношених поверхонь деталей, можна відзначити наступні її переваги:

а) невеликий нагрів деталей, що не робить впливу на їх термообробку;

б) невелика зона термічного впливу;

в) достатньо висока продуктивність процесу.

До числа недоліків слід віднести зниження циклічної міцності деталей після наплавлення на 30...40 %.

6.4. Електроконтактне наплавлення

При цьому способі наплавлення металопокриття на поверхні відновлюваної деталі утворюється в результаті навивки дроту і контактного приварювання його до деталі за рахунок імпульсів струму великої сили. В процесі наплавлення відбувається деформація дроту до необхідної товщини шару покриття.

Принципова схема електроконтактного наплавлення показана на рис. 6.5. При напавленні деталь 2 встановлюють у патроні або в центрах токарного верстата, а наплавний пристрій з контактним 1 та наплавним 4 роликми і механізмом навантаження – на супорті верстата. Наплавний ролик притискує дріт 3 до деталі та деформує її. Струм до контактних та наплавних роликів підводиться від вторинної обмотки 5 трансформатора. У ланцюг первинної обмотки 6 трансформатора включений переривач струму 7, що забезпечує необхідну тривалість імпульсів струму та пауз між ними.

Наплавний та контактний роликми конструктивно нічим не відрізняються від зварювальних роликми машин для електроконтактного зварювання. Роликми виготовляють з хромової бронзи або із сплаву МЦ-55. Механізмом навантаження можуть служити гідравлічні циліндри з максимальним зусиллям 1500 Н,

пневматичні діафрагмові камери, а також механізми, що складаються з пружин і силового гвинта для зміни величини натискаючого зусилля.

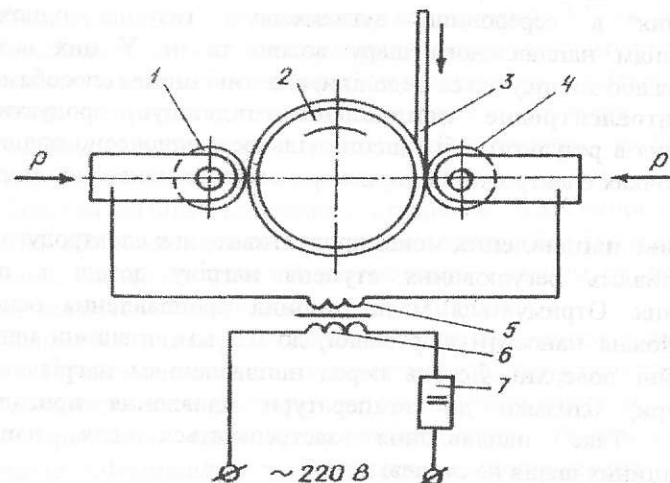


Рис. 6.5. Схема електроконтактного наплавлення: 1,4 – контактний та наплавний ролик; 2 – деталь, що наплавляється; 3 – дріт, що наплавляється; 5 – вторинна обмотка трансформатора; 6 – первинна обмотка трансформатора; 7 – переривач

Як джерело струму може бути використаний трансформатор від контактної зварювальної машини, що забезпечує у вторинній обмотці напругу в межах 1...5 В і силу струму, що дорівнює 5000...10000 А. Електроконтактною напавленням відновлюють деталі діаметром від 20 до 150 мм. Товщина шару наплавленого металу залежить від діаметра електродного дроту і режиму напавлення і може бути в межах 0,2...1,5 мм.

Особливостями електроконтактного напавлення є:

а) висока продуктивність процесу;

б) незначні втрати присадкового матеріалу;

в) невелика зона термічного впливу (менше 0,5 мм);

г) можливість отримання наплавленого металу з будь-якими властивостями;

д) незначне зниження втомної міцності деталі через пластичну деформацію металу, що наплавляється, в гарячому стані;

е) сприятливі санітарно-виробничі умови роботи операторів.

Наплавлення з комбінованим захистом дуги – вібродугове наплавлення під флюсом з одночасним охолодженням деталі водою, наплавлення в середовищі вуглекислого газу з одночасним охолодженням наплавленого шару водою та ін. У цих випадках усуваються або зменшуються недоліки, властиві іншим способам.

Багатоелектродне наплавлення підвищує продуктивність наплавлення в результаті збільшення кількості одночасно працюючих у різних точках електродів, що прискорює процес нанесення металу на деталь.

Газове наплавлення менш продуктивне, ніж електродугове, але дає можливість регулювання ступеня нагріву деталі в процесі наплавлення. Отримується мала глибина проплавлення основного металу. Можна наносити шар малої, до 0,5 мм, товщини навіть на криволінійні поверхні. Деталь перед наплавленням нагрівається до температури, близької до температури плавлення присадкового матеріалу. Таке наплавлення застосовується для нанесення антифрикційних шарів на сталеві деталі.

Окрім перерахованих видів, наплавлення може виконуватися струмами високої частоти, плазмовою дугою та ін.

Дефектами наплавлення є: тріщини, пори, раковини, шлакові вclusions, несплавлення шару з основним металом і т.д. Наплавлений шар контролюється візуально, а також неруйнуючими методами, такими як: оптичний, магнітний, рентгенівський, гамма-променями, ультразвуковий та ін.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення наплавлення.
2. Поясніть сутність електродугового наплавлення, наплавлення в середовищі вуглекислого газу, електроконтактного наплавлення.

7. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПАЯННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Відновлення та виготовлення конструкцій АТ за допомогою паяння знаходить широке застосування в авіаремонтному виробництві. Так, ремонт масляних та повітряно-повітряних радіаторів, тросів управління, стрічок металізації, баків, корпусів, приладів, кронштейнів, кришок, люків, шасі, радіоапаратури, трубопроводів, електропроводки часто виконується за допомогою паяння.

Паянням називається процес створення нероз'ємного з'єднання металевих або неметалевих деталей, матеріалів без їх розплавлення. При паянні матеріали деталей взаємодіють з рідким припоєм, тобто відбувається взаємна дифузія матеріалу і припою.

Паяння має ряд переваг порівняно зі зварюванням, а саме:

- 1) збереження механічних властивостей, структури та хімічного складу основного металу деталей, що з'єднуються паянням;
- 2) отримання чистого, хорошого виду з'єднання з дуже незначними деформаціями та внутрішніми напруженнями;
- 3) простота технологічного процесу паяння і можливість її механізації.

До недоліків процесу паяння можна віднести:

- 1) знижена в деяких випадках міцність з'єднання відносно до основного матеріалу;
- 2) дефіцитність матеріалів у разі застосування припоїв на основі олова та срібла.

Сучасні паяні з'єднання високоміцні, стійкі до агресивних середовищ (кислот, розплавлених металів), термостійкі (навіть при температурах 1000...2000 °С і вище), масові випробування паяних з'єднань показали, що вони надійніші від зварних (у чотири рази в конструкціях ЛА і в 20 разів у космічних апаратах).

У даний час розроблені нові способи та устаткування, що дозволяє виконувати паяння конструкцій, що працюють при високих температурах, в умовах високого навантаження, з наявністю вібрації і т.д. Ці способи та устаткування знаходять все більшого розповсюдження в авіабудуванні, а для відновлення таких з'єднань вони впроваджуються в авіаремонтному виробництві. Класифікація способів паяння наведена на рис. 7.1.

Спосіб паяння у кожному конкретному випадку вибирають з урахуванням типу припою, форми паяного з'єднання і матеріалу, розмірів виробу, наявності необхідного устаткування.

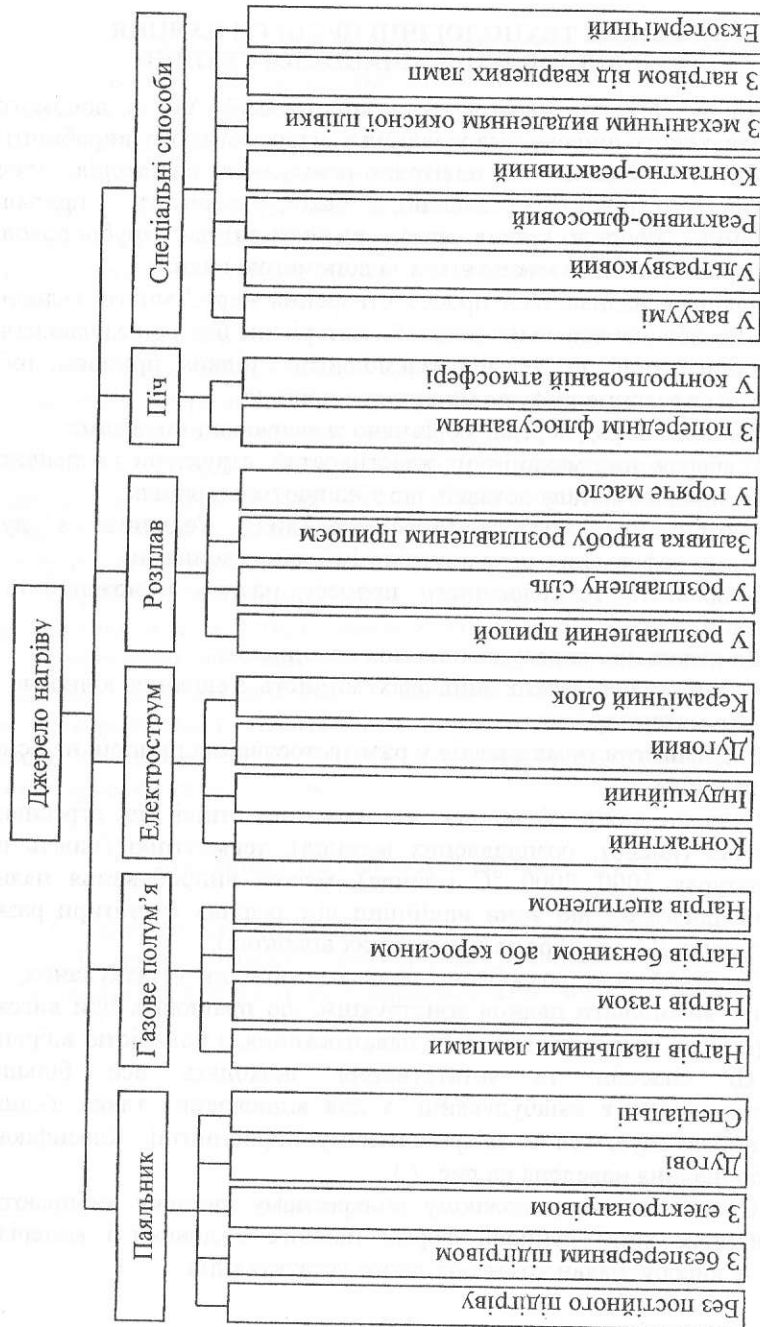


Рис. 7.1. Класифікація способів паяння

Пічне паяння має такі різновиди: паяння в печах з повітряним середовищем, паяння в печах з контрольованими середовищами, паяння у вакуумних печах.

Індукційне паяння виконується на високочастотних установках з ламповим або машинним перетворювачем, а також на спеціальних індукційних установках.

Паяння зануренням виконується при розміщенні об'єктів паяння в розплавлених припоях, солях. При цьому можна вести паяння не тільки в газовому середовищі, але і вакуумі.

Газополуменеве паяння виконується за допомогою пальників з газовим або рідким паливом.

Паяння електроопором виконується за допомогою ручних кліщів, на машинах для контактного зварювання і на спеціальних установках.

Паяння локальними (місцевими) концентрованими джерелами енергії має такі різновиди: паяння інфрачервоним випромінюванням, паяння електронним променем, паяння сфокусованим світловим променем, паяння лазером, паяння електричною дугою.

Паяння паяльниками підрозділяється на паяння електричними паяльниками, паяння паяльниками з непрямим нагрівом, ультразвукове паяння та абразивне паяння.

Ультразвукове паяння ведеться без флюсу. При ввімкненні генератора (рис. 7.2) обмотка збуджує в стрижні паяльника ультразвукові коливання. Нагрів же стрижня паяльника відбувається від обмотки електроопору при включенні в електромережу. Розплавлений припій розтікається по місцю паяння. Ультразвукові коливання викликають в шарі рідкого припою між носком паяльника та деталлю явища кавітації, що супроводжуються утворенням і руйнуванням пазирів повітря та газів. Виникають ударні хвилі, які руйнують окисну плівку. Припій лудить очищену поверхню деталі. Облужені деталі підігріваються та спаюються.

Цей спосіб паяння застосовується для легкоплавких припоїв з температурою плавлення ≤ 400 °С, не вимагає флюсування, видалення залишків флюсу, промивки та сушки деталей.

Абразивне паяння деталей виконується за допомогою абразивного стрижня (рис. 7.3), спресованого із стружки припою і подрібненого абразиву (наприклад, асбесту).

При цьому стрижень підігрівається за допомогою обмотки електроопору, видаляється окисна плівка. Перед паянням деталь знежирюється розчинником або бензином Б-70, потім підігрівається зовнішнім джерелом тепла до температури паяння. Облуження здійснюється натиранням поверхні деталі підігрітим абразивним стрижнем. Потім деталь може бути піддана подальшому паянню будь-яким з легкоплавких припоїв.

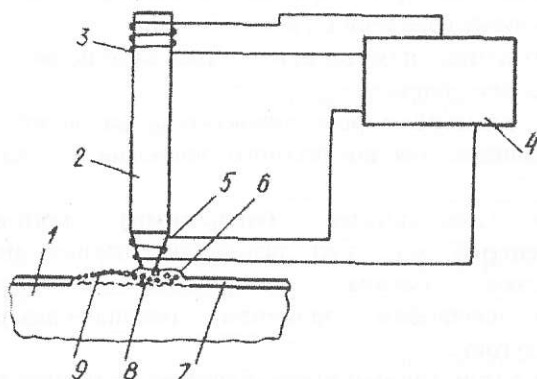


Рис. 7.2. Схема ультразвукового паяння (луження): 1 – деталь з алюмінієвого сплаву; 2 – стрижень паяльника (вібратор); 3 – обмотка збудження; 4 – генератор ультразвукової енергії; 5 – нагрівальна обмотка; 6 – кавітаційні пазури; 7 – окисна плівка; 8 – залишки руйнування окисної плівки; 9 – шов

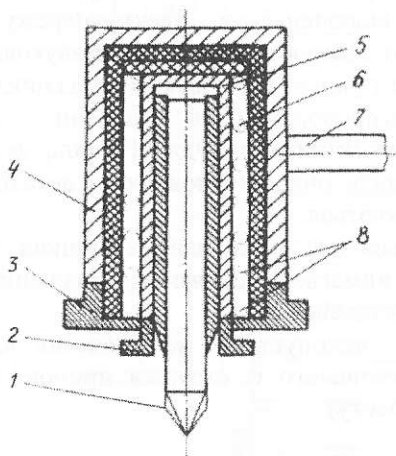


Рис. 7.3. Схема абразивного паяльника:
1 – абразивний стрижень;
2 – затискач;
3 – гайка;
4 – корпус;
5 – розрізна мідна ступка;
6 – асбестова ізоляція;
7 – рукоятка;
8 – ніхромовий дротяний нагрівач

Процес паяння в авіаремонтному виробництві практично доповнює зварювання. При цьому технологічний процес відновлення спрощується, підвищується техніко-економічний ефект.

Особливості паяння деталей з алюмінієвих сплавів. Основні способи паяння і видалення окисної плівки з поверхонь деталей, виготовлених з алюмінієвих сплавів, подані на рис. 7.4, 7.5.



Рис. 7.4. Способи паяння деталей АТ, виготовлених з алюмінію та його сплавів

Найпоширенішим методом паяння при відновленні АТ є флюсовий спосіб паяння високотемпературними припоями. Як припой частіше використовується корозійно-стійкий сплав (алюміній, мідь та кремній), що має міцність $\sigma_b = 145...175$ МПа і температуру плавлення $T = 525$ °С. Як флюс використовуються такі суміші, що ефективно видаляють окисну плівку алюмінію.

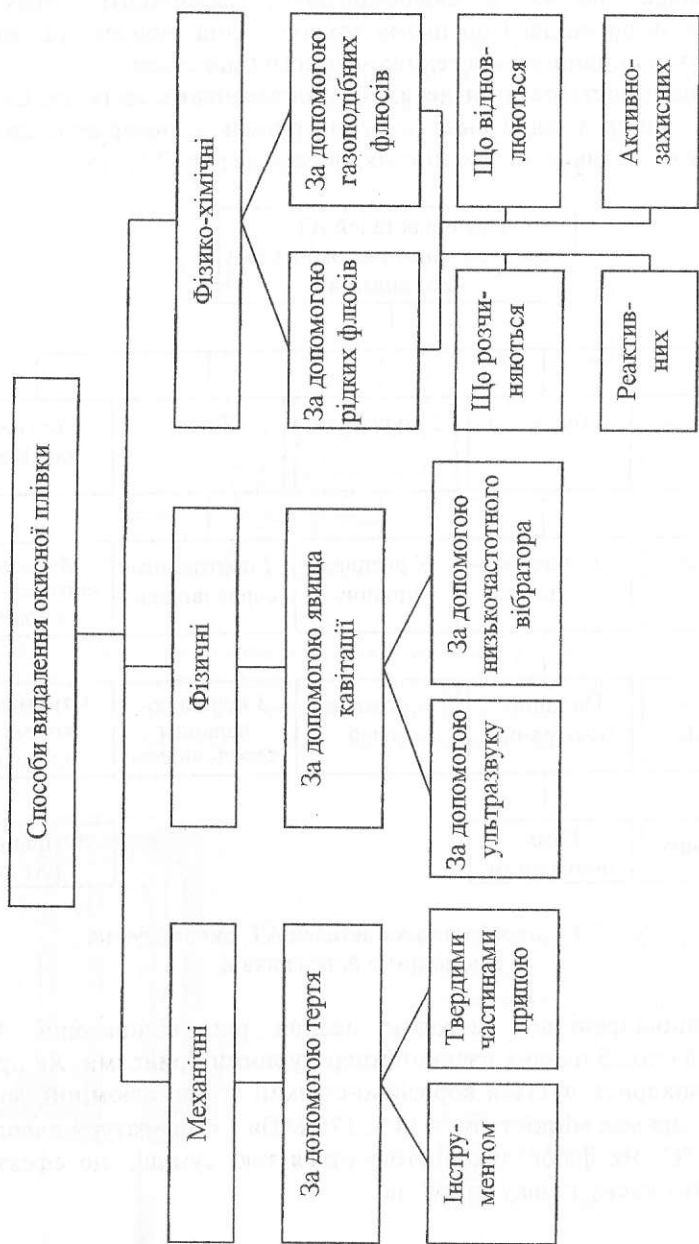


Рис. 7.5. Способи видалення окисної плівки при паянні деталей АТ, виготовлених з алюмінію та його сплавів

Технологічний процес паяння:

- 1) очищення та знежирення деталі;
- 2) нагрів деталі до $T = 430...450\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 3) нагрів припою до оплавлення;
- 4) змочування прутка припою в порошкоподібному сухому флюсі;
- 5) паяння;
- 6) видалення волоссяною щіткою залишків флюсу і промивка гарячою водою $60...80\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 7) пасивація шва гарячим хромовим ангідридом $60...80\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 8) повторна промивка гарячою водою і сушка стислим повітрям;
- 9) крапельний контроль якості промивки шва за допомогою дво-процентного розчину азотнокислого срібла (білого осадку не повинно бути).

Цей технологічний процес простіший та економічніший від ремонту за допомогою зварювання. Процес паяння на відміну від зварювання відбувається без оплавлення матеріалу деталей АТ, що не знижує їх міцнісних характеристик.

Основним елементом при моделюванні процесу відновлення деталей АТ паянням є температурна умова. Оскільки процес паяння відбувається без плавлення матеріалу деталі, то плавиться лише припій, а основний метал підігрівається до температури паяння, яка декілька вище за температуру плавлення припою, але завжди нижче за температуру плавлення матеріалу деталі. Але з умов працездатності деталі (з'єднання) температура початку плавлення припою повинна бути вище від робочої температури деталі в експлуатації. Температурну умову можна записати у вигляді залежності:

$$t_1 > t_2 > t_3 > t_4,$$

де t_1 – температура початку плавлення металу деталі АТ, $^{\circ}\text{C}$; t_2 – температура нагріву деталі при паянні або температура паяння, $^{\circ}\text{C}$; t_3 – температура початку плавлення припою, $^{\circ}\text{C}$; t_4 – робоча температура паяного з'єднання в умовах експлуатації, $^{\circ}\text{C}$.

При розробці технологічного процесу ремонту паянням деталі з алюмінію або його сплавів необхідно враховувати такі чинники:

- а) складність видалення окисних плівок;
- б) низьку температуру плавлення алюмінію та його сплавів;
- в) можливість розміцнення термічно оброблених сплавів;
- г) необхідність забезпечити рівномірність та корозійну стійкість.

Окисна плівка Al_2O_3 є стійким хімічним з'єднанням і має температуру плавлення $2050\text{ }^\circ\text{C}$, тоді як сам алюміній плавиться вже при $660\text{ }^\circ\text{C}$. При видаленні окисної плівки механічним способом на повітрі вона швидко відновлюється. Розчинити її звичайними флюсами, що використовуються для паяння сталевих та мідних деталей, не вдається. Класифікація способів видалення окисної плівки Al_2O_3 представлена на рис. 7.5.

Механічним способом, заснованим на терті при роботі інструментів або твердих частинок, виконують зріз цієї плівки при використанні абразиву, шабера, напильника, металевої щітки з одночасною дією частинок припою. Проте в цьому випадку видалення окисної плівки відбувається нерівномірно, вимагає великих витрат праці.

При фізичних способах видалення окисної плівки використовують явище кавітації, що виникає на межі розділу оксид – рідкий припій, внаслідок генерації у припої УЗК.

Фізико-хімічні способи видалення окисних плівок засновані на використанні при паянні плавких або газоподібних флюсів, що активно впливають на цю плівку.

Паяння деталей з алюмінієво-магнієвих сплавів із вмістом магнію більше 6%, не рекомендується, оскільки на них утворюються окисні плівки високої хімічної стійкості.

При паянні алюмінієвих сплавів слід враховувати, що відбувається деяке розміщення металу за рахунок відпалу.

Припої. Як припої можуть використовуватися чисті метали та сплави. Всі припої діляться на дві групи:

- тугоплавкі (високотемпературні та високоміцні);
- легкоплавкі (низькотемпературні та менш міцні).

Температура плавлення тугоплавких припоїв від 500 до $2000\text{ }^\circ\text{C}$ і вище, а легкоплавких нижче.

До першої групи припоїв відносяться сплави на мідній, алюмінієвій, магнієвій, срібній, золотій та інших основах.

До другої групи припоїв відносяться сплави на свинцево-оловянистій основі (іноді з добавками сурми).

Припої, що поставляються на заводи ЦА, виготовлені у вигляді злитків, прутків, дроту, листів, трубок з флюсом, зерен, паст, стружок і т.ін.

Тугоплавкі припої мають механічну міцність при розтягуванні до 500 МПа , а легкоплавкі – до $50\text{...}80\text{ МПа}$.

Припої повинні відповідати таким вимогам:

1) температура плавлення припою повинна бути менше температури паяних металів не менше, ніж на $50\text{...}100\text{ }^\circ\text{C}$;

2) коефіцієнт термічного розширення паяного металу та припою не повинні мати великих відмінностей;

3) при температурі плавлення припій повинен добре змочувати основний метал і заповнювати зазори між деталями, що з'єднуються;

4) при паянні деталей припій повинен утворювати міцні та корозійно-стійкі з'єднання;

5) мати мінімальну вартість і дефіцитність складових компонентів припою;

6) мати нескладну технологію виготовлення та застосування припою;

7) бути нешкідливим для оператора.

Основні марки та характеристики припоїв наведені в табл. 7.1,

7.2.

Таблиця 7.1

Високотемпературні припої

Марка припою	Система припою	Температура плавлення, $^\circ\text{C}$		Коротка характеристика припою і рекомендації щодо застосування
		початок	кінець	
ВПр-1 Пж45-81	Cu-Ni	1080	1120	Теплостійкий для паяння трубопроводів та інших вузлів з корозійно-стійких сталей
	Cu-Ni	1150	1200	
ВПр-2	Cu-Mn-Ni	960	970	Самофлюсуючий для паяння вузлів з корозійно-стійких сталей
ВПр-4	Cu-Ni-Mn	940	980	Самофлюсуючий для паяння трубопроводів та інших вузлів з корозійно-стійких сталей
ВПр-13 (ПСрМцМр23)	Cu-Ag-Mn-Ni	850	910	Самофлюсуючий для паяння стільникових панелей з корозійно-стійких сталей перехідного аустенітно-мартенситного класу

Продовження табл. 7.1

Марка припою	Система припою	Температура плавлення, °C		Коротка характеристика припою і рекомендації щодо застосування
		початок	кінець	
ПМ17А	Cu-Ni-Mn-Ag	870	940	Самофлюсуючий для паяння деталей з мідних сплавів та корозійно-стійких сталей
Л63	Cu-Zn	900	905	Для паяння сталевих труб та інших сталевих виробів невідповідального призначення. При паянні сталей, що знаходяться під дією зовнішніх або внутрішніх розтягуючих напруг (нагартування, нерівномірний нагрів, жорстке кріплення), можливе крихке їх руйнування
ПСр-25Ф	Cu-Ag-P	645	725	Для паяння деталей з міді та її сплавів
ПСр-25	Cu-Zn-Ag	740	775	Для паяння трубопроводів з конструкційних та корозійно-стійких сталей
ПСр-40	Ag-Cu-Zn-Cd	590	610	Для паяння деталей з конструкційних корозійно-стійких сталей, міді та латуні
ПСр-45	Ag-Cu-Zn	665	730	Для паяння деталей з конструкційних сталей, міді та корозійно-стійких сталей, латуні
ПСр-72	Ag-Cu	779	779	Для паяння деталей із сталі, міді та мідних сплавів з високою вакуумною густиною і електропровідністю

Закінчення табл. 7.1

Марка припою	Система припою	Температура плавлення, °C		Коротка характеристика припою і рекомендації щодо застосування
		початок	кінець	
ПСрМин63	Ag-Cu-In	750	760	Для паяння деталей з титанових сплавів та деяких корозійно-стійких сталей. Забезпечує вакуумно-щільні з'єднання
ВПр-17	Cu-Ag-Zn-Ni	950	990	Для паяння трубопроводів з корозійно-стійких сталей
ВПр-15	Ag-Cd-Cu-Al-Mg	860	880	Для паяння трубопроводів з титанових сплавів
ВПр-16	Ti-Cu-Zr-Ni	910	920	Те саме

Таблиця 7.2

Низькотемпературні припої

Марка припою	Система припою	Температура плавлення, °C	Коротка характеристика припою і рекомендації щодо застосування
Олово чисте 02,03	Sn	232	Висока корозійна стійкість припою. Для луження і паяння деталей та електрокомунікацій, що працюють у всекліматичних умовах експлуатації без додаткового антикорозійного захисту
ПОС-90	Sn-Pb	183...220	Для паяння деталей, що піддаються надалі гальванічним покриттям (сріблення, золочення)
ПОССу 61-0,5	Sn-Pb	183...189	Для паяння деталей, що не допускають високого нагріву в зоні паяння; для паяння монтажних з'єднань обмотувальних дротів діаметром 0,05...0,08 мм, опори, конденсатори і т. д.; монтажних дротів з хлорвініловою ізоляцією;

Продовження табл. 7.2

Марка припою	Система припою	Температура плавлення, °С	Коротка характеристика припою і рекомендації щодо застосування
			для вторинних ступінчастих паянь, розташованих поряд з паяннями, виконаними більш тугоплавкими припоями (наприклад, ПОС-40); для паяння герметичних швів, наприклад, скляних та керамічних вивідних ізоляторів, а також для паяння спеціального призначення, коли потрібні підвищена електропровідність і механічна міцність; для відповідального паяння в електротехніці та приладобудуванні
ПОССу 40-0,5	Sn-Pb	185...229	Для паяння радіаторів, електро- та радіоапаратури, електро-монтажних робіт
ПОССу 30-0,05	Sn-Pb	185...250	Для луження деталей радіаторів, підшипників, що заливаються свинцевими бабітами, для паяння мідних дротів
ПОССу4-6	Sn-Pb	244...270	Для луження сталі, паяння деталей, що не піддаються ударним навантаженням
ПСрМО5 (ВПр-9)	Ag-Sn-Sb-Cu	215...240	Для виробів, що працюють у всекліматичних умовах експлуатації без додаткового антикорозійного захисту паяного шва (в основному для електромонтажу бортових систем)
ПСр0Су8 (ВПр-6)	Ag-Sn-Pb	235...250	
ПСрИН1,4 (ВПр-18)	Ag-Sn-Pb-In	295...305	
ПОСК50-18	Sn-Pb-Cd	142...145	Для пониження температури паяння через небезпеку перегріву деталей, а також для "ступінчастого" паяння
Сплав РОЗе	Sn-Pb-Bi	93...96	

Закінчення табл. 7.2

Марка припою	Система припою	Температура плавлення, °С	Коротка характеристика припою і рекомендації щодо застосування
Сплав Вуда	Sn-Pb-Bi-Ca	66...70	Механічна міцність припоїв незначна, оскільки вісмутові припої володіють великою крихкістю
ПСрЗКД	Ag-Cd	314...342	Для паяння радіаторів, деталей електричних машин. Електроконтактний спосіб нагріву (вугільними електродами)
ПСр-2, ПСр-5	Ag-Sn-Pb	295...300	Для паяння деталей та електромонтажних з'єднань, що працюють при температурах до 200°С

Флюси – активні хімічні речовини, що поліпшують змочуваність і розтікання припоїв, видаляючи окисли та різні технічні забруднення металів. В якості флюсів застосовують суміші солей, розчини солей, кислот та органічних сполук.

Роль флюсів можуть виконувати і деякі спеціальні газові середовища. Тому флюси підрозділяються:

а) за фізичним станом: на тверді, пастоподібні, рідкі та газоподібні;

б) за температурною ознакою: для паяння тугоплавкими або легкоплавкими припоями;

в) за ступенем активності: на некорозійні (захисні), слабокорозійні (проміжні) та корозійні (активні).

Флюси повинні задовольняти наступним вимогам:

1) температура плавлення флюсу повинна бути нижчою за температуру плавлення припою;

2) питома маса рідкого флюсу повинна бути менше питомої маси рідкого припою;

3) мати хорошу здатність до розтікання рідкого флюсу по деталях, що з'єднуються, і припою та відповідну їх змачуваність;

4) розчиняти або руйнувати поверхневі неметалічні плівки на поверхні деталей, що з'єднуються;

5) бути нешкідливим і при необхідності мати ефективні засоби захисту.

Флюси діляться на чотири групи:

1) флюси на основі з'єднань бору (для паяння чорних та кольорових металів);

2) флюси на основі фторидів (для тих же металів, якщо з'єднання бору має недостатню активність);

3) флюси на основі хлоридів (більш легкоплавкі) для низькотемпературного паяння;

4) флюси на основі канифолі та інших органічних сполук (для низькотемпературного паяння міді та сплавів на її основі).

Флюси видаляються водою або механічною дією.

Газові середовища, що використовуються при паянні, ділять на неактивні, активні та вакуумні.

До перших відносяться інертні гази – для захисту матеріалу та припою від окислення при паянні. До других – газова атмосфера, що вживається для захисту від окислення і для видалення окисної плівки з матеріалу та припою при паянні (складові – водень, окисел вуглецю і т.ін.). Вакуум застосовується для попередження від окислення матеріалу та припою.

Контроль паяних з'єднань – це, перш за все, необхідність дотримання технології, режимів, марок припою та флюсів, справності устаткування, відповідної кваліфікації виконавця.

Контроль паяних з'єднань здійснюється зовнішнім оглядом.

Для деяких паяних з'єднань застосовується просвічування зони паяння рентгенівськими або гамма-променями. При цьому виявляються приховані дефекти паяння: непропаї, тріщини, пористість. Більш широко поширення для контролю паяних з'єднань набув ультразвуковий метод. Використовується для контролю також і магнітний метод.

У деяких випадках виконується випробування на герметичність.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення паяння.
2. Назвіть особливості паяння деталей з алюмінієвих сплавів.
3. Наведіть основні етапи ТПП паяння.

8. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ

8.1. Фізичні основи отримання електролітичних покриттів

Електролітичні покриття мають високі, технологічно регульовані фізико-механічні властивості і дозволяють відновлювати деталі з невеликими зносами без структурних змін основного металу, що суттєво для термічно оброблених поверхонь. Гальванічне нарощування дозволяє тонко регулювати величину припуску на наступну обробку.

Електролітичні покриття мають широке розповсюдження у виробництві та ремонті деталей АТ. Покриття з металів і сплавів надають поверхням деталей підвищену зносостійкість, антифрикційність, електропровідність, антикорозійність та багато інших властивостей.

Порівняно з напленням гальванічні покриття мають ряд переваг: по-перше, процес нарощування металу відбувається при температурах, що не перевищують 80°C. Більшість процесів електролізу протікає при температурах, що не перевищують 18...20°C, хромування – 50...60°C, тверде нікелювання – 80°C. Такі температури не викликають розміщення загартованих або хіміко-термічно оброблених сталевих деталей. По-друге, електролітичний спосіб покриття деталей дозволяє точно регулювати задану товщину покриття. По-третє, електролітичні покриття забезпечують високу міцність зчеплення осаджуваного металу з металом деталі і забезпечують його економну витрату.

Найширшого розповсюдження з гальванічних способів відновлення деталей АТ набули: хромування, нікелювання, міднення, цинкування, кадміювання, окисдування та ін.

Залежно від призначення захисних покриттів до них пред'являються різні вимоги. Проте незалежно від їх призначення загальною вимогою, якій повинні задовольняти всі покриття, є міцне зчеплення з основою (адгезія). У найвідповідальніших випадках покриття не повинне відшаровуватися від основи при будь-якому ступені деформації.

Іншою важливою вимогою, що пред'являється до покриттів, є отримання осадів необхідної структури. Структура металевих осадів є одним з головних чинників, що визначають їх хімічні, фізичні та

механічні властивості. Тому отримання осадів необхідної структури має велике значення при електролітичному покритті деталей металами.

У гальванотехніці найбільш цінні рівномірні за товщиною осади з дрібнозернистою структурою. Такі осади, як правило, мають меншу пористість, кращу здатність захищати вироби від корозії, підвищену твердість та зносостійкість, мають більш привабливий зовнішній вигляд.

Електролізом називають хімічні процеси, які відбуваються на електродах під час проходження електричного струму через електроліт (рис. 8.1). *Електроліти* — кислоти, луги і солі, розчинені у воді, які дисоціюють, розпадаючись при цьому на позитивні і негативні іони. Вода (H_2O) є слабким електролітом і дисоціює на іони водню ($2H^+$) і гідроксилу (OH^-). При дисоціації іони металів і водню отримують позитивний заряд (катіони) і, переміщуючись у процесі електролізу до поверхні катоду (електрод, з'єднаний із негативним полюсом джерела струму), поповнюються електронами, тобто відновлюються і перетворюються у нейтральні атоми. Іони кислотних залишків — гідроксилів, маючи негативний заряд (аніони), переміщуються до поверхні аноду (електрод, з'єднаний з позитивним джерелом струму), розряджаються, віддаючи надлишкові електрони, тобто окислюються і перетворюються у нейтральні атоми.

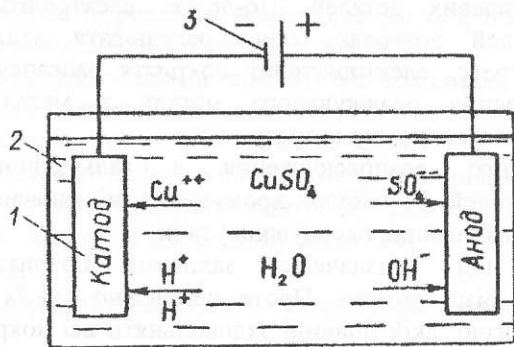


Рис. 8.1. Схема установки для електролітичного осадження металу:
1 — деталь, 2 — електроліт, 3 — джерело струму

Під час електролізу основним процесом на катоді є виділення металу та водню, а на аноді — кисню. Катодом є деталь, яку відновлюють, а анодом — металічні пластини або інші металічні конструктивні форми. Електроліз металів може здійснюватись із

розчинними (наприклад, при залізненні) або нерозчинними (при хромуванні) електродами. У першому випадку основним процесом для них буде розчинення металу, який підлягає осадженню на деталі, тобто перехід атомів металу в розчин у вигляді катіонів, а супутнім — виділення кисню. Утворені катіони підтримують постійну концентрацію електроліту. При електролізі з нерозчинними анодами поповнення електроліту іонами металу відбувається шляхом додавання в електроліт речовини, яка містить цей метал.

Властивості електроосаджених металів відрізняються від властивостей тих же металів, отриманих металургійним шляхом. Це пояснюється тим, що метал виділяється на катоді в особливих умовах електрокристалізації з утворенням різних структур (крупно- і дрібнокристалічна, шарувата) і з певною орієнтацією кристалів — текстурою. Ці фактори надають електролітичним покриттям особливих фізико-механічних властивостей. Наприклад, електролітичне залізо за своїми властивостями за певних режимів осадження не поступається загартованій сталі, тобто значно відрізняється від властивостей чистого заліза.

Параметри, які характеризують електроліз, ґрунтуються на законах Фарадея і визначають основні технологічні режими електролітичних покриттів. Перший закон Фарадея доводить, що маса речовини, яка виділяється на катоді, пропорційна кількості електрики, що пройшла через електроліт:

$$m_r = cIt,$$

де m_r — маса осадженого металу, г; c — електрохімічний еквівалент речовини, яка виділяється на катоді, г/А·год; I — сила струму, А; t — тривалість електролізу, год.

Другий закон Фарадея встановлює, що електрохімічний еквівалент даної речовини пропорційний його хімічному еквіваленту, який дорівнює відношенню атомної маси елемента (a , г) до його валентності (n). Коефіцієнт пропорційності являє собою величину, обернену постійній Фарадея, яка визначає кількість електрики, необхідної для виділення під час електролізу одного грам-еквівалента речовини: $F = 96\,480 \text{ Кл} = 26,8 \text{ А·год}$ (1 А·год = 3600 Кл). Таким чином, цей закон дозволяє розрахувати електрохімічний еквівалент:

$$c = (1/F) \cdot (a/n).$$

Підготовка деталей до електролітичного відновлення передбачає механічну обробку, знежирювання, травлення.

Механічну обробку деталей виконують із метою видалення слідів зношування, надання поверхні правильної геометричної форми і отримання необхідної шорсткості (не нижче $R_z = 10$ мкм). Застосовують такі види обробки, як шліфування, притирання, полірування.

Знежирювання проводять після механічної обробки в органічних розчинниках. Отвори у деталях закривають пробками.

Жирові плівки повністю видаляють наступним хімічним або електрохімічним знежирюванням у лужних розчинах при температурі 60...80 °С. Одним із варіантів хімічного знежирювання є знежирювання віденським вапном (суміш оксидів кальцію і магнію у рівних пропорціях).

Під час електрохімічного знежирювання деталь є катодом, а пластини з маловуглецевої сталі — анодом. Процес знежирювання поліпшується завдяки додатковому руйнуванню жирової плівки киснем, який виділяється на катоді.

Після знежирювання деталі промивають теплою (60...70 °С) проточною водою.

Травлення проводять для видалення окисних плівок і виявлення кристалічної структури поверхні деталі, що забезпечує надійне зчеплення покриття з основним металом. Деталі піддають хімічному або електрохімічному травленню.

Хімічне травлення здійснюють у суміші сірчаної і соляної кислот (3...5 % кожної) при кімнатній температурі. У випадку електрохімічного травлення деталі обробляють на аноді. Вибір електроліту і режим травлення визначається природою металу і його окислів.

8.2. Хромування

Електролітичний хром — метал сріблястого кольору з синюватим відтінком — відрізняється високою корозійною стійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, високою твердістю і зносостійкістю. Блискучі осаді хрому мають велику крихкість і погано змочуються маслом.

Процес хромування порівняно малопродуктивний і має високу собівартість.

Для хромування найчастіше застосовують електроліти, які складаються з хромового ангідриду CrO_3 і сірчаної кислоти H_2SO_4 , розчинених у дистильованій воді.

Усі види хрому можна отримати на різних режимах в одному універсальному електроліті, який складається з 250 г/л CrO_3 і 2,5 г/л H_2SO_4 .

Захисно-декоративні осаді хрому можна отримати з цього самого електроліту при щільності струму $D_k = 7...30$ А/дм² і температурі електроліту $t = 35...50$ °С.

Крім універсального, існує ряд інших електролітів — саморегулюючий, тетрахроматний тощо.

Саморегулюючий електроліт має властивості автоматичного підтримання концентрації іонів SO_4 і SiF_6 . До складу такого електроліту входять: хромовий ангідрид — 200...300 г/л, сульфат стронцію — 6,5...7,0 г/л, кремнієфторид калію — 18...20 г/л. Щільність струму $D_k = 50...100$ А/дм², температура електроліту $t = 50...70$ °С.

Тetraхроматний електроліт дозволяє вести процес електролізу при кімнатній температурі. Склад електроліту, г/л: хромовий ангідрид — 350...400, сірчана кислота — 2,0...2,5, каустична сода — 40...60, цукор або глюкоза — 1...2. Режим процесу: щільність струму $D_k = 10...80$ А/дм², температура електроліту $t = 20$ °С.

З універсального електроліту, змінюючи щільність струму і температуру, можна отримати блискучі, молочні і матові (сірі) осаді.

Блискучі осаді отримують при $t = 55$ °С і $D_k = 35...70$ А/дм². Вони рекомендуються для нарощування деталей, що працюють при питомих навантаженнях до 2,5 МПа (сухе тертя) і 3,9...4,9 МПа (рідинне тертя).

Анодним травленням блискучих осадів у хромовому електроліті при $D_k = 30...40$ А/дм² можна отримати пористе покриття хрому, яке використовується для відновлення деталей, що працюють в умовах граничного тертя.

Молочні осаді отримують при $t = 60$ °С і вище, $D_k = 25...35$ А/дм². Вони характеризуються доброю змащуваністю і достатньою в'язкістю. Рекомендуються для нарощування деталей, що працюють при питомому тиску 7,8...9,8 МПа і як антикорозійне покриття.

Матові (сірі) осаді хрому отримують при високій щільності струму $D_k = 70...100$ А/дм² і температурі $t = 35...50$ °С. Вони мають велику твердість та крихкість, низьку стійкість проти зношування.

Анодами при хромуванні є пластини з чистого свинцю або сплаву свинцю з 5 % сурми. Відношення площі анодів до площі катодів приймають від 1 : 1 до 2 : 1.

Пористе хромування. Електролітичні гладкі осадження хрому характеризуються незадовільними змащувальними маслами і припрацюванням, що обмежує їх застосування у ремонтному виробництві.

Для підвищення стійкості в умовах граничного тертя використовують осади пористого хрому, які можна отримати електролітичним, хімічним і механічним способами.

Електролітичний спосіб ґрунтується на анодному травленні покриттів хрому, які мають мікроскопічну сітку тріщин. У цьому випадку можна отримати пористість двох видів: канальну і віспоподібну. За однакової інтенсивності анодного травлення об'єм точкових пор перевищує об'єм канальних більш як у 3 рази. Тому осадження з точковою пористістю частіше застосовують для деталей, які працюють в умовах недостатнього змащення і високих температур.

Хімічний спосіб полягає у розширенні і поглибленні мікротріщин шляхом травлення хромових покриттів у соляній або сірчаній кислоті. Цей спосіб малопродуктивний і не отримав широкого застосування в умовах ремонтного виробництва.

Механічний спосіб отримання пористих осадів полягає в попередньому (перед хромуванням) формуванні шорсткості поверхні деталі накатуванням, віброобкатуванням, піскоструминною обробкою тощо. Осаджуваний шар хрому копіює попередньо створений рельєф, утворюючи таким чином пористу поверхню, яка добре утримує мастило, що сприяє суттєвому підвищенню стійкості відновлюваних деталей проти зношування.

У даний час покриття пористим хромом використовується в основному для поршневих кілець, гільз циліндрів та деяких інших деталей двигунів (табл. 8.1).

Покриття пористим хромом, як правило, складається з 2-х шарів: нижнього – щільного і верхнього – пористого. Пористий шар хрому становить приблизно 1/3 від загальної товщини хрому. Після зносу пористого шару робота деталі на тертя продовжується цілком задовільно. Ймовірно, пориста частина хрому не тільки акумулює мастило, але також сприяє припрацюванню поверхонь тертя.

Контроль пористого хрому здійснюється головним чином зовнішнім оглядом за допомогою лупи (ЛП-7^х) і порівняння його з еталонними зразками.

Таблиця 8.1

Приклади відновлення деталей АТ хромуванням

Найменування деталей	Матеріал	Кількість деталей	Хромування поверхні	Кратність ремонту	Процент відходу деталей в ремонт	Тип АТ
Передній та задній вали КВД, вал КНД	ЭИ-9ИШ	1	Посадочна поверхня під підшипники, товщина шару 0,05 мм	Не лімітується	20	АИ-25
Корпус камери згорання	X15H5Ц2Т У-Ш	1	Фланець підшипника	–	20	АИ-25
Вал турбіни	ЭИ-9ИШ	1	0,05	–	40	АИ-26
Шестерня привода гідронаосу та інші шестерні	14ХГСН2М А-Ш		0,1	–	25	АИ-25
Монорельс 4	40ХНМА		0,06-0,08 мм	2	30	АИ-25
Болти	30ХГСА		Робочі поверхні	2	10	АН-26
Штоки	30ХГСА		30-80 мкм	2	10	АН-26

8.2.1. Механічні властивості хрому і вплив хромування на основний метал

Твердість хрому. Висока твердість електролітичного хрому пояснюється головним чином дрібнозернистою структурою і особливістю кристалізації його на катоді. В процесі формування осадів на катоді спочатку утворюється нестійка кристалічна форма хрому, яка потім переходить у стійкішу. Це явище, що супроводжується зменшенням об'єму осадів, приводить до спотворення кристалів, і, як наслідок цього, до високої твердості та крихкості хрому. Найтвердіші осадки хрому значно перевищують за твердістю звичні конструкційні матеріали і в 1,5 рази вищі за твердість азотованої сталі.

Пластичні властивості хрому. Як твердість, так і пластичність хрому значною мірою залежать від режиму електролізу. Особливо великий вплив має температура електроліту, при зміні якої можливе отримання електролітичного хрому від крихкого до відносно в'язкого.

Хромовані деталі, що працюють при знакозмінних навантаженнях, доцільно піддавати термічній обробці при температурі 150...200 °С. При цьому з хрому видаляється до 2/3 водню, що містилися в ньому, і цим зменшується крихкість покриття. Для повнішого видалення водню температура нагріву може бути підвищена до 400...550 °С.

Міцність електролітичного хрому. Уявлення про міцність електроосадженого хрому можна отримати на підставі ряду характеристик, до яких можна віднести: адгезію – міцність зчеплення з основним металом деталі, тимчасовий опір розриву і здатність покриття протистояти питомим та динамічним навантаженням.

Міцність зчеплення електроосадженого хрому з основою визначається головним чином підготовкою поверхні деталі і режимом електролізу. В результаті ретельного очищення поверхні, що хромується, і правильно вибраного режиму хромування отримують міцність зчеплення хромового покриття зі сталлю вище за міцність хрому. При різних методах випробувань відбувається руйнування хрому, а не відшаровування покриття від основного металу по межі хром-сталь.

Товщина покриття, впливаючи на його напружений стан, не впливає на міцність зчеплення.

Тимчасовий опір розриву хрому зменшується при збільшенні товщини шару покриття. Для осадків хрому з товщиною шару 0,1 мм

$\sigma_s = 500...600$ МПа; при збільшенні товщини шару хрому до 0,5 мм межа міцності знижується до 160...300 МПа.

Опір електроосадженого хрому зосередженим динамічним навантаженням значною мірою залежить від міцності основного металу деталі. На м'якій основі хромове покриття може продавлюватися. Хромуванням не можна замінити цементацію або загартування. Основний метал повинен бути настільки міцним, щоб виникаючі в ньому при роботі напруження не викликали залишкових деформацій деталі. В цьому випадку хромове покриття може витримати значні зусилля.

Антифрикційні властивості хрому. Хромована поверхня в порівнянні з більшістю металів має низький коефіцієнт тертя. Це можна пояснити дрібнозернистою структурою осадів хрому, високою твердістю і гладкістю поверхні. Так, наприклад, коефіцієнт тертя бронзи по загартованій сталі 0,11, а по хрому 0,05. Коефіцієнт тертя можна понизити до 0,04...0,027.

Висока твердість, низький коефіцієнт тертя і хімічна стійкість електролітичного хрому сприяє його високій зносостійкості. За правильно вибраних умов нанесення і експлуатації хромового покриття зносостійкість сталевих деталей можна підвищити у 3...5 разів.

Великий вплив на якість хромового покриття надає режим шліфування. Щоб уникнути утворення шліфувальних тріщин при шліфуванні хрому необхідно ретельно контролювати режим шліфування і подачу змащувально-охолоджуючої рідини.

Якість хромового покриття може бути підвищена шляхом алмазного вигладжування його поверхні. Така обробка ущільнює поверхневий шар хрому, створюючи в ньому стискуючі напруження. Ці напруження в деякій мірі компенсують розтягуючі напруження, що виникають при утворенні хромових осадів.

Вплив хромування на втомну міцність сталі. Втомна міцність сталі в результаті хромування знижується. Цей вплив зростає при збільшенні товщини покриття: при товщині шару хрому 0,2 мм втомна міцність знижується на 30...40 %. В результаті термічної обробки протягом 2 годин при температурі 200° С межа втомленості дещо відновлюється.

Зниження межі втомленості хромованих деталей є результатом великих залишкових розтягуючих напружень, що виникають у шарі електролітичного хрому. В осадах хрому, підданих анодному

травленню для створення пористості, величина внутрішніх напружень, менше, ніж у щільному хромі. Зниження величини залишкових напружень в результаті анодного травлення відбувається внаслідок розвитку тріщин у покритті.

Усунення негативного впливу хромування на втомну міцність сталі може бути досягнуто створенням напружень стиснення поверхні деталі, що підлягає хромуванню. Цю поверхню піддають зміцненню одним з методів поверхневої пластичної деформації (віброзміцнення, наклеп дробом, обкатка роликми та ін.). Така обробка перед хромуванням може істотно підвищити витривалість сталей при роботі в умовах циклічних навантажень.

Водневе окрихчування сталі при хромуванні. Водень, що виділяється в процесі хромування, частково розчиняється в сталі і при чому тим більше, чим вища температура електроліту. В результаті цього з'являється воднева крихкість основного металу. Особливо чутливі до водневої крихкості високоміцні сталі з $\sigma_s = 800...1000$ МПа і вище. Для видалення водню з хромованих деталей рекомендується піддавати їх термообробці при температурі $200...220^\circ$ С протягом 3 годин. Для високоміцних сталей така термообробка обов'язкова, при чому температура не повинна перевищувати температуру відпуску, якому піддавалася деталь.

8.3. Цинкування і кадміювання

Цинкування і кадміювання при відновленні АТ застосовується як антикорозійне покриття. Електролітично осаджений цинк має світло-сірий колір з голубуватим відтінком. Стандартний (E^0Zn) рівний $-0,76$ В. Цинк – порівняно твердий метал, у холодному стані – крихкий.

Кадмій досить м'який метал сріблясто-білого кольору, він дещо м'якший за цинк, добре кується, легко піддається поліруванню. Стандартний електродний потенціал кадмію (E^0Cd) рівний $-0,4$ В. Солі та пари кадмію отруйні. На відміну від цинку кадмій не розчиняється в лугах і осідає з розчинів солей у вигляді окислу кадмію. В атмосфері вологого повітря кадмій покривається тонкою плівкою окислу, яка оберігає метал від подальшого руйнування. Цинк володіє значно більш негативним потенціалом, ніж залізо, тому за наявності вологи він утворює гальванічний елемент, в якому залізо служить катодом і, отже, не руйнується. Таким чином, покриття цинком захищає від корозійного руйнування чорні метали не тільки механічно, але й

електрохімічно, тобто у разі місцевого руйнування шару цинку, корозія основного металу відбуватися не буде або протікатиме досить повільно.

Стандартні електродні потенціали кадмію та заліза дуже близькі, тому при експлуатації виробів, коли склад навколишнього середовища часто змінюється, відносні значення потенціалів заліза та кадмію можуть змінюватися. В одних середовищах потенціал кадмію відносно до заліза буде більш негативним, в інших – більш позитивним. Тому на відміну від цинкового покриття характер захисту виробів із сталі кадмієм (механічний або електрохімічний захист) значною мірою залежить від характеру середовища і умов протікання.

Порівняльні корозійні випробування цинкового і кадмієвого покриття показали, що у вологій атмосфері, насиченій O_2 , нові цинкові покриття чинять опір корозії значно краще за кадмієві. Тому елементи паливних насосів, трубопроводи та ін., зазвичай, захищаються цинком.

Кадміювання частіше застосовується в тих випадках, коли вироби з чорних та кольорових металів піддаються дії атмосфери, що містить хлориди (морська вода), а також коли вони контактують з алюмінієм або магнієм. Кадміювання ефективно використовується в різьбових з'єднаннях, де окрім корозійного захисту використовуються пластичні властивості кадмію, чим забезпечується гарантований натяг різьбових з'єднань.

Цинкування і кадміювання звичайно проводиться в кислих або лужних електролітах. Малогабаритні деталі нескладної форми покривають цинком або кадмієм у кислих електролітах, наприклад:

сірчаноокислий цинк – $200...2520$ г/л,
сірчаноокислий натрій – $50...100$ г/л,
сірчаноокислий алюміній – $20...30$ г/л,
декстрін – $8...10$ г/л,
температура, $^\circ C$ – $15...30$,
щільність струму, A/dm^2 – $1...4$.

Лужні електроліти, найчастіше ціаністі, як для нанесення цинку, так і кадмію, використовуються у зв'язку з тим, що при цьому поліпшується рівномірність покриття, а самі покриття стають світлими, гладкими і відрізняються дрібнокристалічною структурою. В даний час існує багато варіантів їх складів, але всі вони складаються з трьох обов'язкових компонентів: окислу цинку або кадмію, ціаністого натрію та їдкого натра, які поєднуються між собою в різних співвідношеннях.

Цинкуванню в кислих електролітах підлягають, звичайно, всі дрібні кріпильні деталі (болти, гайки, шурупи). Для цієї мети застосовується спеціальне обладнання. Деталі засипають у барабан, що обертається, наповнений електролітом і сполучений з мінусом джерела струму. Анодом служить цинкова пластина, що підвішується в центрі барабану, який обертається.

Для підвищення корозійної стійкості цинкових покриттів, особливо в середовищі палив з великим вмістом сірки, ці покриття додатково піддаються хроматуванню або фосфатуванню.

8.4. Нікелювання

Нікель – метал сріблясто-білого кольору з ледве помітним жовтуватим відтінком, добре полірується і відрізняється високою стійкістю проти атмосферної дії, стійкий проти дій лугів, малорозчинний у сірчаній та соляній кислотах. На повітрі нікель покривається прозорою плівкою, внаслідок чого довго зберігає блиск. Стандартний потенціал ($E^{\circ}\text{Ni}$) дорівнює $-0,25\text{ В}$.

У гальванічній парі залізо-нікель останній є катодом по відношенню до заліза і, отже, електрохімічно не може захищати залізо від корозії. Як захисно-декоративне покриття нікель здатний надійно захищати залізо від корозії в атмосферних умовах лише при повній безпористості покриття. Для зменшення товщини нікелю, оскільки він є дефіцитним і дорогим металом, його можна наносити на підшар міді.

Нікелювання як основне покриття інколи застосовують для захисту деталей від корозії і з декоративною метою, а частіше – як підшар при декоративному хромуванні.

Електроліт для нікелювання складається із (г/л): сірчанокислоного нікелю NiSO_4 (140), сірчанокислоного натрію Na_2SO_4 (50), борної кислоти H_3BO_3 (25), хлорного натрію NaCl (5), сірчанокислоного магнію MgSO_4 (10). Процес ведуть при щільності струму $D_k = 0,5...5\text{ А/дм}^2$ і температурі електроліту $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вихід за струмом $90...95\%$.

Тверді та стійкі нікелеві покриття отримують з електроліту такого складу: щавлевокислоного амонію – 300 г/л, сірчанокислоного нікелю – 140 г/л, хлорного натрію – 10 г/л. Режим електролізу: щільність струму $D_k = 10\text{ А/дм}^2$, температура електроліту $t = 75...82\text{ }^{\circ}\text{C}$. Аноди (розчинні) виготовляють із нікелю Н-1.

Хімічне нікелювання виконується без застосування електричного струму. Воно призначене для отримання твердих та

стійких проти зношування покриттів. Основна перевага хімічного нікелювання – можливість нанесення рівномірно по товщині осаду на поверхні виробів складного профілю.

Технологічний процес відновлення деталей хімічним нікелюванням включає механічну обробку, ізоляцію поверхонь, які не підлягають покриттю, миття і знежирювання, хімічне травлення, промивання водою, нікелювання і кінцеве промивання водою. Для хімічного нікелювання рекомендують такий склад розчину, г/л: сірчанокислий (хлорний) нікель – 20...30, гіпофосфат натрію – 15...25, янтарнокислий (оцтовокислий) натрій – 10...12. Осадження проводять при температурі $90...92\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 4,5...5,5$.

Основним недоліком, який перешкоджає широкому впровадженню хімічного нікелювання у виробництво, є зміна складу розчину за часом у процесі нікелювання, що призводить до зниження інтенсивності осадження нікелю аж до повного припинення процесу. Добру якість осадження можна отримати тільки у свіжо приготовленому розчині.

Нікелювання при ремонті АТ застосовується як антикорозійне покриття в тих випадках, коли деталям необхідно додати декоративний вигляд.

Основною вихідною сілью для отримання нікелевих покриттів є сірчанокислий нікель. У нікелевий електроліт вводять різні добавки: сірчанокислу сіль натрію для збільшення електропровідності електроліту, сірчанокислу сіль магнію для отримання світліших покриттів, хлористий натрій та калій – для підвищення розчинності нікелевих анодів і т.п.

Аноди при нікелюванні застосовують розчинні з електролітичного нікелю.

Процес нікелювання йде як при кімнатній температурі, так і з нагрівом електроліту до температури $35...45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Щільність струму може коливатися від 1 до 25 А/дм^2 .

8.5. Міднення

Мідь – щільний, в'язкий та ковкий метал світло-червоного кольору, добре полірується і обробляється тиском; відрізняється високою електропровідністю. Стандартний електродний потенціал міді ($E^{\circ}\text{Cu}$) дорівнює $+0,34\text{ В}$, тобто набагато позитивніший, ніж у заліза,

тому мідні покриття не можуть захищати поверхню залізних деталей від корозії електрохімічно. Значна пористість мідних покриттів створює умови у вологій атмосфері для інтенсивної корозії заліза.

У ремонтному виробництві електролітичне міднення застосовується для:

- відновлення натягу у зношених деталях (міднення зовнішньої поверхні підшипників ковзання і т.п.);

- поліпшення плавності зачіплення і полегшення припрацювання зубчастих з'єднань (міднення зубів шестерень, шліцевих поверхонь та ін.);

- захист поверхонь деталей, які не потрібно цементувати;

- відновлення зношених деталей, виготовлених з міді (електричні контакти і т.п.);

- нанесення підшару при нікелюванні або хромуванні та ін.

Електролітичне осадження міді здійснюється з водних розчинів різних солей міді з розчинними анодами, які виготовляють з технічно чистої міді марок М1 або М2. У виробництві застосовують два типи електролітів: сірчаної кислоти та лужні (ціаністи).

Міднення застосовують для відновлення зовнішнього діаметра бронзових втулок і утворення підшару під час нікелювання.

Електроліт для міднення складається з сірчаної кислоти міді CuSO_4 (200...250 г/л) і сірчаної кислоти H_2SO_4 (50...75 г/л). Покриття наносять при щільності струму $D_k = 2...4 \text{ А/дм}^2$, температурі електроліту $t = 20^\circ \text{ С}$. Вихід за струмом становить 98...100%. Анодом є пластини з міді М1 та М2.

Великим недоліком сірчаної кислоти є неможливість покривати в них залізо та його сплави. При зануренні заліза в кислий мідний електроліт на поверхні металу, що покривається, контактно виділяється мідь, що характеризується поганим зчепленням і великою пористістю.

Для якісного відкладення міді на сталеві поверхні використовуються ціаністи електроліти.

Ціаністи мідні електроліти дозволяють осаджувати мідь безпосередньо на залізних та сталевих деталях і створюють хороше зчеплення з основним металом. Осадки з ціаністих електролітів відрізняються дрібнокристалічною структурою і незначною пористістю. До недоліків ціаністих електролітів слід віднести їх сильну отруйність і дефіцитність дорогих солей, що вимагають при електролізі частого коректування.

Іноді для мідного покриття на сталевих поверхнях використовуються пірофосфатні електроліти, які менш дефіцитні, не отруйні і дають хороші осадки міді.

8.6. Оксидні покриття легких металів

В атмосферних умовах поверхня алюмінію покрита тонкою окисною плівкою, яка надає йому деяку пасивність. Але ця плівка внаслідок малої товщини, великої пористості та низької механічної міцності не в змозі захистити метал від дії корозії. При експлуатації виробу у вологій атмосфері на поверхні алюмінію утворюється білий рихлий наліт гідратів металу, що приводить до зниження механічної міцності та інших важливих експлуатаційних характеристик виробів.

Найпростішим і надійним способом захисту алюмінію та його сплавів від корозії є хімічне і електрохімічне окиснення.

Сформована в результаті анодного окиснення металу оксидна плівка складається, в основному, з кристалічної модифікації окислу алюмінію Al_2O_3 . Це з'єднання стійке проти дії вологи, ряду органічних реактивів, деяких мінеральних солей, але активно розчиняється в лужних розчинах. Чим менше домішок в металі, тим одноріднішою виходить оксидна плівка і тим вища її хімічна стійкість.

Мікротвердість оксидного покриття на алюмінієвих сплавах досягає 2000...5000 МПа. Такі тверді оксидні покриття добре протистоять механічному та ерозійному зносу.

Оксидний шар має мікропористу структуру і внаслідок цього має високу адсорбційну здатність, що залежно від призначення покриття виконує позитивну або негативну роль. Пористість погіршує захисну здатність плівки, її електроізоляційні властивості. Тому для зменшення пористості застосовують ущільнення в гарячій воді або парі, що приводить до гідратації оксиду. В той же час висока адсорбційна здатність плівки дозволяє фарбувати її органічними фарбами, пропитувати лаками, маслами, що розширює області використання оксидованого алюмінієвого сплаву.

Механізм утворення плівок електрохімічним способом, який частіше застосовується при ремонті АТ, такий. У початковий період електролізу, в результаті хімічної взаємодії іонів гідроксила з металом на його поверхні утворюється тонкий шар оксиду. Подальший хід процесу залежить від того, який вплив електроліт робить на цей шар.

Якщо тонка плівка, що утворилася, не розчиняється в електроліті, то її зростання швидко припиняється і на металі формується тонкий практично безпористий шар з високим електроопором.

Щоб оксидний шар досяг порівняно великої товщини, необхідно забезпечити доступ іонів кисню до поверхні металу. Такі умови створюються при обробці алюмінієвих сплавів в електролітах, що надають певну розчинювальну дію на оксидну плівку. Тонкий безпористий шар, що в цьому випадку спочатку утворився, хімічно взаємодіючи з електролітом, частково розчиняється, стає пористим і дозволяє проникати іонам. Створюються умови для подальшого окислення металу. Зростання оксидної плівки відбувається на межі метал-плівка, оксид як би виростає з металу. Таким чином, оксидна плівка на сплаві алюмінію складається зі щільного бар'єрного шару товщиною 0,01...0,03 мкм безпосередньо на поверхні металу і зовнішнього пористого шару.

Хімічне оксидування алюмінієвих сплавів дає можливість отримувати досить тонкі плівки оксидів від 0,5 до 4 мкм. Електрохімічне оксидування дозволяє отримувати плівки товщиною до 100 і більше мкм, що мають хороші механічні та діелектричні властивості. Для захисту від корозії використовують плівки товщиною 8...12 мкм з обов'язковим їх ущільненням. Для підвищення твердості та зносостійкості поверхні потрібні оксидні шари товщиною 40...80 мкм, а для отримання високої електроізоляції – до 100 мкм.

Найбільшого промислового застосування знайшли способи оксидування в розчинах сірчаної, щавлевої та хромової кислот. Сірчаноокислий спосіб оксидування найбільш економічний, дозволяє використовувати для живлення ванн як постійний, так і змінний струм. При невеликій товщині плівки прозорі, безбарвні, добре адсорбують органічні фарби. У сірчаноокислому електроліті можна оксидувати всі алюмінієві сплави. Його не рекомендується застосовувати лише для ливарних сплавів, а також для виробів, що мають клепані або зварні з'єднання, оскільки в раковинах і зазорах можуть залишитися сліди електроліту, що призведе до корозії металу. Для таких виробів застосовують оксидування в хромовокислому електроліті, який має менш агресивну дію на метал.

Оксидуванням у розчинах щавлевої кислоти отримують плівки, що мають хороші діелектричні властивості. Вони непрозорі, забарвлені в жовтий або коричневий колір.

Анодне оксидування алюмінію та його сплавів звичайно ведуть у ваннах з електролітом, що містить 170...200 г/л H_2SO_4 при густині струму 1 А/дм². Температура електроліту – 15...23° С. Як катоди використовуються нерозчинні свинцеві пластинки. Анодом є листи, що оксидуються, або деталі АТ.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення електролізу.
2. Поясніть сутність підготовки деталей до електролітичного відновлення.
3. Назвіть та поясніть основні властивості хромових покриттів.
4. Які електролітичні покриття застосовують для захисту від корозії?
5. Поясніть призначення оксидних покриттів.

9. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ПЛАНЕРА ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

9.1. Навантаження та пошкодженість конструктивних елементів планера

Планер складається з елементів, отриманих з'єднанням обшивки і силового каркасу клепанням. Це фюзеляж, крило, оперення, рулі, елерони, закрилки, тримери, обтічники, носки, залізи, стулки, шасі, капоти, гондоли двигунів, двері, люки і т.ін.

Елементи планера сприймають великі згинаючі та круті моменти, перерізуючі сили, навантаження від вібрації, шуму, від перепадів тиску та температур, впливу атмосфери.

Фюзеляж – найбільш навантажена частина літака. На нього діють навантаження від:

1. Крила, оперення, шасі, силових установок.
2. Аеродинамічних сил.
3. Масових сил агрегатів, палива, пасажирів, вантажів.
4. Масових розподілених сил власне конструкції.
5. Сил внутрішнього тиску в гермовідсіках.

Навантаження першої групи зосереджені та діють через вузли кріплення.

Друга група навантажень в цілому незначна за величиною, але місцеві аеродинамічні сили можуть бути значними.

Третя група навантажень може бути зосередженою або розподіленою.

Четверта група навантажень незначна, оскільки маса фюзеляжу невелика порівняно з польотною масою літака.

П'ята група навантажень може досягати значних величин.

Масові сили – це сили тяжіння та інерції мас конструкції крила, палива, агрегатів і діють вони при появі прискорень у криволінійних польотах, при бовтанці та під час посадки.

Крило – також високонавантажена частина літака. Особливості крила: значні габарити, розміри, маса, складна конфігурація, різні матеріали, наявність механізації. Лонжеронні крила сприймають згинаючий момент поясами лонжеронів, монтажні або кесонні – верхнім та нижнім поясами у всіх перетинах.

Обшивка – сприймає аеродинамічне навантаження, яке діє на обшивку у вигляді змінних сил підвищеного тиску і розрідження,

навантаження від статичного перепаду тиску, працює на кручення та згинання.

Силові елементи планера з'єднуються між собою та з обшивкою за допомогою клепання, зварювання, склеювання, різьбовими з'єднаннями та їх комбінаціями.

Обшивка і деталі подовжнього та поперечного силового набору термічно обробляються, захищаються покриттями від корозії. Однак, пошкодження покриттів призводить до інтенсифікації корозійних процесів, які можуть охоплювати значну площу і бути досить глибокими.

Основними пошкодженнями та дефектами елементів конструкції планера є: руйнування, тріщини, забоїни, подряпини, деформації, втрата стійкості, знос, корозія, руйнування захисних покриттів. Їх можливо певним чином класифікувати:

1. «Хлопуни» – місцева втрата стійкості тонкостінних елементів у стиснутих зонах при перевантаженнях і грубих посадках (на залізах крила, закрилках, бічних стінках гондол двигунів). Дефект небезпечний, у польоті «хлопун» вібує і по його контуру виникають втомні тріщини, що приводить до випадання або зриву шматка обшивки.

2. Гофр обшивки викликають ті ж причини у тих же зонах, але при значно більших перевантаженнях, це більш серйозний дефект, супроводжується руйнуванням заклепок, деформацією каркаса, вимагає складного ремонту.

3. Руйнування захисних покриттів, корозія в багажних відсіках, зонах туалетів, кухонь, буфетів, акумуляторів. Причина – конденсат вологи, погана вентиляція, дренаж і т.ін.

4. Механічні пошкодження: подряпини, забоїни, вм'ятини. Спостерігаються на бічній поверхні фюзеляжу, крила, оперення, на нижній поверхні закрилків, фюзеляжу і оперення, на носках крила і оперення.

5. Тріщини в перемичках між отворами під заклепки і від кромки листів у зонах, схильних до вібрації (капоти, стулки, закрилки, рулі, елерони, тримери, стікачі газів, деталі гондол двигунів і т.ін.).

6. Ослаблення клепанних та болтових з'єднань (підвищені навантаження і вібрації, самовідгвинчування).

7. Потертості в зонах дотику рухомих елементів з нерухомими (закрилки, капоти, стулки).

8. Руйнування захисних покриттів біля замків, заливної горловини, люків, підходів до фільтрів, зливних кранів (недбалість ТО, тривалість експлуатації).

9. Пробойні обшивки, поломка деталей каркасу. Під час експлуатації непрофесійне використання інструменту, наземного устаткування, засобів механізації.

Під час зберігання літака на відкритих стоянках виникає корозія різьбових з'єднань, тросів, обшивки в зонах пошкоджених захисних покриттів, руйнування ЛФП, сріблення скління, старіння герметиків, гуми і т.ін.

Характерними дефектами силового каркасу (лонжеронів, нервюр, шпангоутів) є деформації (погнутість стрингерів, полиць нервюр, стоек лонжеронів, балок підлоги і т.ін.), тріщини, корозія.

Технічний стан силових елементів планера визначається візуально, технічними вимірюваннями та неруйнівним контролем.

9.2. Зміст типових технологічних процесів

Технічні вказівки на дефектацію та відновлення різних типів ЛА різні. Проте деякі загальні положення можуть бути застосовані для більшості типів ЛА. Так, наприклад:

1. «Хлопуни» і хвилястість без помітної деформації. Усувається установкою додаткового профілю жорсткості у вигляді кутника, швелера або стрічки зсередини.

Технологія відновлення: вирізати профіль (кутник, швелер, стрічку) з Д-16АТ, обробити кінці для з'єднання з полицями нервюр або стрингерами (шпангоутами), приклепати профіль до нервюр зсередини, склепати обшивку з профілем заклепками.

«Хлопуни» або хвилястість з деформацією каркаса усувають на всій пошкодженій ділянці правкою або клепаанням пошкоджених деталей каркаса, після чого приклепують новий лист обшивки.

2. Корозію, глибина якої після зачистки не перевищує 5% від товщини герметичної обшивки і 8% негерметичної, укріплюють без посилення.

Технологія відновлення: зачистити шліфувальною шкіркою №180-220 до повного усунення продуктів корозії; заповнити ділянку фетровим кругом з пастою ГОІ або ВІАМ-2; промити бензином, просушити, відновити ЛФП.

Якщо глибина корозії більше, то ділянку обробляють так само, вирізується накладка з перекриттів на 30 мм довкруги і якщо накладка встановлюється зовні, то її внутрішня поверхня покривається, як і зачищена ділянка, грунтом АК-069 або ФЛ-086, просушується і приклепується заклепками однорядним кроком 20 мм.

Якщо накладку можна поставити зсередини (між стрингерами), то зовнішня поверхня обробляється, як і в першому випадку. Якщо ця обшивка герметична, то необхідно забезпечити герметизацію заклепувального шва за ТУ.

3. Механічні пошкодження у вигляді подряпин, забоїн, вм'ятин закрилків усувають так: якщо глибина дефекту для герметичної обшивки не перевищує 0,1 мм, а для негерметичної при товщині 0,6...1 мм – 0,08 мм; 1,2...1,5 мм – 0,15 мм; 2 мм – 0,2 мм; 2,5...0,4 мм – 0,3 мм; 5 мм і вище – 0,4 мм (для Д16АТ), зачистити шабером або шкіркою, заповнити фетровим кругом з пастою ГОІ і заґрунтувати грунтом АК-069 з додаванням 2% алюмінієвої пудри і відновити ЛФП обшивки.

Якщо глибина пошкоджень більше, обшивка посилюється зовні або зсередини за технологією, як і при усуненні корозійних пошкоджень.

Типовими також є вимоги до створення заклепкових швів, їх розрахунку, конструктивних елементів заклепок і т.ін.

Наприклад: Відстань між рядами заклепок і відстань від краю листу до центру заклепки повинна витримуватися з точністю до 1 мм.

Відхилення у кроці t заклепок:

$$t < 25 \pm 1,5 \text{ мм}; t = (25...40) \pm 2 \text{ мм}; t > 40 \pm 2,5 \text{ мм}.$$

Неспіввісність закладної та замикаючої головок допускається до 0,2 мм.

Висота і діаметр замикаючої головки повинні бути відповідно $0,45d \pm 0,15 \text{ мм}$ і $1,4d \pm 0,2 \text{ мм}$.

Максимальне виступання закладних потайних головок допускається 0,1 мм. Глибина вм'ятин обшивки допускається 0,3 мм, опуклість 0,2 мм. Збільшення маси конструкції ЛА при ремонті не повинне перевищувати 1% фактичної маси планера.

Відновлення планера зводиться до відновлення обшивки та відновлення каркаса. Технології усунення їх несправностей є загальними.

Спосіб усунення дефекту залежить від його характеру, розміру, місця розташування, причини виникнення. Але у всіх випадках

повинна забезпечуватися рівномірність конструкції. Не можна ставити менш міцні та більш міцні ремонтні деталі. Необхідно уникати свердлення зайвих отворів, постановки зайвих заклепок, використовувати наявні (старі) отвори, витримувати той самий крок, той самий діаметр заклепок, таку саму рядність.

Зазвичай, на типові дефекти елементів конструкцій, що часто зустрічаються, розробляються ескізи з вказівкою розмірів деталей, кількості заклепок та інших параметрів. В окремих випадках кількість та розмір заклепок і заклепкових швів визначається розрахунком, при цьому необхідно врахувати: міцність встановлюваних накладок і обшивки повинна відповідати міцності ремонтваних; довжина накладок і профілів повинна бути визначена за умови розміщення заклепок із збереженням кроку та інших вимог.

Розрахунки на рівномірність заклепкових з'єднань наведені у праці [11].

Типові технологічні процеси відновлення планера повинні відповідати таким вимогам:

1. Забезпечення експлуатаційної надійності виробів.
2. Збереження міцності та жорсткості конструкцій.
3. Забезпечення необхідної герметичності в необхідних відсіках або емностях.
4. Збереження або зміна в допустимих межах аеродинамічних, геометричних та вагових характеристик.
5. Забезпечення мінімальних витрат на відновлення та тривалості відновлення.
6. Створення безпечних умов для виконання роботи.

9.3. Відновлення конструктивних елементів планера

При відновленні конструктивних елементів планера застосовують такі методи:

- усунення несправності без постановки додаткових конструктивних деталей;
- постановка накладок, що підсилюють ділянку конструктивного елемента;
- видалення несправної ділянки і накладення підсилюючих накладок;
- повна або часткова заміна дефектного силового елемента без установки підсилюючих накладок.

Перший метод – це зачистка корозії, забоїн, подряпин; засвердлювання тріщин, правка деформованої ділянки, обробка отворів під черговий ремонтний розмір.

Другий метод вимагає необхідних конструктивних розробок, розрахунків, пов'язаних з виготовленням та установкою додаткових деталей, передбачених кресленнями на ремонт виробу. Посилення ставиться при втраті жорсткості, стійкості обшивки, стінок лонжеронів, нервюр, шпангоутів. Цей метод застосовується при зміні товщини деталі в результаті зносу або усунення поверхневих несправностей.

Третій метод передбачає видалення несправної ділянки деталі, розмітку та виготовлення вставки і накладки, місцеположення їх на видалену ділянку. Цей метод також вимагає конструктивних розробок та розрахунків.

Четвертий метод передбачає повну або часткову заміну несправного конструктивного елемента новим.

Процес відновлення конструктивних елементів планера складається з таких етапів: підготовка ремонтovanого елемента або його ділянки; відновлення несправного елемента або його ділянки; контроль повноти та якості робіт.

Підготовка включає такі роботи: розмітку, видалення дефектного елемента або його частини (за наслідками дефектації), обробку кромки.

Відновлення проводиться без видалення або з видаленням несправного елемента або його ділянки. При цьому можна встановлювати відновлений або новий елемент (ділянку). Новий елемент (ділянка) може бути одержаний зі складу або виготовлений на заводі ЦА. Етап відновлення може включати роботи в такій послідовності:

а) за відсутності необхідності видалення елемента (ділянки): слюсарно-механічна обробка, бляшано-дюралюмінієві роботи, відновлення антикорозійного покриття, контроль;

б) при заміні на новий елемент (ділянку): розмітка, видалення несправного елемента (ділянки), обробка кромки і антикорозійна обробка, отримання нового елемента (ділянки) зі складу, підгонка за місцем, установка нового елемента (ділянки), антикорозійна обробка, контроль;

в) при заміні з виготовленням елемента (ділянки) замість отримання нового елемента проводяться: розмітка, заготовка,

виготовлення, термообробка, антикорозійна обробка, контроль. Потім виконуються роботи, вказані в п. б).

Слюсарно-механічна обробка та бляшано-дюралюмінієві роботи включають зачистку корозії, засвердлювку тріщин, заміну окремих заклепок (болтів, гвинтів), видалення забоїв, подряпин, правку, обробку кромek напилком, шабером і т.д. Відновлення антикорозійного покриття передбачає нанесення ґрунту, ЛФП або інших захисних речовин на місця їх пошкодження і на знов виготовлені елементи (ділянки). Розмітка виконується відповідно до затвердженого креслення або ескізу. Елемент або його ділянка видаляється у такій послідовності: видалення деталей з'єднання (висвердлювання заклепок, вивертання болтів, гвинтів); вирізання або від'єднання елемента (ділянки).

Підготовка складається з вибору відповідного або замінюючого матеріалу, розмітки і вирізки з матеріалу елемента (ділянки) необхідної конфігурації та форми, обробки кромek. Виготовлення передбачає додання заготовці форми і розмірів згідно з кресленням або ескізом з необхідним свердленням контрольних або всіх отворів зменшеного діаметра. Термообробка елемента (ділянки) виконується згідно із кресленням, ескізом та відповідною інструкцією або технологією.

Підгонка за місцем передбачає дотримання аеродинамічних, геометричних форм, міцності, розмірів та характеристик при установці елемента (ділянки). Установка включає доробку отворів під заклепки (болти або гвинти) до необхідних розмірів і кріплення елемента (ділянки) деталями з'єднання. Антикорозійна обробка елемента (ділянки) після ремонту необхідна для захисту поверхонь, пошкоджених при підгонці та установці.

Контроль передбачає перевірку повноти і якості виконання всіх вищезгаданих робіт.

При заміні клепанних елементів або їх ділянок необхідно видалити заклепки, що раніше стояли, в такій послідовності:

- кернення в центрі закладної головки з одночасним створенням опори підтримкою зі зворотного боку;
- свердлення закладної головки заклепки (діаметр свердла менше діаметра стрижня заклепки на черговий розмір за каталогом) на її висоту строго по осі стрижня;
- видалення закладної головки бородком;

– вибивання стрижня із замикаючою головкою заклепки бородком за розміром на 0,2 мм менше діаметра отвору;

– правка кромek отвору та білязаклепкової ділянки.

При постановці нових елементів за старими отворами в тонкостінних елементах або ділянках (особливо в обшивці) розсвердлюються відповідні отвори до наступного діаметра заклепки за каталогом.

Видалення несправних ділянок силових елементів залежить від розмірів, конфігурації, взаємного розташування, зручності підходів, товщини та міцності матеріалів. Необхідно завжди дотримуватись заходів безпеки, щоб не нанести пошкоджень конструкції.

Видалення може виконуватися такими способами:

1. Вирізання за допомогою ножиць при товщині матеріалу до 1 мм.
2. Вирізання прямолінійних ділянок за допомогою ручного різача або круглих ділянок за допомогою пневматичного циркульного різача (рис. 9.1) при товщині матеріалу до 1,5 мм.

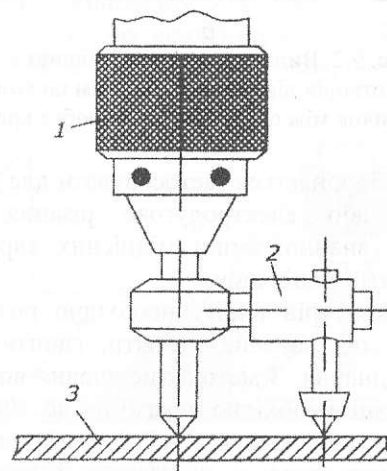


Рис. 9.1. Вирізання ділянки обшивки пневматичним різачом:
1 – пневмодриль; 2 – різач; 3 – обшивка

3. Пневматичне (електричне) вирізання за допомогою дискових ($d = 60...70$ мм) або циліндричних ($d = 4...5$ мм) фрез при товщині матеріалу 1,5...2,0 мм.

4. Видалення прямокутних ділянок обшивки, профілів, труб за допомогою пневмоножовки при товщині матеріалу до 4 мм.

5. Висвердлювання за допомогою багаторазових свердлень отворів при великій товщині матеріалу і при будь-якій конфігурації вирізу (рис. 9.2).

6. Видалення прямокутних ділянок обшивки, профілів, труб, особливо сталевих або титанових, за допомогою відрізнях абразивних (карборундових), дисків (діаметр до 150 мм, товщина до 4 мм) на бакелітовій або вулканітовій зв'язці, закріплених у патроні пневмодрилі.

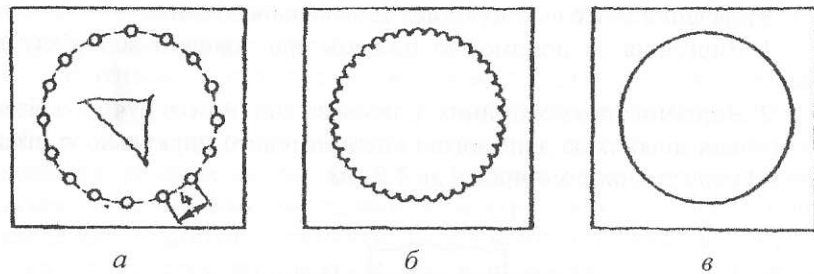


Рис. 9.2. Видалення товстої обшивки:

a – свердлення отворів діаметром 3,5...4 мм по контуру вирізу;
б – видалення перемичок між отворами; *в* – обробка країв контуру вирізу

Категорично забороняється застосовувати для видалення ділянок конструкції газове або електродугове різання, щоб уникнути термічного впливу і значної зміни міцнісних характеристик рядом розташованих елементів та ділянок.

При розмітці контурів вирізу необхідно розташовувати їх на відстані від отворів під заклепки (болти, гвинти) не менше двох діаметрів деталей з'єднання. З метою зменшення впливу концентрації напружень при вирізці необхідно прагнути до плавності переходів контуру. У вирізці не допускаються забоїни, подряпини, ризики, які можуть стати концентраторами напружень і призвести до появи тріщин та руйнувань. При видаленні цілого елемента листа обшивки достатньо видалити заклепки його кріплення (або вивернути болти, гвинти). Всі краї вирізів піддаються обережній правці та обробці напилком для видалення заусенців.

Елементи або їх ділянки виготовляються за старими замінованими елементами, ділянками, за шаблонами, розміткою.

Виготовлення за шаблонами проводиться при складній геометричній формі з одинарною або подвійною кривизною ремонтваного елемента або його ділянки. При простій геометричній формі виготовлення проводиться за розміткою. Виготовлені елементи або ділянки підганяються за місцем установки. Для цього при виготовленні передбачається припуск матеріалу по краях елемента або ділянки.

Розмітка отворів під заклепки (болти, гвинти) виконується одним з таких способів: за старими отворами в елементах, що залишаються; за розмірами аналогічних конструкцій; за шаблонами; за кресленнями або ескізами.

Перший спосіб розмітки характерний для відкритих підходів до наявних отворів. У цих випадках розмітка виконується через ці отвори. Далі по розмітці свердляться отвори декілька меншого діаметра, ніж вимагається, елемент або ділянка кріпиться на своє місце фіксаторами; отвори розсвердлюються до необхідних розмірів і в них встановлюються деталі кріплення. Якщо можливо, отвори свердляться за старими отворами, як по кондуктору (рис. 9.3). У цих випадках розмітка не потрібна, а трудомісткість свердлення скорочується на 30 %.

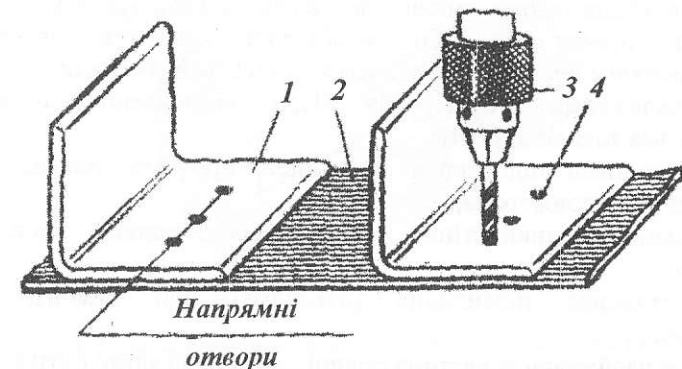


Рис. 9.3. Свердлення отворів за напрямними отворами:

1 – стрингер; 2 – обшивка; 3 – дріль; 4 – отвір

Для відповідальних деталей свердлення іноді ведеться за шаблоном. Особлива ретельність розмітки необхідна при одночасній

заміні двох і більш елементів (ділянок) в одному з'єднанні. В цьому випадку виконується розмітка отворів під фіксатори у всіх замінованих частинах і отворів у верхньому елементі, зручному для свердлення. Потім складений пакет встановлюється на фіксатори, свердяться отвори по верхньому елементу і встановлюються деталі кріплення. Розмітку і свердлення отворів можна вести послідовно та по черзі в кожному елементі, а потім тільки скріплювати їх деталями з'єднання. Розмітку отворів можна вести також за старими отворами за допомогою спеціального кернера. Після свердлення отворів необхідно зенкером зняти заусенці по краях отворів.

При виготовленні нових елементів (ділянок) часто вимагається провести згинання листового матеріалу або профілів. Щоб уникнути появи тріщин при згинанні, необхідно вибирати мінімально допустимі радіуси вигинів (за довідником). Згинання виконується вручну і на верстатах. Вручну гнуться деталі малих розмірів. Дюралюмінієві листи та профілі гнуть у відпаленому або свіжозагартованому стані. Термообробка і антикорозійне покриття виконуються згідно з діючими технологіями та інструкціями. Нові або виготовлені елементи та ділянки підганяються за місцем. При цьому, зазвичай, за базу береться довга кромка, складальна ділянка елемента або просвердлені отвори. Найзручнішою для підгонки елементів, що сполучаються, є взаємна їх установка при збігу отворів. Потім в отвори вставляються штирі або фіксатори. Після такої установки перевіряються збіг кромки та отворів, щільність прилягання, збіг необхідної кривизни поверхні і встановлювані елементи підганяються за місцем їх з'єднання.

Відновлення лонжеронів. При відновленні лонжеронів виконуються такі види робіт:

- установка підсилення (вкладиша, профілю, накладки) при ремонті полиці лонжерона;
- заміна ділянки стінки лонжерона і постановка підсилення - накладки;
- установка підсилення (накладки) при ремонті стінки лонжерона.

При необхідності частина полиці лонжерона може бути вирізана, замість неї заготовлена та підігнана нова вкладка. Вирізка виконується між отворами під деталі кріплення. Матеріал вкладки, її термообробка повинні відповідати матеріалу лонжерона. Підбирається та підганяється кутник та накладка для з'єднання і підсилення (рис. 9.4). Для запобігання щодо спотворення зовнішньої форми потрібна

ретельна підгонка накладки і перевірка збігу площин за допомогою перевірконої лінійки.

При відновленні стінки лонжерона видаляється зруйнована ділянка, встановлюється вставка (заповнювач), яка приклепується безпосередньо до самої стінки або через накладку по одній з кожного боку. У першому випадку на вставці робиться підсічка (малка).

При втраті стійкості (наявність «хлопуна») відновлення стінки здійснюється (залежно від розмірів несправної ділянки) посиленням без вирізки або з вирізкою «хлопуна». При установці підсилення (вкладки, накладки) діаметр заклепок (болтів, гвинтів), зазвичай, збільшується до наступного розміру за каталогом. Проте допускається після ретельної перевірки (чи немає овальності і чи не збільшений діаметр отворів) установка заклепок (гвинтів, болтів) того ж діаметра, які були встановлені раніше. При цьому за якістю розклепування заклепок потрібен ретельний контроль.

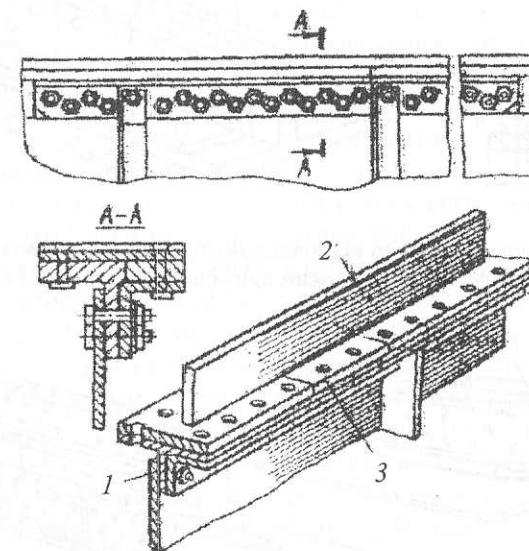


Рис. 9.4. Приклад типового відновлення лонжерона з частковим пошкодженням полиці: 1 – кутник; 2 – перевірконая лінійка; 3 – вкладка

Відновлення стрингерів. Несправності та дефекти стрингерів в основному аналогічні несправностям лонжеронів. Тому методи їх відновлення практично одні й ті самі.

При руйнуванні стрингера видаляється зруйнована ділянка. З такого ж профілю вирізаються та підганяються вкладиші. На місце стику встановлюється підсилювальна накладка або аналогічний профіль (рис. 9.5 та 9.6). При цьому:

$$B_H = (B - S_1) / 2; H_H = H - S; S_H \approx S; S_{IH} \approx S_1.$$

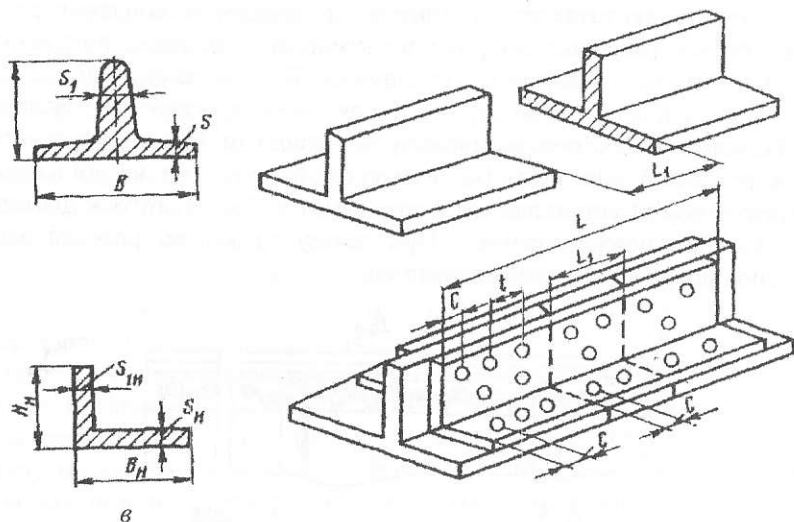


Рис. 9.5. Приклад типового відновлення стрингера при заміні ділянки таврового профілю: *а* – тавровий профіль; *б* – накладка з кутника

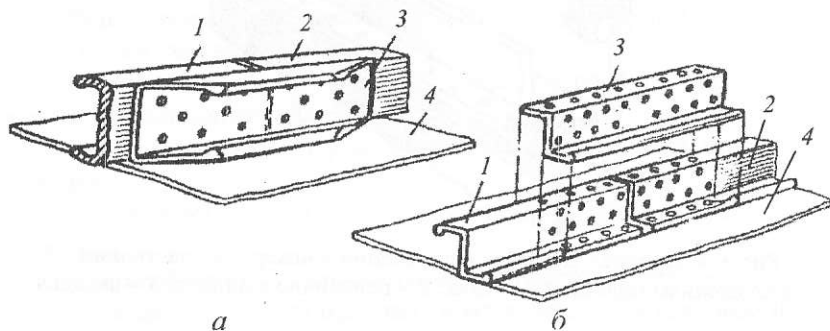


Рис. 9.6. Посилення стику стрингерів при відновленні: *а* – швелерного типу: 1, 2 – ремонтвані ділянки стрингера; 3 – посилення; 4 – обшивка; *б* – Z-подібного типу: 1 – ремонтвана ділянка стрингера; 2 – нова ділянка стрингера; 3 – посилення; 4 – обшивка

При відновленні стрингерів складного перетину (коробчастого, з фігурною кромкою, із значною величиною «бульби») підсилюючі накладки підбираються за розмірами і підганяються так, щоб внутрішні дотичні поверхні щільно прилягали до поверхонь ремонтваної ділянки.

При відновленні сусідніх стрингерів їх стики необхідно рознести за розмахом (по довжині, не допускаючи стикування двох і більше стрингерів в одному перетині).

Дрібні тріщини однієї з полиць стрингера засвердлюють по кінцях свердлом діаметром 2...3 мм. На стрингери, що мають незначні вириви однієї з полиць, встановлюються підсилювальні накладки.

Відновлення нервюр. При відновленні може проводитися повна або часткова заміна нервюри, окремих її ділянок, носка, середньої частини або хвостовика з двобічним посиленням накладками місць стикування. Зруйновані місця вирізаються і замість них встановлюються вкладиші, які потім підсилюються накладками за конфігурацією та формою замінюваної ділянки. Приклепування полиць та накладок, нервюр та обшивки виконується одночасно. Тріщини в місцях відбортовок полиць і у отворів засвердлюються по кінцях свердлом діаметром 2...3 мм. Деформація і втрата стійкості усуваються правкою та установкою протихлопунних посилень-профілів або кутників (рис. 9.7). Відновлення нервюр, полиці яких виготовлені з пресованих профілів, аналогічне відновленню стрингерів.

Відновлення шпангоутів. Несправності та дефекти шпангоутів аналогічні несправностям нервюр, а тому і методи їх відновлення ті ж.

На рис. 9.8 показаний типовий випадок відновлення шпангоутів. За наявності тріщин на полицях кінці тріщин засвердлюють свердлом діаметром 2...3 мм. При втраті стійкості стінки шпангоута встановлюється підсилювальний профіль по максимальній осі «хлопуна». Окремі зруйновані ділянки шпангоутів замінюються з обов'язковою установкою на стиках підсилювальних накладок.

Відновлення обшивки. При руйнуванні значних ділянок обшивки (250x400 мм) замінюється весь лист. При менших руйнуваннях ділянка видаляється, вирізу надається форма кола при малих руйнуваннях або прямокутника при руйнуваннях не менше 100x140 мм з розташуванням найбільшої осі за потоком та з закругленням країв по радіусу не менше 80...100 мм. На місце вирізу встановлюється потайна латка з підсічкою або латка внапустку

(рис. 9.9). Це робиться для збереження гладкої поверхні, тобто збереження аеродинамічних якостей літака.

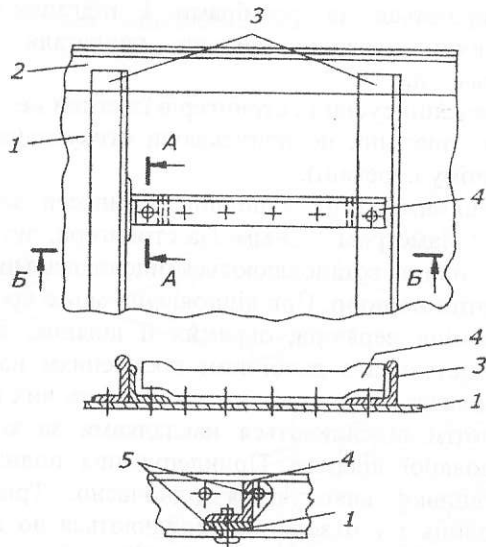


Рис. 9.7. Приклад типового відновлення стінки нервюри за наявності «хлопуна»: 1 – стінка нервюри; 2 – полиця нервюри; 3 – стояк нервюри; 4 – протихлопунний профіль; 5 – заклепки

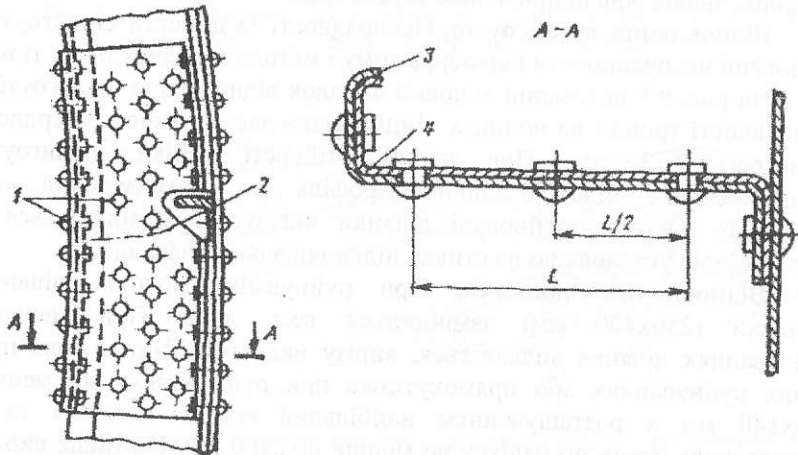


Рис. 9.8. Приклад типового відновлення шпангоута: 1 – заклепки; 2 – зона пошкодження; 3 – накладка; 4 – шпангоут

Потайна латка виготовляється строго за формою та розміром вирізу. Вона, зазвичай, складається з двох частин: латки (вкладки або заповнювача) і підкладки (окантовки). Підкладка кріпиться до обшивки зсередини для створення опорної поверхні вкладки, яка кріпиться до підкладки і врівень до обшивки. Кріплення здійснюється потайними заклепками. Зазор у стику повинен бути не більше 0,5 мм по всьому контуру. Міцнісні характеристики обшивки, вкладки та підкладки повинні бути однаковими. Краї підкладки за великим контуром рекомендується для більшої жорсткості відбортовувати. Виступання (утопання) вкладки з отвору обшивки допускається для крила, хвостового оперення та фюзеляжу не більше, ніж на 0,3...0,5 мм. При цьому з країв виступаючого листа або вкладки додатково ще знімається фаска. У місцях, важкодоступних для ремонту, рекомендується вирізати отвори під лючки, приклепувати до обшивки підкладку, а потім ставити вкладиш на анкерних гайках. Іноді у зв'язку з важким введенням у виріз обшивки кільцевої підкладки її роблять розрізною. Кріплення підкладок здійснюється одно- чи дворядними швами. При дворядному розташуванні заклепки ставляться у шаховому порядку.

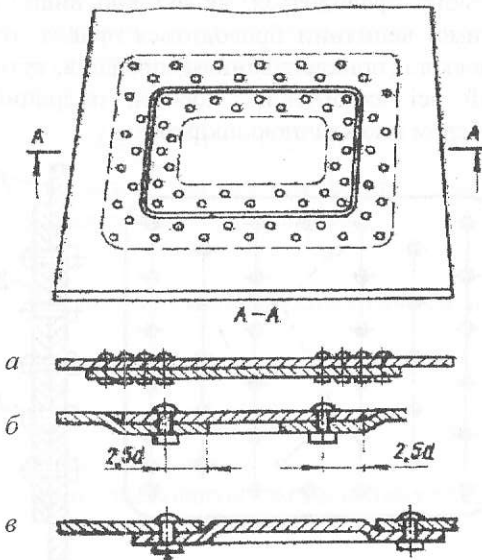


Рис. 9.9. Способи постановки потайних латок: а – на кільцевій підкладці; б – з відбортовкою в обшивці; в – штампована

При заміні цілого листа обшивки або значної його частини необхідно його краї розташовувати біля силового набору, розмітку для вирізки вести з урахуванням установки нової обшивки врівень зі старою.

Нова обшивка з'єднується з каркасом за допомогою опорних кутників і стикувальних накладок, що виготовляються з такого ж матеріалу, що і обшивка, і деталі силового набору. Опорні кутники згинаються точно за профілем елемента, до якого вони кріпляться. Якщо обшивка вирізається за деталями подовжнього набору (лонжерони, стрингери), то нова обшивка кріпиться до їх полиць або за допомогою опорних кутників. Якщо обшивка має подвійну кривизну, то при підгонці нового листа створюють його форму вигинанням по обводах силового набору в місці установки.

Під час клепаання нова обшивка кріпиться за допомогою фіксаторів. Клепаання ведеться за шириною листа, а не за його довжиною, щоб уникнути перекосів, появи гофра, «хлопунів» і т.ін.

При тріщинах на обшивці допустимої величини кінці їх засвердлюються і в цьому місці встановлюють накладку – підсилення (рис. 9.10). Деформовані ділянки обшивки (вмятини, гофри і т.д.) вирізаються і ремонт проводиться, як вказано вище. При вмятинах обшивки допустимої величини проводиться правка. Втрата стійкості усувається установкою (приклепуванням) профілів, кутників, накладок по максимальній осі «хлопунів». Корозія, подрипини та забоїни зачищаються шабером і наждачною шкуркою.

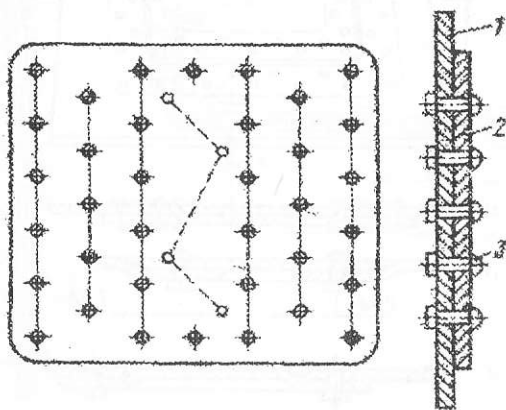


Рис. 9.10. Приклад типового відновлення за наявності тріщини:
1 – обшивка; 2 – накладка; 3 – заклепка

При порушенні міцності клепааних швів – ослаблення посадки або руйнування заклепок – необхідно провести відновлення. Зруйновані заклепки замінюються новими заклепками, з ослабленою посадкою – підтягаються, тобто додатково розклепуються. Підтяжка заклепок дозволяє збільшити довговічність заклепувального з'єднання. Дослідження показали, що при підтяжці заклепок на величину $\Delta h = 0,4 \dots 0,6$ мм статична витривалість збільшується в 4,5...4,7 рази порівняно зі з'єднаннями, на яких не було підтяжок заклепок. Подальша ж підтяжка ефекту не дає через значне нагартування матеріалу на межах отвору і утворення мікротріщин. Рекомендується підтягати ослаблені заклепки, тобто зменшувати висоту замикальної головки на 0,20...0,35 мм за допомогою додаткового їх розклепування. При цьому відновлюється щільність посадки заклепкового стрижня в отворі, тим самим забезпечується статична витривалість заклепувального з'єднання.

Якщо при підтяжці заклепок ослаблення посадки не усувається, їх необхідно замінити. Але перед постановкою нових заклепок розсвердлювати отвори під наступний розмір діаметра не вимагається, оскільки при розсвердлюванні з отворів видаляється нагартований у період експлуатації шар металу, який забезпечує високу витривалість заклепувального з'єднання. У ці отвори необхідно встановлювати заклепки, що мають ремонтні розміри $d_{\text{рем.закл}}$.

Ці розміри визначаються за формулою:

$$d_{\text{рем.закл}} = d_1 + (d_2 - d_1)/2,$$

де d_1 – діаметр заклепок, що стояли раніше, мм; d_2 – діаметр наступного розміру заклепок за каталогом, мм.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Які основні навантаження сприймають елементи конструкції літака?
2. Які методи використовуються при відновленні конструктивних елементів планера?
3. Наведіть типову технологію заміни ослаблених заклепок.

10. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ РЕМОНТУ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

10.1. Типові технологічні процеси відновлення деталей та вузлів авіаційних двигунів

Типові технологічні процеси відновлення деталей та вузлів АД включають: підготовку до відновлення; відновлення, доробку і заміну деталей та вузлів; складання; випробування і контроль.

Підготовка до відновлення включає: очищення, промивку, дефектацію, комплектацію деталей та вузлів у ремонт, підготовку устаткування, оснащення та інструментів до виконання ремонтних робіт за наслідками дефектації. При відновленні вузлів є дві послідовні технологічні лінії. Перша з них пов'язана з деталями, а друга – з вузлами. Загальною ланкою є технологічне складання, яке виконується для виконання доробок, відновлення, випробування та контролю параметрів вузлів, які виявляються тільки у зібраному вигляді.

Випробування та контроль завершують фазу ремонту вузлів. У цих операціях остаточно перевіряються робочі параметри вузлів (герметичність, зрівноваженість, зазори, биття поверхонь), встановлюються вихідні характеристики вузлів та їх відповідність ТУ.

Під час контролю разом з універсальними вимірювальними засобами використовується спеціальне контрольно-випробувальне устаткування, перевірка робочих параметрів – за допомогою спеціальних стендів. Особливе місце у випробуваннях вузлів займає балансування роторів. Динамічне балансування роторів та їх складових частин, зазвичай, виконується при заміні деталей ротора, складанні АД перед здавальним та контрольним випробуванням. Зрівноваженість досягається зняттям металу в місцях, вказаних кресленнями, підбором і регулюванням елементів балансувань, перестановкою деталей вузла.

Після завершення випробувань виконується остаточне таврування деталей вузла (нанесення рисок взаємного положення, номера комплекту та ін.), вузол розбирається і готується до вузлового складання.

10.2. Відновлення лопаток

У конструкції сучасних АД застосовуються різноманітні види лопаток компресора, турбіни та соплового апарата. Для лопаток

компресора використовуються високоміцні кувальні алюмінієві сплави АК4, АК6, ВД17, конструкційні леговані сталі 30ХГСА, 18ХНВА, 18Х2Н4ВА, Х17Н2, 30Х2Н28А, 13Х12НВМФА, нержавіючі сталі 14ХГ7Н2, 13Х14НВФРА, 1Х12Н2ВМФ, ХН35ВТЮВД, жароміцні сплави ХН77ТЮР, титанові сплави ВТ3-1, ВТ5, ВТ8, ВТ9, ВТ10, ВТ18, пластмаси і т.д. Лопатки турбін виготовляються із деформованих або ливарних спеціальних жароміцних та жаростійких сплавів, наприклад: ХН51ВМТЮКФР, ХН55ВМТКЮ, ХН56ВМКЮ, ХН62МВКЮ, ХН70ВМТЮ, ХН70ВМТЮБ, ХН70ВМТЮФ, ХН77ТЮР, ЖС6-К, ЖС6-КП, ЭП109, ЭП220. Це найчастіше сплави на нікелевій основі із вмістом хрому, вольфраму, молібдену, титану, бору, алюмінію та інших легуючих елементів. Соплові лопатки виготовляють в основному з ливарних жароміцних сплавів на нікелевій основі ЖС3, Х23Н і т.д.

Лопатки компресора, турбіни та соплового апарата працюють у складних умовах: високі швидкості повітряного та газового потоку, перепади температури і тиску, великі швидкості обертання дисків з лопатками, вібрації і т.д.

До несправностей та дефектів лопаток можна віднести такі:

1. На компресорі: руйнування (обрив), тріщини, деформація, витяжка, погнутість, механічні пошкодження (забоїни, подряпини, риски), знос, наклеп, корозія, ерозія, порушення покриття (поверхневого шару), люфт.

Знімні лопатки компресора дефектуються візуально, технічними вимірюваннями, за допомогою ЛЮМ-А, незнімні – візуально, люмінесцентно-кольоровим методом, ЛЮМ-А та іншими видами НК.

2. На турбіні: руйнування (обрив), оплавлення, обгорання, перегрів, знос, наклеп, механічні пошкодження, корозія, газова ерозія, порушення покриття (поверхневого шару), нагароутворення, люфт. Лопатки турбіни дефектуються візуально, технічними вимірюваннями, за допомогою ультразвукових, вихрострумових дефектоскопів, кольорового, люмінесцентно-кольорового методу, методу ЛЮМ-А, перевіркою і порівнянням структурної будови матеріалу поверхні виготовленого шліфа однієї деталі з еталоном.

Перевіряється частота власних коливань лопаток до та після відновлення.

3. На сопловому апараті: руйнування, тріщини, знос, механічні пошкодження, деформація (викривлення), нагароутворення, корозія, ерозія, прогар.

При відновленні АД на заводах ЦА 30-40% лопаток потребують заміни або відновлення. Відбракування лопаток компресора через забоїни та знос становить близько 2% від їх загальної кількості. Прогар, деформація, тріщини, вигорання поверхневого та захисного шару на лопатках соплових апаратів досягає на деяких типах АД 30%. Робочі лопатки турбіни працюють при високих температурах, при частих теплостмінах, в умовах агресивного газового середовища. У лопатках виникають високі напруження змінного характеру. На них діють: розтягування через відцентрові сили, сили вигину і кручення від газового потоку, вібрації, амплітуда та частота яких мають широкий діапазон. Найбільш навантажені частини лопаток – хвостовик і призматкова частина працюють у зоні температур 500...1200°C з високими статичними та вібраційними напруженнями. Перепад температури від хвостовика до кінця пера досягає 150...300°C. Найгарячіша зона розташовується на 2/3 довжини лопатки від хвостовика. Температурне поле розподіляється нерівномірно за довжиною і перетином лопатки, що приводить до виникнення термічних напружень, в результаті яких з'являється термічна втомленість і, як наслідок, – тріщини, деформація (викривлення) та руйнування (обрив). У процесі роботи АД на лопатки діють продукти згорання, сторонні частинки, що потрапляють у газовий тракт, наносять механічні пошкодження лопаткам.

Значна частина лопаток бракується через руйнування, тріщини, перегрів, витяжку, механічні пошкодження, значну деформацію, знос та корозію.

Основними причинами руйнувань лопаток турбін є: недосконалість конструкції, недотримання технології виготовлення або відновлення, порушення режимів та умов експлуатації.

Під дією змінних напружень на лопатках турбін з'являються втомні тріщини.

Обгорання, оплавлення лопаток найчастіше виникає при підвищенні температури потоку газів через помпаж, відмови паливно-регулюючої апаратури, недотримання режимів роботи АД і т.д. Фретинг-корозія утворюється на елементах замкового з'єднання лопатки з диском.

Для поліпшення дефектації і підготовки лопаток до ремонту проводиться очищення. Очищення лопаток від нагароутворень може виконуватися послідовно анодним травленням, електрохімічною обробкою, віброшліфуванням та віброполіруванням. При задовільному

очищенні лопаток на перших видах обробки подальша обробка може не проводитися.

Відновлення лопаток виконується такими способами:

1. Лопатки компресора: механічні пошкодження, знос, наклеп, корозія, ерозія – усуваються зачищенням (шліфувальною шкуркою, надфілем, шабером), шліфуванням та поліруванням; подовження, витяжка лопаток – усувається шліфуванням торців; деформація, погнутість – усувається правкою; за наявності тріщин, сколів, обриву лопаток або значних величин вказаних вище несправностей та дефектів доцільно виконувати попередню обробку (зачищення, запилювання і т.ін.) дефектних місць, а потім механічну (шліфування, полірування, зміцнення) і термічну обробку для дотримання необхідної міцності та структури матеріалу. При ремонті лопаток необхідно відновити антикорозійне покриття (анодування, цинкування).

При відновленні статора компресора лопатки з тріщинами та іншими значними несправностями вирізаються, встановлюються нові. Дрібні несправності та дефекти усуваються зачисткою надфілем, поліровкою шліфувальною шкуркою, полірувальним кругом.

Відновлюються хромуванням підшови замку компресора з подальшим притиранням на плиті за допомогою шліфувального порошку зернистістю $N 180...220$, змоченого у гасі.

Для відновлення лопаток застосовують зачистку забоїн, подряпин, рисок, слідів зносу, наклепу, корозії, що виконується шаберами, надфілями, дрібними абразивними брусками, кругами і дрібною шліфувальною шкуркою.

При відновленні лопаток значне місце займає їх полірування. Існують такі види полірування: механічне, абразивно-рідинне, віброабразивне та електричне.

Віброгалтовка оснований на механічній дії робочої суміші (сталеві кульки діаметром 0,6...0,8 мм у мінеральному маслі) на зміцнювану поверхню при обробці. Масляна плівка при цьому створює сприятливі умови для віброударів та рідинного тертя кульок об поверхню, що оброблюється, що покращує умови пластичної деформації тонкого поверхневого шару при збереженні високого класу чистоти обробленої поверхні. Режими віброгалтовки встановлюються експериментально.

Віброгалтовка здійснюється на інерційних дисбалансних установках, в яких робоча камера створює коливальний рух у 2...3 площинах при одночасному обертанні пристосування із закріпленими

в ньому деталями. При роботі вібратора пристосуванню з деталями і наповнювачем (робочим середовищем) надаються коливальні рухи із заданою частотою, амплітудою. Сталеві кульки, ударяючись об поверхню деталі, згладжують нерівності та пластично деформують поверхневий шар. Наповнювачем служить робоча рідина № 117, 118 або рідина, що складається з 7% тринатрійфосфату, 7% нітриту натрію та 86% води. Рідина № 117 містить 5% триетаноламіаку, 1% рідкого скла та 94% води, а рідина № 118 – по 0,3% уротропіну та нітриту натрію, а також 99,4% води. Для віброгалтовки титанових лопаток застосовуються сталеві кульки діаметром 2...4 мм, а для сталевих лопаток – фарфорові кульки діаметром 3...6 мм.

Режим роботи віброгалтовки деталей встановлюється експериментально.

Обкатка роликми проводиться для зміцнення дна складних пазів лопаток. Процес виконується на верстаті або установці за допомогою зміцнювача, що є диском, що обертається, з розташованими по периферії роликми зі сталі ШХ15, вільно сидячими на осі. При обробці застосовується для змащування веретенне масло. В результаті зміцнення роликми відбувається вдавлювання твердого тіла в оброблювану поверхню, яка пластично деформується, а мікронерівності, що виступають, зминаються.

2. Лопатки турбіни: механічні пошкодження, знос, наклеп, корозія, ерозія – усуваються зачисткою абразивними брусками, надфілем, шабером з подальшою полірою повстяними кругами з нанесеним на них шліфувальним порошком або пастою ГОІ; при виході частоти власних коливань за межі допустимих профіль лопатки у певних перетинах піддається шліфуванню та поліруванню; при обриві, тріщині лопаток або значних величинах вказаних вище несправностей та дефектів доцільно виконувати попередню обробку дефектних місць (зачищення, запилювання і т.ін.), а потім відновлення за допомогою зварювання, наплавлення, паяння, напилення. Потім провести механічну (шліфування, полірування, зміцнення) та термічну обробку для дотримання необхідної міцності і структури матеріалу. Після ремонту лопаток необхідно відновити антикорозійне покриття.

У робочих лопаток вимірюється частота власних коливань. Вона може бути змінена поліруванням пера у комля (знижена) або у верхній частині (збільшена).

3. Лопатки соплового апарата: механічні пошкодження, знос, нагароутворення, корозія, ерозія – усуваються зачисткою

шліфувальними брусками, надфілем, шабером. За наявності руйнувань, тріщин або значних величин вказаних вище несправностей та дефектів доцільно виконувати попередню обробку (зачищення, запилювання і т.ін.), а потім відновлення за допомогою зварювання, наплавлення, напилення, паяння. Потім провести механічну (шліфування, зміцнення) і, при необхідності, термічну обробку. Після ремонту лопаток необхідно відновити антикорозійне покриття.

Способи ремонту та відновлення лопаток. Відновлення лопаток турбін і соплових апаратів АД виконується в такій послідовності:

1. Відновлення геометричних розмірів лопаток в місцях зносу методом наплавлення, напаявання, наварювання.
2. Заміна дефлекторів охолоджуваних лопаток.
3. Зачистка механічних пошкоджень, слідів зносу, корозії на пері, полицях і хвостовику слюсарною та механічною обробкою.
4. Зняття розміщеного шару (0,1...0,2 мм) у місцях, де найчастіше утворюються тріщини.
5. Перевірка робочих лопаток на частоту власних коливань і при необхідності проведення відповідної доробки.
6. Відновлення термодифузійних покриттів.
7. Відновлення, заміна жаростійких емалей.
8. Відпал лопаток для зняття залишкових напружень.
9. Поверхнєве зміцнення ялинкових пазів хвостовиків робочих лопаток.
10. Завершальний контроль технічного стану лопаток.

Відновлення робочих і соплових лопаток включає усунення поверхневих дефектів, доробку та контроль робочих параметрів (рис. 10.1). Спотворення профілю і порушення якості поверхневого шару не допускаються. Лопатки з об'ємними дефектами бракуються (наприклад, при перегріві, визначуваному за мікрошліфом однієї лопатки комплекту). Поверхневі дефекти (нагар, корозія, сліди наклепу) віддаляються завдяки допускам на хорду і товщину поліруванням, гідроабразивною або анодно-лужною обробкою. Застосовується також обдування кісточковою крихтою. Шорсткість та хвилястість, радіуси вхідної та вихідної кромки звичайно контролюються за допомогою еталону. Хорда профілю заміряється штангенциркулем, товщина профілю $\phi Я$ і вихідної кромки $Ю(Э)$ – індикаторним пристосуванням, радіуси переходів – шаблонами.

При глибоких забоїнах лопатки бракуються. Соплові лопатки з виробкою матеріалу в посадкових місцях можуть відновлюватися методом ремонтних розмірів.

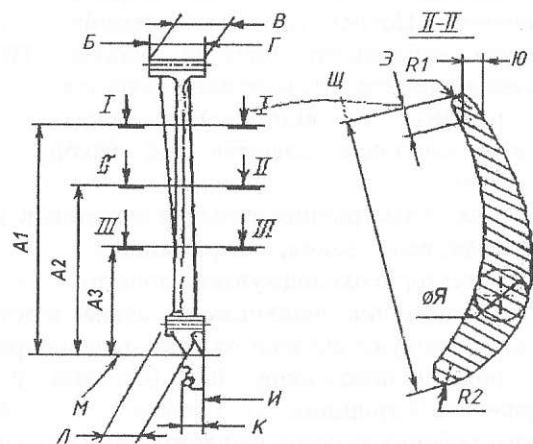


Рис. 10.1. Контроль лопаток турбіни після відновлення

Запобігання газовій корозії профільних частин робочих лопаток забезпечується дифузійними покриттями: цирконоалітуванням та вольфрамоалітуванням. Ці комплексні покриття є більш ефективними порівняно з алітованими, які застосовуються при відновленні лопаток на заводах ЦА.

На завершальних операціях ремонту перевіряються геометричні параметри лопаток, шорсткість поверхонь, проводиться контроль проникаючими рідинами. Вимірюються частоти власних коливань робочих лопаток.

Відновлення розмірів бандажних полиць робочих лопаток виконується наплавленням з подальшою механічною обробкою та термообробкою.

Відновлення торця пера робочих лопаток, що мають знос через дотик з матеріалом ущільнювача, виконується наплавленням аргонодуговим зварюванням на постійному струмі жароміцного матеріалу з подальшою механічною обробкою до допустимих розмірів. Лопатки при зносі до 1 мм наплавляються за один прохід, при більшому – за два проходи.

Зміцнення хвостовиків робочих лопаток у місцях переходу пазів до торців виконується обробкою дробом на спеціальних установках.

Видалення пошкодженого шару з поверхні пера робочих лопаток за наявності зносу, підвищеної шорсткості допускається на глибину 0,1...0,3 мм і виконується віброконтактним поліруванням, стрічково-абразивною або абразивно-рідинною обробкою.

Поліровка задньої кромки лопаток при ремонті виконується на ширині до 3 мм. При цьому знімається шар металу до 0,15 мм.

Нанесення склокристалічних покриттів для захисту від окислювального зносу виконується силікатними емалями типу ЕВК-13 або ЕВК-14 із значним змістом тонкодисперсної рівномірно розподіленої кристалічної фази, відмінної від жаростійких склоемалей високими фізико-механічними властивостями.

При застосуванні вказаних раніше силікатних емалей ресурс деталей АД збільшується у 2...2,5 рази.

Електроіскрове легування при ремонті робочих і соплових лопаток виконується для збільшення зносостійкості контактних поверхонь, для відновлення зношених місць.

У багатьох випадках зношені поверхні лопаток відновлюються напаянням. Порівняно з наплавленням напаяння жароміцними матеріалами не вимагає попередньої обробки - шліфовки місць зносу і проведення подальшої термічної обробки для зняття залишкових напруг. Цим способом можна наносити будь-які покриття. Можна відновлювати лопатки при глибині зносу до 1 мм. Після нанесення покриття виконується шліфування до необхідного розміру. Величина припуску на механічну обробку 0,3...0,4 мм. Якщо знос більше 1 мм, відновлення виконується комбінованим способом - спочатку наплавленням або напаянням, а потім електроіскровим способом. Нанесення покриттів виконується за допомогою спеціальних установок. Недоліком є все ще низька продуктивність.

Відновлення лопаток соплового апарату і турбін високотемпературним паянням твердими припоями у вакуумі виконується за наявності тріщин на гребінцях ущільнювачів бандажних полиць, окислювального зносу поверхневого профілю. При цьому збільшується і довговічність лопаток. Вартість такого відновлення не перевищує 10% вартості виготовлення нових лопаток. Порівняно зі зварюванням виключається місцеве викривлення (деформація) і перенапруження профілю. При цьому одночасно із заповненням металом основної несправності, наприклад, тріщини,

запаюється місцеве розтріскування матеріалу і дрібні тріщини, що важко виявляються при дефектації. Для паяння застосовується припій СМ-60. Ремонт паянням у вакуумі дозволяє виконувати повторне відновлення, а також відновлення лопаток, що раніше ремонтувалися зварюванням.

У процесі експлуатації відбувається окислення поверхні лопаток турбін. Окрім цього, спостерігається і зменшення легуючих елементів у поверхневому шарі лопаток. При цьому в поверхневому шарі лопаток при дії напружень виникають тріщини. Тому захисту лопаток від окислення при їх виготовленні та відновленні надається велика увага. Захист лопаток від окислення досягається способами хіміко-термічної обробки – алітуванням, емалюванням, плазмовим напиленням та хромоалітуванням.

Алітування – термодифузійне насичення (до глибини 20...70 мкм) поверхнього шару лопатки алюмінієм. У поверхневому шарі концентрація алюмінію до 30...50%. Підвищується тривала міцність на 10...35% і термостійкість лопаток на 30%. Існують: порошкове – насичення поверхні лопатки порошкоподібною сумішшю з хлоридами, шлікерне – приготування та нанесення спеціальної суспензії на проточну частину лопатки і проведення термодифузійного відпалу, циркулярне – засноване на явищі перенесення речовини в газовому потоці всередині замкнутого газопроводу.

Шлікерний метод простіший за порошковий, дає стабільні результати, краще захищає лопатки від корозії, підвищує опір утомленості лопаток на 10...35% і термічну втомленість на 30%. При шлікерному методі спочатку готується суспензія з порошку алюмінію і зв'язуючого, потім вона наноситься на лопатку і виконується відпал.

Плазмове напилення – нанесення теплозахисних, жаростійких і зносостійких покриттів завтовшки 0,1...0,15 мм на деталі АД (наприклад, лопатки турбіни або компресора) за допомогою плазми. Напилюваний матеріал при проходженні потоку плазми плавиться і у вигляді дрібних крапель осідає на напилювану поверхню. Як напилюваний матеріал можуть застосовуватися тугоплавкі метали: молібден і вольфрам; оксиди алюмінію, цирконію; бориду титана, цирконію; карбіди хрому, титану, вольфраму, бору, цирконію.

Перед напиленням необхідно за декілька годин (за 6 і менше) виконати обдування поверхні деталі електрокорундом № 80...100, якщо $P = 0,3...0,4 \text{ Мн/м}^2$, заздалегідь захистивши поверхні деталі, що не підлягають напиленню.

Хромоалітування – це дифузійний метод нанесення металопокриттів, який застосовується в основному для лопаток турбін з метою підвищення їх надійності та довговічності. Виконується насиченням поверхневих шарів лопаток хромом і алюмінієм у струмі кисню при підігріві у вакуумі.

Це збільшує жаростійкість та витривалість, підвищує твердість матеріалу лопаток і приводить до збільшення опірності лопаток зносу, механічним пошкодженням і ерозії. Хромоалітування раніше термооброблених лопаток приводить до повторної термообробки, в результаті якої значно зменшується крихкість матеріалу. Основними чинниками, які визначають якість хромоалітування, є: температури насичення, дія в струмені кисню, старіння; тривалість витримки при веденні процесу і величина вакууму. Для якісного ведення до процесу хромоалітування лопаток висуваються високі вимоги щодо точності дотримання режимів. Так, температура повинна витримуватися з точністю $\pm 10^\circ\text{C}$, тривалість витримки – з точністю до ± 10 хв, вакуум – з точністю до $\pm 13,3$ Па. Найменший вакуум (найбільший тиск), що допускається, при $T = 1080^\circ\text{C}$ дорівнює 66,5 Па. Послідовність технологічного процесу хромоалітування лопаток така: підготовка лопаток, підготовка компонентів, приготування робочого складу, зарядка контейнера, сушка контейнера, насичення хромом та алюмінієм, очищення лопаток і зразка-свідка, обробка в потоці кисню і старіння лопаток, контроль товщини дифузійного шару і твердості матеріалу.

10.3. Відновлення компресора

Для конструктивних елементів (КЕ) компресора характерні знос при терті, накопичення втомленості, ерозія, корозія та фретинг-корозія. Знос при терті виявляється у вигляді зміни розмірів і форми посадочних поверхонь (цапфи, корпуси підшипників, втулки направляючих лопаток), рисок, надирів (пази дисків, замкові частини робочих лопаток, поверхні рознімів та ін.).

Під впливом змінних напружень від аеродинамічних та інерційних навантажень у матеріалі КЕ накопичується втомленість. Тріщини виникають на робочих та направляючих лопатках, дисках, шліцах, корпусах (зазвичай, в зоні зварних швів) і т.ін. Накопичення втомленості підсилюють циклічні навантаження низьких частот, що залежать від частоти і висоти польотів, структури траси. У поєднанні з

вібраційними ці навантаження можуть викликати руйнування робочих лопаток (тріщини розвиваються з вхідних кромок, рідше – з вихідних), тріщини в пазах дисків та ін. Руйнування лопаток підвищує рівень вібрацій і може привести до помпажу АД. Ерозія КЕ повітряного тракту знижує характеристики АД, наприклад, ККД компресора, тягу, запас стійкості компресора за помпажем і т.ін. Корозія утворюється, наприклад, на кільцях направляючих апаратів і знижує межу витривалості матеріалу до 30%.

Фретинг-корозія виникає на елементах замкового з'єднання «диск – лопатка».

При попаданні в проточну частину сторонніх предметів ушкоджуються передні кромки лопаток. Часто втомні тріщини розвиваються від забоїни, розташованої у зоні вузла коливаль.

Деформації (викривлення, овальність) викликаються неоднаковою температурою і жорсткістю корпусу по довжині і радіусу, відцентровими силами у поєднанні з температурним розширенням КЕ ротора. Температурні напруги виникають при нерівномірному нагріві жорстко закладених між кільцями лопаток направляючих апаратів і можуть при коливаннях привести до появи тріщин.

Процеси зношування стимулюються виробничими дефектами типу пропалів, місцевих перегрівів поверхневого шару при механічній обробці та ін.

У ТВ на відновлення компресора задані: радіальні зазори між торцями робочих лопаток і корпусом, зазори в лабіринтових ущільненнях; осьові зазори між робочими та направляючими лопатками; розміри, биття, овальність посадочних поверхонь корпусів, цапф, поверхонь з шаром ущільнювача; розміри та биття по гребінцях лабіринтів; люфти, розміри і шорсткість поверхонь лопаток та їх вібраційні характеристики; неплоскостність поверхонь торців корпусів, кілець направляючих апаратів, залишковий дисбаланс ротора та його частин.

При дефектації використовуються візуально-оптичний огляд (КЕ повітряного тракту, цапфи, барабани, корпуси), контроль проникаючими рідинами (робочі лопатки, диски), магнітна, електромагнітна та ультразвукова дефектоскопія (робочі лопатки, напіввали, диски, барабани), віброакустична діагностика (ротори), вимірювання розмірів та форми КЕ. За наслідками дефектації

встановлюються переліки деталей, що підлягають відновленню, доробкам, замінам.

При відновленні на деталях усуваються поверхневі дефекти, відновлюються розміри, форма і взаємне розташування поверхонь. Зачищаються наліт корозії, риси, задири, піднятості матеріалу у забоїнах, фретинг-корозія. Зачищені місця поліруються і піддаються антикорозійній обробці. Форма тонкостінних деталей (робочих кілець, напівкілець направляючих апаратів) відновлюється рихтуванням (правкою). Форма та розміри центруючих і посадочних поверхонь дисків, валів, допустиме биття опорних поверхонь торців забезпечується механічною обробкою і покриттями (найчастіше шліфуванням та хромуванням). Диски, барабани, вали балансуються.

Контроль деталей після відновлення полягає у виявленні дефектів матеріалу вказаними раніше методами визначення технічного стану (ВТС).

З технологічних доробок, виконуваних при відновленні, можна відзначити покриття (на основі двосірчастого молібдену або сріблення) на замкових частинах робочих лопаток, що запобігають появі надирів. Для попередження та усунення наклепу і зносу виконується наплавлення (з подальшою механічною обробкою) торців направляючих апаратів з титанових сплавів.

Заміна деталей робить великий вплив на структуру технологічного процесу відновлення. Якщо, наприклад, для ротора компресора немає необхідності у заміні деталей, то його відновлення зводиться до усунення поверхневих дефектів (забоїн на лопатках, лабіринтах, різьбленні, наклепу на шліцах і посадочних поверхнях) та балансування. Іноді з ротора знімаються лопатки для доробки замкових частин лопаток і дисків, вимірювання частот власних коливаль лопаток і ВТС.

Більш загальним для ротора є технологічний процес, пов'язаний з частковою або повною заміною лопаток, дисків, лабіринтів, відновленням посадочних поверхонь шийок хромуванням. У цьому випадку виникає необхідність додаткового динамічного балансування ротора (заміна робочих коліс, кілець лабіринтів, підшипників), підбору деталей по зазорах, натягах, підбору лопаток по посадці та масі. Для збереження дисбалансу болти та гайки робочих коліс і отвори для них тавруються порядковими номерами. Проміті деталі піддаються ВТС, проходять ремонт та доробку. При заміні деталей має бути забезпечено збереження центрування, зрівноваженості, посадки.

Для ротора компресора типовою є заміна лопаток, дисків, валів. При повній заміні виконується зважування лопаток, підбір і забезпечення їх посадки в замку, монтаж лопаток і обробка у вузлі.

Характер робіт, виконуваних для забезпечення і контролю положення лопатки в диску, залежить від конструкції. У лопаток із замковою частиною типу ластівкового хвоста посадка визначається зазором. Цей зазор обчислюється за розмірами спряжених поверхонь, вимірених у заданому ТВ перетині. При необхідності підшва лопатки притирається.

Вузлова обробка в технологічному процесі відновлення займає важливе місце. Наприклад, шліфування шийок та лопаток ротора. Базування здійснюється по виробничо-технологічних базах ротора – центрових фасках валів. Якість баз перевіряється на прилягання по фарбі, фаски при необхідності доводяться притиранням або виконується перецентрування ротора (принцип обігу баз). Після шліфовки лопаток і зняття гострих кромок по їх торцях ротор розбирається, виконується ВТС лопаток, вимірюються частоти їх власних коливань.

До вузлової обробки відноситься балансування ротора та його частин, яке звичайно проводиться в декілька операцій: балансування деталей ротора, вмонтованих на шийки; послідовні балансування після установки лопаток окремих ступеней і в кінці – зібраного ротора.

Для забезпечення заданого залишкового дисбалансу виконується перестановка лопаток, зняття металу в передбачених місцях, установка вантажів балансувань, підбір за масою гайок кріплення робочих коліс.

При відновленні статора питома вага вузлової обробки значна. Це пояснюється великою кількістю нерознімних з'єднань (зварних, клепаних), а також розташуванням на корпусах вузлів кріплення коробки агрегатів та інших КЕ. Виконується заміна втулок, калібрування різей і ремонт отворів бобишок, відновлення шару ущільнювача. Разом з лопатками обробляються направляючі апарати.

Характерною операцією вузлової обробки статора є відновлення покриттів ущільнювачів. Якість покриття (міцність зчеплення покриття і його властивості, точність форми та розмірів) забезпечується підготовкою поверхні, що покривається, режимами нанесення і механічною обробкою. Маршрутна технологія включає підготовку поверхні, ґрунтовку, нанесення маси ущільнювача, сушіння, попереднє розточування, ущільнення, контроль на термостійкість. У процесі підготовки з поверхні видаляються

забруднення, поверхневі дефекти. Для створення шорсткості вона обдувається піском. Ґрунт і потім маса ущільнювача наносяться на розігріту поверхню шарами, кожний з яких просушується. Після попереднього розточування проводиться контроль шару ущільнювача: при виявленні рихлості він відновлюється. Ущільнення його і сушка стабілізує його структуру. Для ущільнення шар обкачується роликком на токарному верстаті. Контролем на термостійкість визначається міцність покриття при зміні температури.

При остаточному розточуванні поверхням з нанесеним покриттям надається задана технічними вимогами (ТВ) точність форми і взаємного розташування.

На герметичність випробовується технологічно зібраний корпус. Його отвори глушаться. У порожнині корпусу створюється тиск повітря. Можливі місця негерметичності (розніми, вузли кріплення направляючих апаратів та ін.) промазуються мильним розчином. Відсутність пухиріння розчину свідчить про герметичність.

При остаточному контролі перевіряються клеймо номера комплекту АД і риси взаємного розташування, відсутність поверхневих дефектів, правильність контрування гайок, люфти лопаток, биття настановних торців, робочих поверхонь щодо посадочних, розміри за вершинами лопаток, посадочні розміри, радіуси переходів та інші параметри.

10.4. Відновлення турбіни

Процеси зношування турбін викликаються змінними напруженнями і температурами, тривалими статичними навантаженнями, дією газового потоку. Серед них основне місце займають знос при терті, втомленість, термічна втомленість, повзучість, ерозія та газова корозія.

В умовах тертя розвивається знос замкових частин і торців бандажних полиць лопаток, лабіринтів, ущільнень. Знос поверхонь бандажних полиць і зв'язаних елементів ялинкового замку залежить від їх нерівномірного прилягання та коливань лопаток.

Тверді частинки нагару, потрапляючи з камери згоряння, змінюють шорсткість пера лопатки. Зношування посадочних поверхонь дисків, підшипників, шліцевих, болтових, штифтових

з'єднань супроводжується спотворенням посадок і зростанням концентрацій напружень.

Під дією змінних напружень на лопатках, дисках, підшипниках, корпусах, валах з'являються втомні тріщини.

Втомні тріщини в дисках є наслідком великих статичних напружень та змінних напружень, пов'язаних з коливаннями дисків. Наявність конструктивних (переходи, отвори), технологічних (риски, залишкові напруження розтягування, ділянки перегріву поверхневого шару) концентраторів інтенсифікують утворення та розвиток тріщин.

Термічна втома накопичується в матеріалі соплових та робочих лопаток, дисків, діафрагм, корпусів, кожухів. Вона визначається числом циклів і рівнем теплових напружень у деталях або, у результаті, характеристиками приємності, різкістю перехідних режимів, частотою запусків та реверсів тяги. Змінні температурні градієнти в матеріалі приводять до тріщин та деформацій. Тріщини термічної втоменості стимулюються концентраторами напружень – різкими змінами перетину у бандажів лопаток, отворів дисків. Характерною особливістю термовтомних тріщин є їх розташування в зонах з високими градієнтами температур і розповсюдження початкової тріщини по межах зерен.

З перепадами температур пов'язані деформації та усадка корпусів. Внутрішня частина корпусу нагрівається вище зовнішньої, обдувається повітрям. Внутрішній діаметр застигаючого корпусу швидко зменшується. У шарах металу, що примикають до внутрішньої поверхні, виникають напруження стиснення, у зовнішніх – розтягування. Створюється можливість пластичних деформацій корпусу, викривлення, зміни посадок. Наслідки нагріву проявляються і в неприпустимих структурних перетвореннях у металі, термічних руйнуваннях вузлів при ускладненому тепловому розширенні, що приводять до статичного руйнування.

Газова корозія вражає КЕ газового тракту, особливо робочі та соплові лопатки. Вона руйнує поверхневий шар, змінює хімічний склад та його структуру, знижує міцність КЕ.

Оплавлення та обгорання лопаток може виникнути при підвищенні температури газового потоку вище допустимої через помпаж, відмови паливорегулювальної апаратури, нестабільну роботу камери згорання, помилки під час запуску АД.

Повзучість викликає незворотні деформації лопаток та дисків. Неприятливий вплив роблять пошкодження поверхневого шару.

Навіть найдрібніші (до 1 мкм) тріщини значно знижують опірність повзучості. Залишкові подовження робочих лопаток від повзучості змінюють радіальні зазори. Через перепад тиску на опуклій та увігнутий поверхнях соплових лопаток виникають викривлення.

У числі інших дефектів, несправностей та пошкоджень турбіни можна виділити масляне «голодування» і руйнування підшипників опор внаслідок залишкових відкладень у маслосканалах, розмірне розузгодження деталей (помилки в розмірних ланцюгах, несприятливе поєднання допусків, невдало вибрані посадки), що особливо виявляються на перехідних режимах.

У ТУ на відновлення турбіни встановлені: зазори між корпусом турбіни і робочими лопатками, ободами дисків і бандажними поясами, в лабіринтових ущільненнях; розміри та биття посадочних поверхонь валів, дисків, робочих коліс, соплових апаратів, шліців, лабіринтових поясів, кілець, що сполучаються з гребінцями лабіринтів поверхонь; відхилення від площини, перпендикулярності, концентричності робочих поверхонь фланців корпусів, соплових апаратів; вісьові зазори між сопловими і робочими лопатками; відхилення форми та розмірів контуру пера робочих і соплових лопаток у розрахункових перетинах, замку і бандажних полиць, лопаток, гребінців лабіринтів, ялинкових пазів диска; шорсткість робочих поверхонь КЕ; люфти лопаток і зазори в бандажних поясах; залишкові дисбаланси валів, дисків, робочих коліс, ротора в цілому; площа прохідного перетину соплових апаратів; частоту власних коливань робочих лопаток.

Відновлення дисків передбачає усунення поверхневих дефектів, відновлення посадкових та базових поверхонь і лабіринтів. Об'ємні дефекти служать ознакою відбраковки. При виявленні перегріву лопаток диск перевіряється по ободу на твердість і, якщо твердість низька, бракується. Риски, забоїни в окремих місцях диска і на лабіринтах зачищаються. У ТВ задані глибина поверхневих дефектів і сумарна дуга зачистки їх на гребінцях лабіринтів. Якщо дефекти розташовані більш, ніж на одному гребінці, зачистка виконується в шаховому порядку з перекриттям.

Розміри M , H , P , R ялинкового паза визначаються по роликах (рис. 10.2). Зміни розмірів між роликками по довжині зуба і різниці відхилень їх за профілем замка зверху меж ТВ приводять до відбракування диска.

За допомогою механічної обробки створюються ремонтно-технологічні бази, відновлюються шліфуванням і хромуванням

посадочні та робочі поверхні дисків. У разі зносу лабіринти дисків відновлюються проточкою або наплавленням з подальшою проточкою із забезпеченням необхідних ТВ розмірів і биття поверхонь або, наприклад, розмірів *Ц* і *Ш* фасок і збереження гостроти кромки у місцях *R* (рис. 10.3).

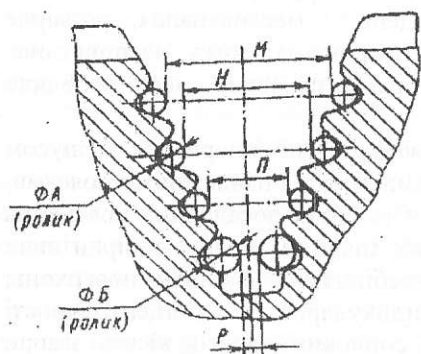


Рис. 10.2. Контроль розмірів *M*, *H*, *П*, *P* паза диска турбіни по роликах

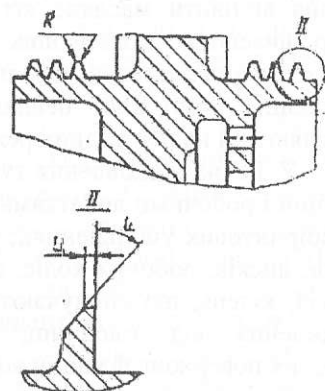


Рис. 10.3. Контроль гребінців лабіринтів диска турбіни після відновлення

При відновленні валів усуваються поверхневі дефекти, відновлюються посадочні та центруючі поверхні, виконується балансування і проводяться доробки.

Вали високооборотних роторів окремо балансується. Неврівноваженість валу зменшується зняттям тонкого (до 1 мкм) шару металу по всій довжині з технологічних буртів, а також постановкою вантажів балансування.

Відновлення лабіринтових кілець і лабіринтів включає усунення поверхневих дефектів (особливо на гребінцях), відновлення взаємного розташування циліндрових і торцевих поверхонь. Зазори з дисками і радіальне биття лабіринтів отримуються проточкою їх гребінців і торців.

Заміна деталей займає видне місце в технологічному процесі. Якість операції по заміні відображається на врівноваженості роторів, газодинамічних параметрах робочого циклу турбіни, надійності та довговічності. Робочі лопатки при заміні підбираються за ваговим моментом, посадці в пазах диска і зазорах в бандажних полицях.

Угрупування лопаток за ваговим моментом і відповідне їх розміщення в диску створює попередню врівноваженість робочого колеса. Вагові моменти лопаток (або пара лопаток) в протилежних пазах диска і в комплекті не повинні відрізнятися більш, ніж на задану величину. Номери протилежних пазів указуються в технології. Пази диска тавруються порядковими номерами (рис. 10.4). Лопатки в пазах диска перевіряються на тангенціальний люфт і зазори по стикових елементах. Тангенціальний люфт вимірюється у кожній лопатки, для чого бандажовані лопатки встановлюються через паз. Зазори по бандажних та нижніх полицях *P*, *T* і натяг *П* перевіряються на зібраному робочому колесі. Для забезпечення зазору *T* по нижніх полицях їх поверхні торців шліфуються. Коли в паз диска встановлюється по дві лопатки, контролюється зазор в стику між лопатками.

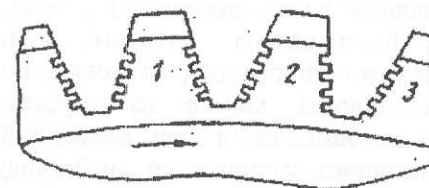


Рис. 10.4. Таврування пазів диска турбіни порядковими номерами

Заміна соплових лопаток виконується при їх відбракуванні або відхилення від ТВ витрати повітря (площі прохідного перетину).

Соплові лопатки підбираються за профілями пазів (зазорами) і люфтами у з'єднанні.

Металокерамічні вставки соплових апаратів замінюються у разі їх зносу та інших дефектів. При заміні щільна посадка вставок у пази обійми забезпечується підгонкою поверхонь. Вставки також підганяються по стиках для отримання необхідного зазору.

У вузловій обробці турбіни забезпечуються ТВ по зазорах, врівноваженості, взаємному положенні поверхонь. Кількість та зміст операцій вузлової обробки залежать від результатів контролю робочих параметрів турбіни. Він виконується при заміні деталей і є найважливішим елементом вузлової обробки. Дуже часто вузлова обробка починається після розбирання з вимірювань розмірів, зазорів і биття КЕ. У роторів вимірюються розміри і биття лабіринтів робочих коліс, поверхонь, що визначають радіальне положення ротора щодо

соплових апаратів та ін. Як бази при контролі часто використовуються центрові фаски.

У процесі контролю соплових апаратів перевіряються посадка металокерамічних вставок, їх стан, заміряються непаралельність базових поверхонь торців, биття робочих поверхонь щодо посадочних.

Вузловій обробці піддаються робочі колеса, вали з диском, диски з лабіринтами, соплові апарати, ротори.

Обробкою робочих коліс можна досягти концентричності поверхонь обертання гребінців лабіринтів, точності центруючих поверхонь, перпендикулярності базових поверхонь торців осі обертання, рівноваженості.

Як бази потрібно використовувати поверхні, що визначають положення колеса у вузлі. Точність такого положення вивіряється по осьовому та радіальному биттю поверхонь колеса.

Обмеження залишкового дисбалансу іноді примушують проводити окреме балансування робочого колеса. Звичайно балансування виконується підбором (перестановкою) лопаток і болтів балансувань. При установці колеса на верстат балансування використовуються ті ж бази, що і при механічній обробці. Для отримання заданої величини залишкового дисбалансу на зібраному роторі шліфуються базові поверхні валу, якщо їх биття вище заданих величин і дисбаланс в межах ТВ не забезпечений.

Основний зміст операції випробування та остаточного контролю турбіни складає балансування ротора і контроль прохідного перетину соплових апаратів.

На складання під балансування ротор комплектується своїми деталями. На деталі відбалансованого ротора наносяться ризки взаємного розташування, виконується остаточне таврування, ротор розбирається і прямує на вузлову збірку.

Контроль і забезпечення прохідного перетину є відповідальною операцією технологічного процесу ремонту статора. Цей перетин визначає витрату газу через АД. Застосовуються три способи контролю: вимірювання площі прохідного перетину соплового апарату як суми площ міжлопаткових каналів у місці мінімальної ширини; продування соплового апарату повітрям; проливання соплового апарату водою. Якщо площа прохідного перетину не відповідає ТВ, виконується доробка або заміна лопаток.

10.5. Відновлення камер згорання і вихлопних пристроїв

Характер дефектів КЕ камер згорання і вихлопних пристроїв в основному визначається дією високої температури. Через нерівномірний нагрів жарових труб виникають температурні напруження. Появі та розвитку несправностей жарових труб сприяє утворення нагару на стінках, особливо в зоні первинного згорання і паливних форсунок. Температурні напруження зростають при частих змінах режиму роботи АД. На жарових трубах, дифузорах, соплах, патрубках та інших КЕ з'являються термовтомні тріщини.

Коливання тиску газів у газоповітряному тракці та коливання ділянок камер згорання і вихлопних пристроїв на резонансних частотах можуть викликати тріщини та руйнування від утомленості. Процеси зародження та розвитку тріщин стимулюються концентраторами напружень (рисками, вм'ятинами, отворами). Часто тріщини з'являються в зоні зварних швів.

Газова корозія поверхонь знижує статичну та динамічну міцність КЕ. Її викликають дія агресивного середовища (газу) і ослаблення опору матеріалу окисленню при підвищеній температурі.

У посадочних поясах відбувається знос при терті, що викликає фретинг-корозію, порушує посадки, центрування корпусів, дифузорів, опор.

У ТВ на відновлення камери згорання і вихлопних пристроїв задані: точність форми і розміри посадочних поверхонь корпусів, кожухів, сопел, жарових труб; розміри, биття, осьові зазори, зазори у щілинах основних поверхонь жарових труб; неперпендикулярність поверхонь торців фланців посадочним поверхням; неплоскостність поверхонь стиків; герметичність зварних з'єднань. При відновленні широко використовується зварювання.

Корпуси в процесі вузлової обробки піддаються перевірці на герметичність по зварних швах, випробуванням, контролю та відновленню розмірів і форми робочих та посадочних поверхонь, усуненню поверхневих дефектів та тріщин. Герметичність зварних швів визначається методом проникаючих рідин. Якщо тріщини не виявляються, то шов вважається герметичним.

Вузлове відновлення жарових труб включає такі елементи: підготовку до відновлення; відновлення, доробку і заміну деталей (частин); складання, обробку та випробування.

Підготовка до відновлення проводиться для якісної дефектації і подальшого відновлення всіх елементів жарової труби. При цьому виконується її часткове або повне розбирання для очищення та дефектації важкодоступних місць. Від нагару очищають металевою щіткою або корундовим піском. Ретельно дефектуються зварні шви.

Усунення поверхневих дефектів, відновлення форми, розмірів та взаємного розташування поверхонь жарових труб виконується після підварки і рихтування.

Поліруються кромки отворів для зниження концентрації напружень, зачищається наклеп на посадочних поверхнях, рихтуються викривлення кілець, зачищається розтріскування металу навколо отворів під заклепки. При виході за межі розмірів отвори під заклепки заварюються і в місцях підварки висвердлюються нові отвори за розміткою.

Заміна частин жарових труб є ефективним засобом відновлення їх працездатності і зниження вартості ремонту. У жарових трубах сучасних АД можна практично замінити будь-яку з частин (головки, кільця зовнішні, втулки підвіски і т.ін.). При заміні типовими є операції з видалення дефектної частини, підготовки посадкових місць і пригону нової частини за місцем, складання вузла після заміни. При відновленні та заміні частин жарових труб застосовуються різні види зварювання: аргонодугове, електродугове, точкове та роликкове. Після зварювання проводиться віброзміцнення зварного шва, відпал вузла та його промивка.

Складання та обробка жарової труби виконується для забезпечення ТВ на основні робочі параметри вузла. У разі необхідності виконується рихтування зібраного вузла.

При пошкодженні емалевого покриття жарові труби покривають емаллю. Старий шар емалі видаляється розчиненням у кислотній ванні. Після цього жарова труба промивається, нейтралізується в содовому розчині та просушується. Поверхням, що покриваються емаллю, обдуванням піском додається шорсткість. Вони знежирюються, промиваються та сушаться. Новий шар емалі наноситься розпилювачем. Жарова труба з нанесеним шаром емалі піддається відпалу. Після охолодження проводиться контроль якості емалювання.

10.6. Відновлення редукторів, приводів агрегатів та коробок приводів авіаційних двигунів

Поломка зубів шестерень спостерігається рідко. Причиною поломки є втомні тріщини біля основи зуба, а також великі перевантаження, при яких виявляється недостатньою статична міцність зуба або ударна в'язкість матеріалу.

У ТВ на відновлення редукторів та приводів встановлені: розміри, похибки форми і шорсткість посадочних поверхонь валів, зубчатих коліс, обойм корпусів під підшипники; розміри, биття по початковому колу і шорсткість поверхні зубів коліс; бічний зазор, розміри і розташування плями контакту зубів; непаралельність осей отворів обойм щодо центруючого отвору (складальної бази) корпусу; биття поверхонь отворів обойм щодо складальних баз; непаралельність торців обойм щодо площин розніму корпусів та кришок; неперпендикулярність отворів обойм.

За наявності тріщин корпус бракується, іноді допускається відновлення зварюванням. У разі зриву різьблення, обриву або ослаблення посадки шпильок виконується їх заміна.

Заміна обойм під підшипники за наявності зносу отворів або порушенні посадки в корпусі (крищі) здійснюється в наступній технологічній послідовності: видалення дефектних обойм (алюмінієвих – розточуванням, сталевих – випресовуванням), контроль стану отворів корпусу і при необхідності їх розточування до ремонтного розміру, підбір нових обойм за посадкою та їх запресування в корпус, механічна обробка отворів обойм (розточування алюмінієвих, шліфування та доведення сталевих) до розмірів, заданих ТВ.

Після усунення дефектів внутрішні канали корпусу прокачуються на установці гарячим маслом під тиском до припинення появи стружки і бруду на контрольному фільтрі установки.

Для зубчатих коліс типовими є операції, пов'язані з усуненням поверхневих дефектів, відновленням посадочних поверхонь та робочих поверхонь зубів.

Дефекти на шліцах (вироблення, невеликі раковини і язви) допустимих розмірів усуваються зачисткою. Для запобігання зчепленню та схоплюванню виконується міднення шліців.

10.7. Відновлення агрегатів авіаційних двигунів

Особливостями відновлення агрегатів АД є: малий знос деталей, відповідні малі допуски зазорів (це примушує застосовувати більш точні вимірювальні засоби); індивідуальний підбір відповідальних деталей – плунжерних та золотникових пар.

З процесів дефектації слід відзначити знос при терті, ерозію, корозію, втомленість.

Основні дефекти золотників (плунжерів) та втулок, що сполучаються з ними, – це зміна форми, наклеп, подовжні риси, ерозія, притуплення гострих відсічних кромки. До золотників, плунжерів та втулок, що сполучаються з ними, висуваються жорсткі вимоги щодо точності розмірів та шорсткості робочих поверхонь. Дефектація проводиться звичними методами із застосуванням точних вимірювальних засобів.

Дефектація виконується згідно технології із застосуванням різноманітних методів та засобів ВТС. Особливе місце при цьому займають візуальний контроль, технічні вимірювання, використання різних дефектоскопів і ряд інших.

У ТВ на відновлення агрегатів встановлені: похибки взаємного розташування робочих поверхонь корпусів (неспіввісність робочих поверхонь втулок, неперпендикулярність поверхонь торців втулок осям та ін.).

Так, при дефектації золотникових (плунжерних) пар мікрометричний обмір виконується із застосуванням оптиметрів, оптичних довжиномірів; втулки вимірюються пневматичними довжиномірами.

Ремонт агрегатів включає відновлення деталей та вузлів, їх доробку, заміну, випробування.

При складанні агрегатів особлива увага надається чистоті робочого місця, деталей, вживаних матеріалів, інструментів та оснащення.

Для контролю якості ремонту, складання і робочих параметрів агрегати піддаються випробуванню на спеціальних стендах. Використовуються два види випробувань агрегатів: обкатка і здавальне випробування, контрольне випробування. Після обкатки і здавального випробування на стенді агрегати піддаються технологічному контрольному перебиранню для перевірки технічного стану деталей та їх прироблення.

Контрольне перебирання агрегатів може бути відмінене. Контрольне випробування – це випробування припрацьованого та відрегульованого агрегату під робочим навантаженням, в процесі якого заміряються основні робочі параметри. Так, при випробуванні паливних і масляних насосів перевіряються: продуктивність на мінімальних та максимальних оборотах при різному тиску робочої рідини на вході (у тому числі й у висотних умовах) та виході з насоса, регулювання редуційного клапана і герметичність.

Під час випробувань повітрявідділювачів контролюються: герметичність; прокачування суміші масла з повітрям на оборотах малого газу, робочих обертах і при різному тиску на вході та виході з агрегату; процентний вміст повітря в маслі на вході та виході з агрегату.

Випробування робочих форсунок полягає у перевірці: продуктивності форсунки при певному тиску на вході; нерівномірності розподілу палива навколо осі факела, розпилення по секторах; кута та якості розпилення; тиск відкриття та герметичності зворотних клапанів форсунки; герметичності форсунки у холодному стані та в потоці гарячого повітря. За продуктивністю форсунки розбиваються на декілька груп. На кожному АД для отримання рівномірного поля температури газів перед турбіною встановлюються форсунки тільки однієї групи.

Випробування паливорегулювальних агрегатів визначається характером системи автоматичного регулювання АД та їх конструктивними особливостями.

Основною вимогою до стендів для випробування агрегатів є забезпечення можливості перевірки роботи агрегатів в умовах, ідентичних тим, в яких він працює на АД. Для виконання цієї вимоги до кожного агрегату здійснюється підведення палива або масла, забезпечується його привід, охолодження, підігрів та завантаження відповідно до ТВ. Моделювання випробування у висотних умовах досягається вакуумними і холодильними установками.

Стенди для випробувань агрегатів складаються з трьох пов'язаних одна з одною частин: електроприводів випробовуваного агрегату і насосних станцій для створення необхідного тиску робочої рідини; гідравлічної системи, редуктора приводу з фланцем для установки випробовуваного агрегату; пульта управління.

Найбільш доцільно встановлювати кожен з вказаних частин стенду в окремому приміщенні, оскільки цим створюються хороші

ності
ційної
атури
ги на
дкому
їв та
дії, а

ливки
у від
арату
ічної

нячні
агати
ових

лів і
рхні;
ного
кації

ішно
іного
, які
років
е не

я від
рхня
ливо

умови роботи для випробувачів. Стенди обладнані всіма необхідними приладами для виміру: кількості обертів випробовуваних агрегатів (технічні та зразкові тахометри); температури робочої рідини (електричні термометри опору, ртутні термометри та ін.); тиску робочої рідини (технічні та зразкові манометри); абсолютного тиску робочої рідини при випробуванні агрегатів у висотних умовах (вакуумметри, п'єзометри); продуктивності (витратоміри, ротаметри, мірні бачки).

За наслідками контрольного випробування роблять висновок про придатність агрегату до експлуатації. Після випробування паливних агрегатів виконується їх внутрішня консервація прокачуванням заздалегідь зневодненого і нагрітого масла. Внутрішня консервація масляних агрегатів здійснюється безпосередньо під час їх випробування. Після випробування у всі відкриті канали, на штуцери та фланці агрегатів встановлюються технологічні заглушки. Всі кріпильні та регулювальні елементи конструють та пломбують. Агрегат разом з документацією укладають у хлорвініловий мішок, який запаюють і направляють в цех ремонту АД або на склад для відправки на експлуатаційне підприємство. В останньому випадку виконується зовнішня консервація агрегатів.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Наведіть типову схему ТП відновлення деталей АД.
2. Назвіть основні пошкодження лопаток компресора, турбіни, соплового апарата.
3. Які способи використовуються при відновленні лопаток компресора, турбіни, соплового апарата?
4. Назвіть характерні причини появи несправностей конструктивних елементів компресора, турбіни.
5. Які характерні дефекти камер згоряння?

11. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

11.1. Призначення лакофарбових покриттів

Одна з основних причин, яка викликає зниження міцності авіаційних конструкцій – корозія. Умови експлуатації авіаційної техніки в різних кліматичних умовах планети, різка зміна температури протягом короткого періоду часу викликає конденсування вологи на зовнішніх та внутрішніх поверхнях та зазорах, сприяють швидкому розвитку корозійних процесів.

У наш час основним засобом захисту металічних виробів та деталей, а також деяких неметалічних матеріалів від атмосферної дії, а в ряді випадків і ерозії є лакофарбові покриття (ЛФП).

Практично всі поверхні деталей, вузлів, агрегатів та обшивки літального апарата в цілому захищаються ЛФП. Крім захисту від корозії, ерозії та обволоження, ЛФП надають літальному апарату зовнішній вигляд, який відповідає вимогам сучасної технічної естетики.

Лакофарбове покриття, за необхідністю, може відбивати сонячні промені, підвищувати видимість ЛА у тумані та сутінках, допомагати випромінюванню тепла від обшивок, які нагріваються при надзвукових швидкостях польоту та цілому ряду інших функцій.

Термін служби ЛФП залежить, в основному, від матеріалів і складу лакофарбового покриття; стану фарбувальної поверхні; правильного вибору технологічного процесу фарбування; якісного виконання операцій та режимів фарбування; обладнання і кваліфікації робітників.

Досвід експлуатації ЛА показує, що за допомогою ЛФП успішно вирішується також проблема підвищення надійності антикорозійного захисту внутрішньої поверхні літака, вертольота та приладів, які знаходяться всередині фюзеляжу та оперення, протягом 15...20 років без ремонту і перефарбування, за винятком деяких місць, де не вдається з конструктивних причин позбавитись постійної вологи.

На зовнішніх поверхнях ЛФП працюють без перефарбування від 2 до 6 років. Крім антикорозійних властивостей зовнішня поверхня повинна мати і високі декоративні, які зберігаються на можливо довготривалій термін.

Але основне завдання ЛФП – протидіяти корозії.

Лакофарбові покриття, в яких не містяться металічні наповнювачі, є діелектриками, тобто не електропровідні. Тому корозійний процес не може проходити на лакофарбовій поверхні, а граничити тільки поверхнею розділу захисний метал (з неорганічною неметалічною захисною плівкою та без неї) – ЛФП. У такому випадку швидкість корозійного процесу на поверхні розділу буде визначатись такими властивостями плівки ЛФП: проникністю для води; проникністю для кисню; проникністю для іонів електроліту; омичним опором; адгезією до поверхні, що захищається. Експлуатаційна стійкість ЛФП – це збереження перерахованих властивостей та стану середовища у поверхні розділу матеріал–ЛФП. Практично зберегти ці показники у покриття в процесі експлуатації не вдається. Будь-яке полімерне ЛФП під дією атмосферних та експлуатаційних факторів з часом старіє. В результаті плівка ЛФП стає крихкою, в ній виникають внутрішні напруги, знижується адгезія покриття. Внаслідок цього в плівці можуть виникнути мікро- та макротріщини та може зменшитись її товщина, що призведе до зниження ефективності захисту. Особливо шкідливі внутрішні напруження, які можуть викликати розтріскування покриття, через що його захисний ефект зменшується. Тому для захисту від корозії використовуються системи покриттів, лабораторні та експлуатаційні випробування яких підтверджують, що зміна вихідних характеристик покриття знаходиться в допустимих межах.

11.2. Основи технології нанесення лакофарбових покриттів

Технологічний процес фарбування складається з наступних основних операцій: підготовки поверхні, ґрунтовки, шпатлювання, нанесення покривальних матеріалів (фарби, емалі, лаку) і сушки покриттів. На крупносерійних заводах (автомобільних, вагонобудівних та ін.) застосовують потоково-конвеєрне фарбування. Всі операції, починаючи з підготовки поверхонь виробів і закінчуючи фарбуванням та сушкою покриттів, виконують при переміщенні виробів.

Виробництво літаків та вертольотів не є масовим і тому до нього не застосовні такі способи фарбування.

Літаки та вертольоти збирають з окремих агрегатів, а агрегати (крила, фюзеляж, оперення та ін.) з окремих деталей. Фарбувальні роботи на авіаційних заводах ведуться на декількох ділянках. Така організація дозволяє після виготовлення деталей та їх підготовки без

великих перерв заґрунтувати і тим самим захистити від можливості виникнення корозійних пошкоджень і забруднень під час зберігання та транспортування. Крім того, необхідність у ґрунтуванні деталей до складання викликається тим, що після складання поверхні багатьох деталей стають недоступними для ґрунтування, наприклад, поверхні деталей, що сполучаються (обшивальні листи з елементами жорсткості – стрингерами, шпангоутами і т.ін.).

У виробництві літаків та вертольотів застосовують різноманітні матеріали, проте найширше – алюмінієві та магнієві сплави і різні марки сталі, які є корозійновразливими.

Захист деталей з алюмінієвих сплавів. Перед ґрунтовкою всі деталі (окрім зварюваних) електрохімічно або хімічно оксидують. Після такої підготовки їх ґрунтують хроматними ґрунтовками. Марки вживаної ґрунтовки залежать від умов роботи деталі, можливості застосування гарячої сушки і марки подальших шарів емалей, що наносяться на заґрунтовані деталі. На зовнішні поверхні обшивальних листів і панелей звичайно наносять швидковисихаючу акрилову ґрунтовку, а на внутрішню – фенольно-масляну гарячої сушки, цю ж ґрунтовку наносять на деталі внутрішнього набору – стрингери, шпангоути, лонжерони, трубопроводи та ін.

Більшість деталей з алюмінієвих сплавів вмонтовують у вузли, тільки заґрунтованими, а потім, якщо це передбачено технологією, піддають подальшому фарбуванню. У тих же випадках, коли після установлення фарбування неможливе, деталі вмонтовують після нанесення повної системи покриттів.

Захист деталей з магнієвих сплавів. Низька корозійна стійкість деталей з магнієвих сплавів обумовлює необхідність їх ретельного захисту. Основним методом захисту є нанесення різних систем ЛФП. Після закінчення механічної обробки деталей їх хімічно або електрохімічно оксидують (анодують) і, як правило, невідкладно ґрунтують. Чим свіжіша і чистіша оксидна плівка, тим вищі адгезійні та захисні властивості ЛФП, що наносяться.

На гострих кромках деталей ЛФП виходять тонкими, несучільними і погано тримаються, цього на магнієвих деталях допустити не можна, тому перед ґрунтовкою гострі кромки закругляють (радіус не менше 1 мм).

Для захисту магнієвих сплавів застосовують ряд лакофарбових покриттів. Використання тієї або іншої системи визначається, як і в інших випадках, умовами роботи деталей і температурою їх нагріву.

Наведемо деякі приклади. Якщо деталь працює в атмосферних умовах при температурі не вище 80 °С, то можливо застосувати перхлорвінілову систему покриттів, вона має хорошу атмосферостійкість, малу водо- та паропроникність. Для деталей, що працюють при температурі 200 °С, застосовують епоксидну систему на основі епоксидних емалей. Ця система має достатню стійкість до мінеральних масел, палива (гас, бензин), малу паро- і водонепроникність. Для захисту деталей, що працюють при високих температурах, використовують кремнійорганічні емалі. Як правило, магнієві деталі захищають до монтажу. Тому нанесені системи покриттів можна піддати гарячій сушці. При захисті магнієвих сплавів велику увагу приділяють ділянкам, які легко уражуються корозією. Ними є контакти з різнорідних металів, заклепувальні з'єднання, зазори, в яких може накопичуватись вода та ін. Для захисту від контактної корозії застосовують головним чином засоби, ізолюючи деталі між собою, для цих цілей використовують грунтовки, шпаклівки, ізолюючі стрічки та прокладки з неметалічних матеріалів.

Захист внутрішніх поверхонь. Після складання на внутрішніх поверхнях літаків та вертольотів є шар грунтовки, нанесений на деталі до складання. Після складання з'являються численні незахищені головки заклепок і окремі ділянки, на яких шар грунтовки був зруйнований в процесі складання. Перш ніж приступити до подальшого захисту, поверхню відчищають від забруднення шляхом продування їх стислим чистим повітрям, що не містить слідів мінерального масла, і протирають чистими серветками, змоченими бензином БР-1 або уайт-спіритом. Подальший захист полягає в тому, що на всі доступні для грунтовки ділянки поверхні, включаючи головки заклепок, наносять шар акрилової грунтовки з добавкою в нього 1,5 % алюмінієвої пудри.

Клепані шви, запилювання та інші ділянки, що стають після складання недоступними для грунтовки, грунтують у процесі складання.

У важких в корозійному відношенні умовах знаходяться внутрішні поверхні пасажирських літаків під підлогою пасажирської кабіни, у менш важких, але достатньо несприятливих умовах працюють внутрішні поверхні відсіків, розташованих під підлогами багажного відсіку. Для захисту цих поверхонь застосовують системи покриттів на основі перхлорвінілових та епоксидних матеріалів, що

мають достатню адгезією, водонепроникність і стійкі до дії агресивних середовищ.

Поверхні пасажирських кабін над підлогою, якщо немає необхідності в декоративній обробці, захищають двома шарами цинкхроматної грунтовки.

У даний час внутрішня обробка кабін здійснюється головним чином декоративними пластиками. Тільки окремі деталі інтер'єру піддають декоративному фарбуванню. Те ж відноситься і до кабін пасажирських вертольотів.

Деякі поверхні деталей, наприклад, мотогондоли, нагріваються в процесі експлуатації машин до достатньо високої температури, для захисту їх застосовують різні системи покриттів, наприклад, при нагріванні до температури 180...190°С систему на основі фенольної і акрилової грунтовки, при нагріванні до температури 200...225°С – систему тільки на основі фенольної грунтовки гарячої сушки з додаванням алюмінієвої пудри.

В акумуляторному відсіку можливе випадкове протікання кислоти або лугу з акумуляторних батарей, а також дія на стінки відсіку пари цих продуктів. Для захисту цих поверхонь застосовують системи покриттів на основі епоксидних або хімістійких перхлорвінілових емалей.

Внутрішню поверхню кабіни пілота захищають різними системами покриттів, при цьому основна увага приділяється фактурі та кольору покриття. Колір покриття повинен сприяти зменшенню стомлюваності льотного персоналу та бути відповідним до розробленого дизайну.

Фарбування зовнішніх поверхонь. Для захисту і декоративної обробки зовнішніх поверхонь літаків та вертольотів застосовують різні системи покриттів. Застосування тієї або іншої системи визначається рядом чинників: призначенням виробів, декоративними вимогами, умовами експлуатації та ін. Наприклад, фарбування зовнішніх поверхонь пасажирських літаків та вертольотів окрім захисту від корозії повинне сприяти поліпшенню зовнішнього вигляду машини. Отже, покриття повинні мати хороші декоративні властивості, великий глянець, добре підібрану колірну схему фарбування та відповідати вимогам замовника.

Літаки та вертольоти, що використовують в сільському господарстві, повинні бути добре захищені від дії отрутохімікатів, небезпечних у корозійному відношенні, отже, покриття, що

використовуються для таких машин, повинні мати достатньо високу хімічну стійкість.

Після закінчення складання і механічних доопрацювань літаки та вертольоти поступають у малярний ангар для остаточного фарбування. Малярний ангар обладнаний відповідно до вимог, що пред'являються до цехів, у ньому є приточно-витяжна вентиляція, вибухобезпечне освітлення. Стіни ангара фарбують масляними фарбами. Це робиться для того, щоб можна було легко мити і очищати їх від забруднення; періодично в процесі роботи повинен видалятися лакофарбовий пил, що осідає на фермах даху.

В ангарі повинно бути чисто; просторо і ясно. Від стану малярного ангара і устаткування значною мірою залежить якість покриття. Сучасні пасажирські та транспортні літаки мають значні розміри, як по ширині, так і по висоті, особливо високо на літаках розташовані кіль, стабілізатори та інші деталі. Фарбувати їх, стоячи на підлозі, звичайно, неможливо, тому в малярному ангарі або в цеху остаточного фарбування є стаціонарні помости різної висоти, між ними на підлозі ставлять вироби для фарбування. Крила і низ фюзеляжу фарбують, стоячи на підлозі, а верхню частину фюзеляжу і органи управління маляр фарбує, рухаючись по помосту уздовж фюзеляжу. Остаточне фарбування є завершальною операцією у виробництві літаків та вертольотів і від того, як вона буде виконана, залежать захисні властивості систем покриттів, їх довговічність і зовнішній вигляд.

Основною вимогою високоякісного фарбування є ретельна підготовка поверхні. На зовнішній поверхні виробів, що поступили, є раніше нанесений шар ґрунтовки, в процесі складання він забруднюється і на окремих ділянках руйнується.

Перш ніж приступити до фарбування, поверхні промивають 3 % водним розчином нейтрального мила, а потім чистою водою, після сушки їх протирають чистими серветками, змоченими бензином БР-1 з антистатичною добавкою «Сигбол» у кількості 0,002 %. Скло ретельно покривають розчином полівінілового спирту, оскільки при попаданні на нього пари розчинників можуть з'явитися дрібні тріщини. Інші поверхні, що не підлягають нанесенню покриття, ізолюють папером і липкими стрічками.

Після проведення ізоляції на поверхнях, що фарбуються, відновлюють шар ґрунтовки. Фарбування проводять фарборозпилювачами з фарбоагнітальних бачків. Потім наносять на

всю поверхню виробу тонкий шар акрилової ґрунтовки. Після висихання ґрунтовки наносять два шари емалі, передбачені системою покриття для даного виробу.

Нанесення кожного шару емалі проводять без перерви, без поспіху. У разі нанесення емалі з перервами з'являються стикувальні місця, погіршуючі зовнішній вигляд. Після нанесення кожного шару покриття оглядають і усувають виявлені дефекти: потьоки, матові плями, шорсткість та ін. Матові плями і незначна шорсткість можуть бути усунені нанесенням розбавлювача, вживаного для розбавлення нанесеного покриття. Якщо цим способом не вдається зняти шорсткість, то такі ділянки на першому шарі покриття видаляють легким шліфуванням дрібнозернистою шкіркою, цим же способом видаляють і невеликі підтікання. Перед нанесенням кожного подальшого шару ґрунтовки або емалі попередній шар необхідно ретельно протерти від барвистого пилу, що осів, чистими серветками. Сушка ґрунтовки і емалі проводиться при температурі приміщення.

Після фарбування і сушки наносять пізнавальні знаки, номери, інформацію та інші написи. Розташування їх, розмір, колір встановлюються кресленням.

Для розмітки пізнавальних знаків, номерів та інших позначень використовують шаблони з різних матеріалів, найчастіше з тонкого листового алюмінію. Нанесення самого позначення проводять фарборозпилювачем з верхнім боком, у деяких випадках дрібні написи наносять по трафарету кистю.

11.3. Технологічні операції при нанесенні лакофарбових покриттів

ґрунтовка. Застосування тієї або іншої ґрунтовки визначається в основному видом матеріалу (метал, деревина, пластмаси та ін.), що захищається, умовами експлуатації, а також маркою покривних емалей, що наносяться, фарб і можливістю застосування гарячої сушки.

Зчеплення (адгезія) шару ґрунтовки з поверхнею визначається якістю її підготовки, поверхня не повинна мати забруднень, особливо жирових.

Процес фарбування повинен бути організований так, щоб після підготовки поверхні вона відразу ж була заґрунтована, оскільки при великих перервах між закінченням підготовки і ґрунтовкою, особливо

чорних металів, поверхня окислюється та забруднюється. Якщо з технологічних або інших причин поверхня після підготовки не була заґрунтована, то перед ґрунтовкою її треба знежирити і очистити від оксидів.

Ґрунтовки не можна наносити товстими шарами. Їх наносять рівномірним шаром товщиною 12...20 мкм, а фосфатуючі ґрунтовки – товщиною 5...8 мкм. Дерев'яні поверхні покривають товщим шаром, оскільки частина ґрунтовки дифундує в пори деревини.

Нанесення ґрунтовок проводять усіма різними способами, але найчастіше розпилюванням на великі поверхні. Для отримання шару ґрунтовки з хорошими захисними властивостями, що не руйнується при нанесенні шпаклювання або емалі, його необхідно висушити, але не пересушувати. Режим сушки ґрунтовки вказаний у нормативно-технічній документації, за якою проводять фарбування даних виробів. При пересушуванні деяких ґрунтовок (феноломасяляних, алкідних, епоксидних та ін.) різко погіршується зчеплення з ними покривних емалей, що наносяться і особливо швидко сохнуть (нітроцелюлозні, перхлорвінілові та ін.).

Шпаклювання. На поверхнях деталей можуть бути вм'ятини, невеликі поглиблення, раковини, несучільність у місцях стиків, подряпин та інші дефекти, які закладають нанесенням на поверхню шпаклівок.

Шпаклювання сприяє значному поліпшенню зовнішнього вигляду покриттів, але оскільки містить велику кількість наповнювачів і пігментів, то погіршує механічні властивості, еластичність та вібростійкість покриттів.

Шпаклювання застосовують у тих випадках, коли іншими методами (підготовкою, ґрунтовкою та ін.) неможливо видалити дефекти поверхонь.

Вирівнювання поверхонь проводять декількома тонкими шарами, наприклад, при використанні нітроцелюлозних або перхлорвінілових шпаклівок товщина окремих шарів повинна бути не більше 0,2 мм, а при використанні інших шпаклівок – не більше 0,5 мм. Нанесення кожного подальшого шару виконують тільки після повного висихання попереднього. Загальна товщина швидковисихаючих шпаклівок не повинна бути більше 0,5...0,6 мм. Епоксидні шпаклівки, що не містять розчинників, допускається наносити завтовшки до 3 мм. При нанесенні шпаклівок товстими

шарами висихання їх протікає неправильно, що приводить до розтріскування шпатлювання і відшарування шару забарвлення.

Шпаклівку наносять на заздалегідь заґрунтовану і добре просушену поверхню. Для поліпшення зчеплення з ґрунтовкою проводять обробку заґрунтованої поверхні наждачною шкіркою з подальшим видаленням продуктів зачистки. Спочатку проводять шпаклювання найбільш значних поглиблень і нерівностей, потім шпаклювання сушать і обробляють шкіркою, після чого проводять шпаклювання всієї поверхні.

Шпаклівку наносять на поверхню методом пневматичного розпилювання, механічним або ручним шпаклюванням. Для нанесення шпаклівки розпилюванням застосовують фарборозпилювач типу РШ з діаметром сопла 6 мм, їм можна наносити шпаклівки високої в'язкості і одержати шар великої товщини.

Шліфування. Для видалення із зашпатльованої поверхні шорсткостей, нерівностей, а також смітинок, частинок пилу та інших дефектів проводять шліфування. Для шліфування застосовують різні абразивні матеріали у порошкоподібному вигляді або у вигляді абразивних шкірок і стрічок на паперовій та тканинній основі.

Полірування. З метою підвищити або додати всій забарвленій поверхні рівномірний дзеркальний блиск проводять полірування. Для полірування використовують спеціальні полірувальні пасти. Ними можна полірувати алкідні, мочевино- та меламіно-алкідні, нітроцелюлозні та інші покриття.

11.4. Види та характер руйнування лакофарбових покриттів

Літальні апарати в процесі експлуатації піддаються діям сонячної радіації, вологи, тепла, холоду, агресивних рідин, механічних навантажень і т.ін.

Кожний з поверхневих факторів окремо і тим більше всі разом, а також швидка зміна їх дії викликають ті або інші зміни в плівці ЛФП, старіння та руйнування.

У залежності від призначення та місця знаходження ЛФП на літаках, гелікоптерах до них висуваються різні вимоги: для покриття швів гідролітаків – довготривала стійкість до води, для покриття зовнішніх поверхонь планера – стійкість до атмосферної дії, для

покриття обтікаючих – вологопроникність та стійкість до ерозійних дій і т.ін.

Усі види ЛФП, які використовуються при фарбуванні літаків, повинні довготривало та надійно захищати їх від корозії.

Старіння ЛФП під дією атмосферних факторів виражається в тому, що покриття стає крихким і при незначних деформаціях розтріскується, в результаті чого порушується адгезія лакофарбового матеріалу (ЛФМ) з пофарбованою поверхнею. На таких покриттях з'являються різні вади, які допомагають корозії руйнувати метал: з'являється матовість, меління, змінюється вага покриття, погіршується адгезія. Руйнуються ЛФП в результаті зношувальної дії на них піска, дрібних частинок при злеті та посадці. Швидко старіння може бути обумовлене використанням невідповідного ЛФМ та недотриманням технологічного процесу фарбування. Виділяють такі види руйнувань ЛФМ:

- меління;
- вивітрювання;
- розтріскування;
- поява солі;
- корозія.

Мелінням називається процес поверхневого руйнування пігментного ЛФП, який проходить за допомогою фотохімічного процесу, котрий супроводжується утворенням вільних частинок пігменту, що легко видаляються з поверхні. Найбільш схильні до меління покриття світлих кольорів (світло-сіре, світло-голубе), до складу яких входить велика кількість цинкового та титанового білило. Менш схильні до меління покриття зеленого кольору, які мають як пігмент двоокис хрому. Найбільш стійкими є покриття, які вміщують як основний пігмент алюмінієву пудру, яка добре відбиває сонячні промені, а також знижує волого-проникність покриття.

Вивітрюванням називається процес руйнування ЛФП у результаті дії повітряного потоку, який викликає зношення верхнього шару покриття. Найбільший ступінь вивітрювання характеризується оголенням ґрунту або металу.

Розтріскування є наслідком втрати покриттям механічної міцності в результаті його старіння. При цьому виникають тріщини та сітка.

Відшарування відбувається в результаті порушення зчеплення ЛФП з фарбованою поверхнею або з нижнім шаром фарби (ґрунту).

Відшарування є результатом поганої підготовки поверхні перед фарбуванням.

Сіль виникає на поверхні покриття, головним чином, під дією вологи і при її проникненні під плівку.

Корозія. Поява продуктів корозії на поверхні покриття, наприклад, бурих або темно-коричневих крапок, плям на пофарбованій деталі, говорить про руйнування фарбованого металу. Утворення корозії під лакофарбовою плівкою може бути викликано незадовільною підготовкою поверхні, внаслідок чого проходить погане щеплення покриття з металом, або недостатніми захисними властивостями покриття.

Крім руйнування на лакофарбовій плівці в процесі експлуатації можуть з'явитися інші дефекти, зокрема:

- втрата блиску (є одною з ознак початкової стадії руйнування поверхневого шару покриття внаслідок фотохімічних процесів);
- зміна кольору (відбувається в результаті фотохімічних процесів);
- бронзування (відбувається внаслідок міграції пігменту та характеризується появою кольору на поверхні ЛФП);
- білуватість (уявляє собою наліт на поверхні покриття, який утворюється в результаті фізико-хімічних процесів та дії вологи);
- брудотримання (здатність ЛФП витримувати на своїй поверхні механічне забруднення, яке не видаляється при промиванні водою).

11.5. Вибір виду відновлення лакофарбових покриттів

Вид відновлення ЛФП визначається в залежності від ступеня та характеру руйнування покриття. При визначенні виду ремонту необхідно керуватись наступним:

- якщо покриття має меління, вивітрювання, втрату блиску, зміну кольору, бронзування, білуватість, брудотримання, то покриття необхідно зачистити шліфувальною шкіркою (ґрунтове покриття не пошкоджувати), протерти сухою щіткою або салфетками, потім протерти салфетками, замоченими у бензині або уайт-спириті;
- якщо покриття має руйнування (розтріскування, відшарування, сіль, корозію) та за результатами дефектації підлягає повному або частковому змиванню, воно має бути повністю або частково (на

ділянках руйнування) відновлене. При цьому, якщо покриття зруйноване до ґрунтового шару, його краї потрібно зачистити шліфувальною шкуркою, не пошкодивши ґрунт, та опрацювати дану ділянку. На опрацьовану ділянку потрібно нанести емаль відповідної марки та кольору.

У багатьох випадках є потреба повної заміни ЛФП. Така необхідність виникає після довготривалої експлуатації виробу, коли ЛФП по всій поверхні притерпіли значних змін і втратили свої властивості, при капітальному ремонті і т.ін. У таких випадках старі ЛФП повністю видаляються.

11.6. Технологічні процеси видалення старих лакофарбових покриттів

Для зняття ЛФП з деталей АТ разом з хімічним методом, при якому використовуються як різні по складу змивки, так і різне устаткування (пересувні валикові кисті, вакуумні та вакуумно-вихрові установки), знаходять застосування також аерозольно-гідродинамічний, криогенний, лазерний та інші методи.

У авіаремонті використовуються змивки СНБ-9М, СИФХ-3, АФТ-1 та АС-1. Змивка АФТ-1 горюча і відрізняється низькою ефективністю при видаленні лакофарбових покриттів на основі епоксидних (емаль ЕП-140) та акрилових (ґрунтовка АК-070, емаль АС-1115) плівкоутворювачів. Більш ефективна змивка АС-1. Оскільки хімічною промисловістю змивки СНБ-9М та СИФХ-3 не випускаються, вони використовуються в обмеженій кількості і готуються на місці споживання. Найбільш ширше застосовується змивка АС-1, що служить для зняття покриття із зовнішніх поверхонь літаків, з великогабаритних деталей методом занурення, для видалення покриттів на потоковій лінії, а також для промивки внутрішніх порожнин маслобаків.

Для зняття покриттів із зовнішніх поверхонь, наприклад із фюзеляжу, використовують змивку АС-1, що згущається парафіном або сумішшю парафіну з полівінілхлоридом. Змивку, що згущається, наносять на поверхню за допомогою волосяних кистей або механізованим інструментом і витримують протягом 1...5 год. залежно від числа шарів та стану ЛФП. Кірку старої фарби, що піднялася, змочують рідкою змивкою АС-1 за допомогою кистей або

фарборозпилювачів і видаляють кистями або дрантям на підкладений під фюзеляж непромокальний папір. Залишки зруйнованого покриття видаляють з поверхні струменем гарячої води.

З великогабаритних деталей (капотів, панелей) покриття видаляють у ванні занурення, в яку налита змивка АС-1. Ванна обладнана системою перемішування змивки за допомогою повітря. Деталі витримують у ванні протягом 1...3 год. залежно від стану лакофарбового покриття. Після відшаровування покриття деталі вивантажують з ванни, промивають гарячою водою з шланга під тиском, а потім проводять обдування сухим стислим повітрям.

За допомогою змивки АС-1 на механізованій потоковій лінії ЛП-1, із знімних деталей видаляють нагароутворення смоляних та масляних відкладень. Деталі завантажують у спеціальну корзину і автоматично проводять через наступні операції:

1) очищення від бруду в струменевій машині за допомогою 1,5%-го розчину синтетичних миючих засобів (СМЗ) «Поляна» або «Вертолін-74» при температурі 80...90 °С протягом 15...30 хв.;

2) промивка у віброванні з проточною водою при температурі 80...90 °С протягом 15 хв.;

3) видалення покриттів у віброванні змивкою АС-1 з добавкою 3% олеїнової кислоти при кімнатній температурі протягом 15 хв.;

4) промивка проточною гарячою водою у віброванні при температурі 80...90 °С протягом 15 хв.;

5) промивка розчинами СМЗ концентрацією 60...80 г/л у віброванні при температурі 80...90 °С протягом 15...30 хв.;

6) промивка 0,5%-м розчином СМЗ у струменевій машині при температурі 80...90 °С протягом 15 хв.;

7) обдування сухим стислим повітрям із підігрівом;

8) знежирення.

Дві останні операції здійснюються на виході із струменевої машини.

Рідка змивка АС-1 також використовується для зняття забруднень з внутрішніх поверхонь маслобаків. З цією метою всі отвори бака перед промивкою закривають заглушками. Потім через горловину заливають змивку АС-1 на 1/3 місткості бака. Щільно закривають кришку горловини і поміщають баки на спеціальний стел. Баки промиваються на стелі протягом 2...5 год. залежно від густини забруднень. Після закінчення промивки змивку зливають у місткість-накопичувач, а баки промивають гарячою водою з шланга під

натиском. При необхідності проводять додаткову промивку змивкою або розчинами СМЗ і завершальну промивку гарячою водою. Потім маслобаки витримують у сушильній шафі протягом 5...8 год.

Фірма Munk&Schmitz (Німеччина) рекомендує склад Paintblast для зняття епоксидних покриттів гарячої сушки з алюмінієвих та магнієвих сплавів, з пластмасових та скло-пластикових поверхонь, армованих вуглецевими волокнами. У методі очищення поєднується дія хімічного розчину з температурою 20°C і механічна дія струменем абразивного матеріалу.

Для видалення покриттів з конструкцій складної конфігурації або поверхонь з орнаментом, різьбленням застосовується змивка Peel Away. Змивка поставляється у вигляді пасти, яку наносять на забарвлену поверхню кистю або розпилювачем. Потім поверхню покривають поліетиленовою плівкою або щільною волоконною тканиною і залишають до тих пір, поки покриття не руйнуватиметься. Після цього плівку або тканину знімають разом з фарбою, а поверхню промивають водою.

Ванни занурення. При видаленні лакофарбових покриттів за допомогою лужних змивок та змивок на основі органічних розчинників широко використовуються ванни занурення. У НВО «Лакокраспокритие» розроблені ванна занурення та мийна камера, які входять в агрегат для очищення підвісок за допомогою лужних змивок. Схема ванни показана на рис. 11.1.

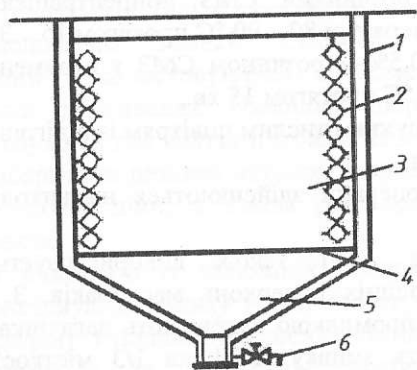


Рис. 11.1. Схема ванни з гарячим лужним розчином: 1 – термоізоляційний шар; 2 – обігрів; 3 – лужний розчин; 4 – ґратка; 5 – зона збору шлам; 6 – запірний клапан

Ванна є сталеву тепло ізолювану ємністю з кришкою, паровим змійовиком і контейнером для підвісок, в якому є отвори для перемішування робочої рідини стислим повітрям. Чищення ванни та видалення забрудненого шару рідини виконується через люк і кишеню з переливною трубою.

Технічна характеристика ванни:

Максимальні розміри контейнера, мм	1100x500x700
Максимальна витрата пари при тиску 0,4 МПа на розігрівання, кг	305
експлуатаційний, кг/с	$5,5 \cdot 10^{-3}$
Витрата стислого повітря при тиску 0,2 МПа, м ³ /с	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Кількість повітря, що відсасується, м ³ /с	1,2
Встановлена потужність, кВт	2,2
Габарити, мм	26800x2500x1650
Маса, кг	2225

У разі застосування змивок у ваннах занурення не рекомендується вводити у змивки більше 10% органічних кислот, щоб не викликати корозію ванни.

Технічна характеристика мийної камери:

Максимальний розмір контейнера, мм	1100x500x700
Максимальна витрата пари на розігрівання, кг	165
Витрата стислого повітря при тиску 0,4 МПа, м ³ /с	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Кількість повітря, що відсмоктується, м ³ /с	1
Встановлена потужність, кВт	7,7
Габарити, мм	3965x5000x2975
Маса, кг	5330

Для видалення лакофарбових покриттів при ремонті літаків за допомогою змивки АС-1 застосовується віброструменева ванна ВСВ-1500. На видаленні ЛФП у ваннах занурення спеціалізується фірма Ernst Kuper (Німеччина). Для цієї мети фірма випускає 800...1000 т змивок у місяць. Застосовується комбінований метод холодного та гарячого видалення ЛФП. Об'єм ванн для гарячого видалення покриттів становить 120 м³, для холодного – 32 м³. Фірма використовує замкнений цикл, при якому відсутнє скидання стічних вод. Усі ванни сконструйовані таким чином, що промивна вода може циркулювати, а через циклічні інтервали очищення у ванни додається чиста вода. Віджати від рідких компонентів шлам у кількості 70 т у

місяць спалюється. Одержана при спалюванні шламу енергія використовується на тому ж підприємстві.

Видалення з виробів лакофарбових покриттів у ваннах занурення може бути суміщене з іншими процесами підготовки поверхні перед фарбуванням. Так, на одному з підприємств фірми Scamell Motors (США) чередування операцій очищення поверхні від старих покриттів лужними розчинами, промивки, фосфатування та хроматування поверхні закінчуються операцією нанесення порошкової епоксидно-поліефірної фарби.

11.7. Характеристики лакофарбових матеріалів для відновлення лакофарбових покриттів

Залежно від складу та призначення ЛФМ підрозділяються на ґрунтовки, фарби, емалі, лаки, шпаклівки.

Ґрунтовки являють собою пігментовий розчин плівкоутворювачів в органічних розчинниках.

Основним призначенням ґрунтовок є забезпечення високої міцності зчеплення з поверхнею виробу та з наступними шарами ЛФП, а також зробити протикорозійний шар відносно до поверхні, яка фарбується. При виборі ґрунтовки враховуються особливості поверхонь фарбування та природа ЛФМ, що будуть нанесені на ґрунтовку. У випадку використання ґрунтовки, не передбачуваної для даного матеріалу, та ЛФП, не призначених для нанесення по даній ґрунтовці, можна чекати не тільки незадовільного зчеплення між окремими шарами покриттів, але в деяких випадках підсилення корозії від дії пігментів, які знаходяться в ґрунтовці, наприклад, при нанесенні ґрунтовки, яка зберігає свинцевий сурик, на алюмінієві сплави. Свинцевий сурик прискорює корозію алюмінію.

В авіабудуванні використовуються ґрунтовки головним чином хроматні, що пояснюється здатністю зберігаючих в них пігментів, так званих храків, частково розчинятись при проникненні вологи в шар ґрунтовки. Хромати, які розчинилися пасивують метал, завдяки чому він стає більш стійким до корозії.

Шпаклівки являють собою густі пасти, які складаються з плівкоутворюючої основи, наповнювачів та пігментів. Вони використовуються для заповнення нерівностей на поверхні виробу, щоб придати необхідну форму. Зі збільшенням товщини шару шпаклівки

понижуються фізико-механічні характеристики покриття, що пояснюється малою еластичністю внаслідок використання в шпаклівках великої кількості наповнювачів та пігментів.

Лаки являють собою розчин плівкоутворюючої речовини в органічних розчинах. Для покращення еластичності лакових плівок, збільшення їх світлостійкості в деякі лаки на основі синтетичних смол та ефірів целюлози вводять пластифікатори, світлостабілізатори, антистатика та інші добавки. Лаки використовуються для утворення прозорих покриттів, а при нанесенні по шару емалевого покриття збільшують його блиск.

Масляні фарби являють собою пасти, які складаються з пігментів або з розчину пігменту та наповнювача, замішаних на оліфі або рослинних маслах та перетертих на фарбо-терці. Перед використанням густо-терті пасти розводять до робочої в'язкості натуральними або гліфталевами оліфами.

Емалі – це пігментовані лаки. Як правило, їх наносять на передчасно заґрунтованих поверхнях, а в деяких випадках на зашпакльовані. Основним їх призначенням є захист, одночасно з ґрунтовками, виробів від корозії та придання їм потрібного декоративного вигляду.

Всі ЛФМ розділені на групи в залежності від входять в їх склад основних плівкоутворювачів. Умовні позначення кожної, встановлені ГОСТ 9825-73, показані у табл. 11.1. Вони допомагають швидко встановити, на якій основі виготовлений даний ЛФМ. У співвідношенні з цим же стандартом основні ЛФМ (лаки, емалі, фарби) за призначенням діляться на групи, які показані в табл. 11.2.

Для позначення ЛФМ використовується літерно-цифрова система. Літери вказують, до якої групи відноситься даний ЛФМ, перша цифра вказує на призначення матеріалу, інші цифри показують порядковий номер ЛФМ; ґрунтовки показують цифрою 0, шпаклівки – 00.

Наприклад:

Ґрунтовка ГФ-031 – гліфталева (ГФ), ґрунтовка (0), порядковий номер 31;

Емалі АС-1115 – сополімеро-акрилова емаль (АС), атмосферостійка (1), порядковий номер 115.

У табл. 11.1 занесено тільки ЛФМ, які широко використовуються для фарбування літаків та гелікоптерів. Вони відрізняються від широковживаних у різних галузях народного господарства доброю

адгезією до кольорових металів, високою атмосферною та експлуатаційною стійкістю до перепадів температур, різним маслам та паливу (бензину, газу) і т.п. Тому рекомендовані для фарбування АТ ЛФМ не можуть замінюватись іншими матеріалами без передчасних довготривалих та серйозних випробувань.

Таблиця 11.1

Умовні позначення груп ЛФМ

Група лакофарбових матеріалів	Умовні позначення групи
Глифталеві	ГФ
Пектафталеві	ПФ
Меламінні	МЛ
Мочевинні	МЧ
Фенольні	ФЛ
Фенолоальгідні	ФА
Епоксидні	ЕП
Кремнійорганічні	КО
Алкідно та масляно-стирольні	МС
Поліуретанові	УР
Поліакрилові	АК
Алкідно-акрилові	АС
Полівінілацетатні	ВЛ
Перхлорвінілові	ХВ

Таблиця 11.2

Позначення покриттів ЛФМ по переважному призначенні

Група лакофарбових матеріалів	Позначення групи
Атмосферостійкі	1
Гранично атмосферостійкі	2
Водостійкі	4
Спеціальні	5
Маслобензостійкі	6
Хімічно стійкі	7
Термостійкі	8
Електроізоляційні	9
Ґрунтовки	0
Шпатлівки	00

Надійний захист виробів від корозії ЛФП, довговічність покриттів з довготривалим збереженням гарного зовнішнього вигляду залежить від багатьох факторів, серед яких властивості ЛФМ та покриттів мають важливе значення.

В'язкість є одною з важливих властивостей ЛФМ, від неї залежить здатність матеріалу до нанесення на поверхню, уникнення підтікань, розливу матеріалу і т.п. Кожний ЛФМ залежно від способу нанесення повинен мати відповідну робочу в'язкість. Для доведення ЛФМ до потрібної робочої в'язкості використовують різні розчинники та розбавлювачі.

Висихання. Висиханням називають процес перетворення рідкого ЛФМ, нанесеного на поверхню, в сухе тверде покриття. Час висихання залежить головним чином від плівкоутворювача, температури навколишнього повітря, його вологості, товщини нанесеного шару покриття.

Розлив ЛФМ характеризує здатність їх розтікання на поверхні, на яку вони нанесені, утворюючи рівну шорстку плівку.

Вкривність – це здатність фарби при рівномірному нанесенні на поверхню робити невидимим колір цієї поверхні. Чим менше потрібно для цього фарби, тим вище її вкривність, та навпаки.

Еластичність – здатність покриття повторювати рух або деформацію підложки без розтріскування та відслоювання.

Твердість ЛФП характеризує здатність покриття чинити опір проникненню або вдавленню в нього твердого тіла.

Міцність покриття характеризує стійкість до механічних ударів.

Адгезія – це здатність ЛФП міцно прилипати до поверхні фарбування. Адгезія є одним з найбільш важливих показників, визначаючих захисні властивості покриття та терміни його служби. Не маючи високої адгезії, покриття не можуть мати високих захисних властивостей.

У табл. 11.3 наведені матеріали, які застосовуються при відновленні лакофарбових покриттів при ремонті АТ.

11.8. Методи нанесення лакофарбових покриттів

Вибір способу нанесення лакофарбового матеріалу на поверхню фарбування залежить від наступних факторів: рецептури ЛФМ, конструкції деталі або виробу, об'єму виробництва, вимог з якості

нанесення покриттів. Нижче дана характеристика основних методів нанесення ЛФМ. Всі вони мають свої переваги та недоліки.

Фарбування способом контактного переносу вимагає обов'язкового використання інструмента, в процесі роботи якого ЛФМ, який наноситься, розміщується між його робочою поверхнею та поверхнею фарбування виробу і проводиться за допомогою щітки, шпателя, валиків та вальців. Фарбування способом контактного переносу є неперспективним та малопродуктивним (10...15 м²/г). Цей спосіб в основному придатний для нанесення повільно висихаючих ЛФМ (алкідних, масляних, бітумних). Але він забезпечує отримання найбільш високоякісних покриттів при фарбуванні тканинних обшивок та дерева, тому що в результаті механічної дії ЛФМ заповнює всі порожнини, які знаходяться на поверхні фарбування.

Фарбування зануренням полягає у зануренні виробу в ванну з лакофарбовим матеріалом з наступним підйомом з ванни для видалення надлишку ЛФМ з його поверхні та сушіння покриття. Необхідні умови якісного фарбування зануренням – добра змочуваність поверхні фарбування ЛФМ, який наноситься. Найбільш рівномірні покриття при фарбуванні зануренням отримують у тому випадку, коли фарбований виріб після підйому з ванни протягом 5...15 хв витримується в парах розчинника, а напливи з нижніх кромek видалюються в електростатичному полі.

Не дивлячись на можливість використання простого обладнання та практично повної механізації, у фарбування зануренням існує ряд суттєвих недоліків: неможливість нанесення товстих шарів; неможливість використання швидковисихаючих та гранично життєздатних ЛФМ; неможливість якісного фарбування складних поверхонь та виробів з внутрішніми порожнинами; необхідність використання великих об'ємів фарби; неможливість багатокольорового фарбування виробів.

Фарбування зануренням з використанням постійного електричного струму отримало назву електроосад. Фарбування електроосадам полягає у зануренні виробу, що фарбується, у ванну з лакофарбовим матеріалом на основі водорозчинного плівкоутворювача та підключенні цього виробу до одного з полюсів джерела постійного струму (анод), а корпусу ванни – до іншого полюса (катод).

Таблиця 11.3

Матеріали для відновлення лакофарбових покриттів

Лакофарбові покриття і матеріали	Розчинники	Робоча в'язкість за віскозиметром ВЗ-4 при нанесенні		Призначення матеріалу
		щіткою	фарбо-розпилювачем	
Грунт АК-069 (раніше був АГ-3А) (МРТУ 6.10-899-74)	Р-5 (ГОСТ 7827—74) або № 648	20—24	12—18	Для ґрунтовки виробів з алюмінієвих сплавів
Грунт АК-070 (раніше був АГ-10С) (ГОСТ 6.10-899—74)	Р-5 (ГОСТ 7827—74) або № 648	20—24	12—18	Для ґрунтовки сталевих і магнієвих сплавів
Грунт ФЛ-86 (раніше був АЛП-14) (ГОСТ 16302-70)	Ксилол або сольвент кам'яновугільний або суміш ксилола, сольвента з уайт-спиритом у співвідношенні 1:1	60—80	16—24	Для ґрунтовки сталевих деталей і трубопроводів паливної, масляної, гідроповітряної систем

Продовження табл. 11.3

Лакофарбові покриття і матеріали	Розчинники	Робоча в'язкість за віскозиметром ВЗ-4 при нанесенні шпінкою		Призначення матеріалу
		фарбо-	розпи- люва- чем	
Емаль сіро-блакитна ХВ-16 ТУ 6.10.3101-75	Р-5 (ГОСТ 7827—74)	20—40	14—18	Для фарбування внутрішніх та зовнішніх поверхонь ферозелю
Емаль біла ХВ-16 ТУ 6.10.310-75	Р-5 (ГОСТ 7827—74)	20—40	14—18	Для фарбування внутрішніх та зовнішніх поверхонь ферозелю
Емаль чорна КО-822 (раніше була К-2) МРТУ 6.10.848-69	Р-5 (ГОСТ 7827—74)		16—20	Для фарбування екранів і залізів крила
Емаль ПФ-223 (ГОСТ 14923—69)	Ксилол або ксилобензин (1:1) або ксилол-уайт-спірит (1:1)	60—80	20—40	Для фарбування різних деталей і трубопроводів
Лак АК-ПЗ	Р-5 (ГОСТ 7827—74)		12—14	Для фарбування тканинних покриттів
Лак АІН				Для пропитування тканинних покриттів

Закінчення табл. 11.3

Лакофарбові покриття і матеріали	Розчинники	Робоча в'язкість за віскозиметром ВЗ-4 при нанесенні шпінкою		Призначення матеріалу
		фарбо-	розпи- люва- чем	
Лак НЦ-551				Для пропитування тканинних покриттів
Змивка АФТ-1 або СД або СНБ-9				Для видалення старого лакофарбового покриття
Ацетон (ГОСТ 2603—71)				Для промивки поверхонь деталей після видалення лакофарбового покриття
Розчинник Р-5 (ГОСТ 7827—74)				Для протирання тканинного покриття після змиву
Шкірка шліфувальна №4, 5, 6, 7, 8				Для підготовки і зачистки поверхонь.
Алюмінієва пудра ПАП-2 (ГОСТ 5494—71)				Застосовується як пігментуюча добавка для ґрунтів та емалей

Лакофарбові матеріали, які використовуються для електроосаду, повинні мати такі специфічні властивості: стабільність розбавлених водяних розчинів; однакову швидкість осаду плівкоутворювачів та пігментів-наповнювачів; спроможність розсіяння, яка характеризує можливість отримання покриття рівної товщини на виробках складної конфігурації, питому електропровідність, достатню для проходження електричного струму при напругах 30...60 В або 150...350 В.

Переваги фарбування електроосадом такі:

- висока адгезія покриття до поверхні фарбування;
- висока рівномірність покриття на товщині;
- висока продуктивність;
- можливість регулювання товщини покриття;
- автоматичний контроль якості підготовки поверхні перед електроосадом;
- значне покращення умов праці та зменшення пожежної небезпеки;
- можливість автоматизації процесу;
- можливість фарбування виробів різних розмірів та груп складності.

Основні недоліки, що обмежують використання способу електроосаду, такі:

- необхідність використання тільки водорозчинних ЛФМ, що різко зменшує номенклатуру утворення плівки;
- неможливість отримання якісного покриття товщиною більше 35 мкм;
- необхідність використання складного обладнання та великих виробничих площ;
- неможливість ґрунтування деталей, які мають неорганічні захисні плівки з високим електроопором або виготовлених з металу з великою анодною розчинністю;
- неможливість багатокольорового фарбування виробів.

Фарбування поливанням полягає у нанесенні лакофарбового матеріалу на поверхню фарбування ламінарними струменями або широким плоским струменем, який перебиває всю ширину деталі.

Фарбування поливанням, як і фарбування зануренням, може здійснюватись з використанням і без використання електричного струму.

Під час фарбування поливанням з використанням постійного електричного струму анодом є виріб, що фарбується, а катодом –

обливаючий пристрій. Всі процеси, які протікають на аноді при цьому способі фарбуванні ті ж, що й у випадку фарбування електроосадом у ваннах.

У той же час при струминному нанесенні покриття потрібно в декілька разів менше ЛФМ, ніж при нанесенні у ваннах.

Однак цьому способу притаманний ряд суттєвих недоліків:

- неможливість отримання якісного вигляду покриття;
- неможливість використання швидковисихаючих і гранично життєздатних лакофарбових матеріалів;
- неможливість якісного фарбування складних поверхонь та виробів з внутрішніми порожнинами;
- неможливість багатокольорового фарбування виробів;
- підвищені витрати розчинника (при фарбуванні з наступною витримкою у парах розчинника);
- необхідність використання великих виробничих площ.

Фарбування розпилюванням – найбільш прийнятний спосіб для фарбування зовнішньої поверхні літака.

При фарбуванні розпилюванням рідкий лакофарбовий матеріал диспергується на мілкі краплини, які під дією зовнішніх сил переносяться від диспергуючого пристрою до поверхні фарбування та закріплюється на ній. Залежно від механізму диспергування ЛФМ, способу переміщення його крапель до поверхні фарбування розрізняють такі способи фарбування розпилюванням:

- пневматичне розпилювання;
- безповітряне розпилювання;
- розпилювання в електричному полі.

До недоліків пневматичного розпилювання потрібно віднести великі витрати ЛФМ і важкі умови праці. Мінімальні витрати реалізуються при розпилюванні в електричному полі, але при цьому методі важко отримати лакофарбове покриття однакової товщини внаслідок нерівномірного розподілу потенціалу по поверхні виробу. В авіаційній промисловості широко використовують метод безповітряного розпилювання.

Сутність методу полягає у розпилюванні ЛФМ за рахунок перетворення його потенціальної енергії в кінетичну при виході зі спеціального розпилюючого пристрою. На відміну від пневматичного розпилювання при фарбуванні безповітряним (гідродинамічним) розпилюванням диспергування ЛФМ здійснюється за рахунок його виходу з розпилюючого пристрою під високим тиском, який сягає

25 МПа. При виході ЛФМ з великою швидкістю з отвору сопла в його струмені виникає пульсація, яка викликає деформацію струменя та його дроблення, що супроводжується одночасним та швидким випарюванням частини розчинника та дією сил поверхневого натягу. В результаті утворюється направлений факел, в якому зберігаються краплі різного діаметра.

При правильному виборі геометричних параметрів сопла, тиску та в'язкості ЛФМ може бути отриманий дрібнодисперсний факел з меншою концентрацією розпиленних частинок у периферії та розміром відбитку на поверхні фарбування в інтервалі 100...500 мм.

Використання безповітряного розпилювання ЛФМ забезпечує більш високу продуктивність праці порівняно з пневматичним при тій самій витраті ЛФМ, зменшення невиробничих витрат ЛФМ на туманоутворення (10...15%), пониження витрат розчинників та зменшення кількості шарів, які наносяться, завдяки можливості нанесення більш в'язких матеріалів, значне покращення санітарно-гігієнічних умов праці та зменшення потужності припливно-витяжного вентилявання завдяки меншому туманоутворенню.

Для використання безповітряного розпилювання керуються рекомендаціями, наведеними в табл. 11.4, та застосовують спеціальні установки (рис. 11.2, 11.3).

Безповітряне розпилювання найбільш ефективно при фарбуванні середніх і особливо великих виробів, що мають суцільну плоску або об'ємну обтічну форму з плавною кривизною. Цим способом можна наносити ЛФМ на основі різних плівкоутворювачів з робочою в'язкістю до 40 с при 18...23 °С і одержувати покриття товщиною 25...30 мкм за одну технологічну операцію.

При нанесенні методом безповітряного розпилювання підігрітих фарб покриття, що утворюються, мають кращий зовнішній вигляд, чим без підігріву, проте використання таких установок ускладнене.

Установки безповітряного розпилювання (УБР) лакофарбових матеріалів випускаються декількох типів з підігрівом і без підігріву. У вітчизняній промисловості експлуатуються в основному УБР без нагріву, вони простіші в конструктивному відношенні, компактніші та надійніші. Є два типи таких установок, що відрізняються в основному компоновкою вузлів.

До першого типу відносять установки, в яких насос закріплений на місткості (баку) і занурений у ЛФМ. Ці установки дуже компактні, їх можна легко переносити або пересувати. Такі установки з місткістю

баків 20, 30, 60 л використовують переважно в несерійному виробництві, коли витрата ЛФМ порівняно невелика.

Таблиця 11.4

Технологічні параметри безповітряного розпилювання без підігріву деяких матеріалів

Лакофарбові матеріали	Робоча в'язкість за ВЗ-246, с	Робочий тиск, МПа	Товщина покриття, мкм	Розчинник
Грунтовки				
Алкідні ГФ-021, ГФ-0119	25-30	12-15	15-20	Ксилол + уайт-спірит (1:1)
Фенольні ФЛ-03К ФЛ-03Ж, ФЛ-086	28-45 25-30	12-15 12-15	15-30 20-25	Ксилол, сольвент Ксилол, сольвент Ксилол + уайт-спірит (1:1)
Сополімерно-вінілхлоридні ХС-010	30-40	15-20	30-40	Ксилол + 20% бутилацетата (1:1)
Емалі				
Алкідні ПФ-133 ПФ-115, ГФ-245, ПФ-1426	30-35 30-35	12-18 12-18	20-25 20-25	Ксилол, сольвент Ксилол, Ксилол + уайт-спірит (1:1)
Нітроцелюлозні НЦ-11, НЦ-246	25-35	14-16	20-300	Розчинник №646
Перхлорвінілові ХВ-16, ХВ124, ХВ-179	18-22	12-16	15-20	100% Р-4 (Р-5) + 7% сольвента

До другого типу відносять установки, що мають насоси, змонтовані окремо від бака на пересувному візку. Фарбу за допомогою шлангу можна засмоктувати з різних місткостей. Такі установки використовують при великих витратах ЛФМ у потоковому виробництві.

Установки безповітряного розпилювання випускають різних моделей. Широко застосовують установки «Радуга 1,2Б» та «Радуга 1,2П». Такі установки можуть бути виготовлені як першого, так і другого типу.

«Радуга 1,2Б» (рис. 11.2, а) має пневматичний двигун 1 з насосом високого тиску 4. Бак 6 встановлений на візку 5, у нього через горловину 8 заливається лакофарбовий матеріал, що перемішується

при роботі мішалкою 9. На корпусі двигуна установки закріплений щит керування з контрольно-вимірювальною і регулюючою апаратурою. Дві порожні стійки 2, що сполучають корпус пневмодвигуна з насосом, призначені для подачі лакофарбового матеріалу. До патрубку 3 однієї із стійок приєднано за допомогою накидної гайки 10 шланг високого тиску з фарборозпилювачем.

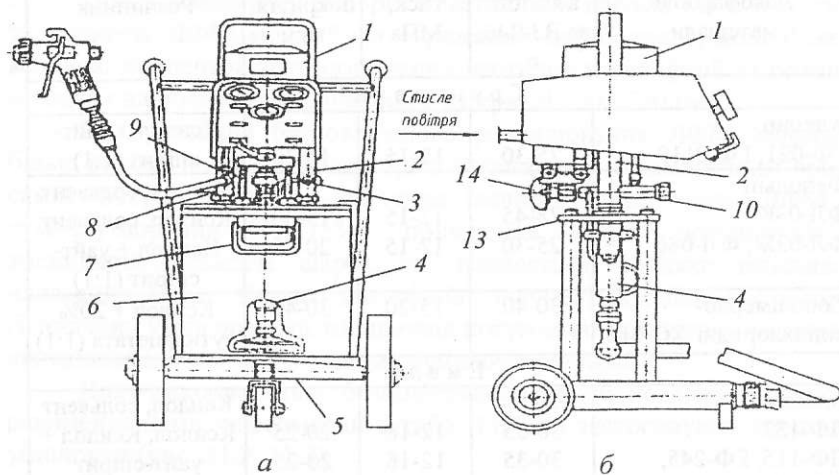


Рис. 11.2. Установка безповітряного розпилювання:

а – «Радуга 1,2Б» (вигляд спереду); б – «Радуга 1,2П» (вигляд збоку);
1 – пневматичний двигун; 2 – стійка; 3 – патрубок; 4 – насос високого тиску;
5 – візок; 6 – бак; 7 – замок ущільнення; 8 – горловина; 9 – мішалка; 10 – гайка
накидна; 11 – шланг всмоктувальний; 12 – фарбоприймальний патрубок;
13 – підставка; 14 – вентиль

«Радуга 1,2П» (рис. 11.2, б) конструктивно виконана так само, як «Радуга 1,2Б», але насос високого тиску з пневмодвигуном закріплений на підставці 13, що має два колеса для переміщення при роботі. Всмоктувальний шланг 11 із закріпленим на кінці патрубком 12, усередині якого знаходиться фільтр грубої очистки, сполучений з насосом 4. Якщо виникає необхідність у швидкому скиданні тиску, то відкривають вентиль 14 і ЛФМ із нагнітальної системи поступає у всмоктувальну.

Використовують також установку «ВІЗа-1» виробництва Чехословаччини (рис. 11.3). На кришці бака 9 закріплений

пневмодвигун 6, сполучений із завантажувальним насосом високого тиску 1.

На виході завантажувального насосу встановлений фільтр 2 грубого очищення. На кришці бака також закріплена пневматична турбіна 7, пов'язана з мішалкою і забезпечуюча її обертання. Стисле повітря подається до турбіни по шлангу 5 через розподільник повітря з краном.

Насос забезпечений мультиплікатором подвійної дії, що перетворює тиск поступаючого повітря 0,4...0,7 МПа у високий тиск на лакофарбовий матеріал 9...16 МПа.

При натисненні на пусковий гачок фарборозпилювача стисле повітря з магистралі через регулятор тиску 4, триходовий повітряний кран 8 поступає в привід 3 пневматичного циліндру двигуна і за допомогою механізму перемикавання перепускних та вихлопних клапанів викликає рух штока поршня і насоса, насос засмоктує з бака лакофарбовий матеріал і під високим тиском подає його по шлангу до фарборозпилювача. При звільненні пускового гачка поршень зупиняється і розпилювання припиняється.

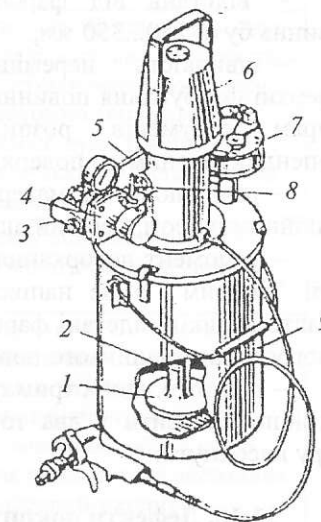


Рис. 11.3. Установка безповітряного розпилювання «ВІЗа-1»

11.9. Основні правила нанесення лакофарбових покриттів методами розпилювання

Наносити ЛФМ потрібно декількома тонкими шарами. Покриття одного шару не може бути надійним захистом від корозії через його пористість. Зменшувати кількість шарів за рахунок збільшення товщини забороняється, оскільки знижується міцність плівки, викликається її розтріскування, утворюються зморшки, підтікання. При нанесенні ЛФМ необхідно виконувати такі умови:

– перед початком оглянути фарборозпилювач, впевнитись у його справності. Конус голки фарборозпилювача не повинен виходити за

кромку передньої частини сопла, ЛФМ не повинен витікати при закритій голці сопла;

– відстань від фарборозпилювача до поверхні фарбування повинна бути 250...350 мм;

– швидкість переміщення фарборозпилювача паралельно поверхні фарбування повинна бути рівномірною в межах 14...18 м/хв, напрям струменів розпилюваного матеріалу повинен бути перпендикулярним до поверхні фарбування;

– розпилюваний матеріал потрібно наносити перехресним подвійним шаром, перший шар по вертикалі, другий – по горизонталі;

– у момент доторкання з поверхнею фарбування ЛФМ повинен бути "мокрим", а не напівсухим. Напівсухий шар може бути при занадто великій відстані фарборозпилювача від поверхні, а також при вологості навколишнього повітря або високої його температури;

– для того, щоб отримати необхідний ступінь захованості, фарбу потрібно наносити у два тонких шари, даючи можливість кожному шару висохнути.

11.10. Дефекти покриття, що виникають при нанесенні лакофарбових матеріалів

При нанесенні ЛФМ з ряду причин можуть виникати такі дефекти покриття (табл. 11.5).

Таблиця 11.5

Дефекти нанесення покриттів та причини їх виникнення

Дефекти покриття	Причини виникнення
Незадовільна адгезія (плівка ЛФМ не тримається на поверхні метала або нижче лежачому шарі)	Незадовільна підготовка поверхні: наявність на поверхні масла, води, корозії. Використовуваний невідповідний розчинник для розведення. Нанесений матеріал на гарячу або дуже холодну поверхню. Занадто велика товщина покриття, незадовільний стан ґрунтовки
Брудність покриття (чужі частинки на пофарбованій поверхні, поверхня нерівномірна та брудна)	Незадовільне очищення поверхні. Привнесення забруднень у процесі нанесення покриття, незадовільна чистота приміщення та обладнання. Попадання сміття в тару з ЛФМ. Незадовільна фільтрація матеріалу

Продовження табл. 11.5

Дефекти покриття	Причини виникнення
Стояки (напливи) фарби. Нерівномірність покриття	Покриття нанесено на брудну поверхню (масло і т.ін.) або на плівку, яка розчиняється та дає можливість зтікати верхньому шару. Велика кількість повільно випарюваного розчинника. Шар емалі дуже товстий та нанесений з малою вузькістю, неправильна форма факела розпилювача
Білуватість нітроцелюлозних покриттів	Внаслідок конденсату вологи на плівці з повітря з високою вологістю на ділянці фарбування
Розтріскування покриття	Використано покриття з малою еластичністю. Нанесений занадто товстий шар кінцевого покриття. Використаний невідповідний розчинник. Використаний доповнюючий обдув сирої плівки повітрям для прискорення висихання. Недостатньо перемішаний матеріал (порушено відношення пігмент-зв'язкове)
"Шагрень". Цим терміном характеризують вид покриття, поверхня якого нагадує апельсинову шкірку	Рідка фарба, яка нанесена на поверхню розпиленням, не має достатньої здатності до "розливу" для утворення гладкої плівки. Фарба повинна бути придатна до нанесення на вертикальні поверхні, тобто мати не дуже високу текучість, так як в протилежному випадку покриття буде мати напливи
Зморщування. Дефект характеризує появу багатьох зморшок на поверхні після повітряної або гарячої сушки	Надлишкова товщина покриття. Швидке затвердіння верхнього шару. Висока температура навкруги, надлишок компонента сикативу, який використовується для прискорення висихання ЛФМ
Вздуття покриття	Розчинювання в кінцевому шарі початкового нанесення шарів через незадовільну сушку. Використані несумісні ЛФМ та активні розчинники при кінцевому фарбуванні. Не повністю видалено старе покриття, перший шар нанесений на незнежирену поверхню

Закінчення табл. 11.5

Дефекти покриття	Причини виникнення
Вскипіння. Дефект характеризується наявністю на поверхні великої кількості пор	Дуже товстий шар плівки. Велика в'язкість ЛФМ. Малий час витримки покриття на повітрі
Утворення пухирців. Наявність кратерів із заглибленням у центрі	Залишилась волога між металом і ґрунтовкою або шарами. Стиснуте повітря має масло, воду

11.11. Перспективні атмосферостійкі системи лакофарбових покриттів для зовнішнього фарбування авіаційної техніки

Для зовнішнього фарбування АТ використовуються системи ЛФП з різних марок емалей на основі полімерних зв'язуючих та декілька марок ґрунтовок. Найбільш розповсюдженим є ЛФП на основі перхлорвінілової емалі ХВ-518, нітроцелюлозної емалі НЦ-1200 та меламінової емалі МЛ-12. Проте ні одне з цих покриттів у повній мірі не відповідає сучасним вимогам за двома основними показниками: стійкістю та довговічністю.

Аналіз світової практики показав, що починаючи з 70-х років у промислово-розвинених країнах практично повністю перейшли на використання для фарбування зовнішньої поверхні літака ЛФП на поліуретановій і фторполімерній основі, які мають найбільш високі експлуатаційні характеристики, стійкість до дії ультрафіолетове випромінювання, вологи та інших кліматичних і експлуатаційних факторів та забезпечують збереження робочих характеристик ЛФП на високому рівні на протязі достатньо довгого часу.

Особливу увагу заслуговують поліуретанові емалі компанії АДАФ (Голландія), на долю яких припадає 30...40% світових поставок ЛФП для авіакомпаній та наземної техніки і основний об'єм поставок для техніки зарубіжних країн.

У нашій країні розроблені та освоєні вітчизняною промисловістю поліуретанові емалі ХС-5146, УР-1180 та фторполімерна емаль ВІНІФТОР.

За допомогою лабораторних дослідів, порівнявши емалі компанії АДАФ та вітчизняні емалі, дійшли до висновку, що система покриття, розроблена фірмою АДАФ, як за стабільністю декоративних властивостей, так і по захисних властивостях значно краще вітчизняної системи.

З недавнього часу почали використовувати системи ЛФМ фірми Дюпон. За експлуатаційними властивостями вони не відрізняються від систем ЛФМ фірми АДАФ. Але з точки зору економічної вигоди використання систем фірми Дюпон значно дешевше.

У систему ЛФМ фірми Дюпон входять:

- двокомпонентний протравлювальний ґрунт 860R;
- двокомпонентний ґрунт з високим вмістом сухого залишку 1020R;
- двокомпонентна поліуретанова емаль з високим вмістом сухого залишку "Impron 700".

Приготування та підготовка таких ЛФМ базується на наступному:

1. Перед приготуванням або використанням винести ЛФП у тепле місце для прогріву до 15...30°C. Приготування проводити при працюючій приточно-витяжній вентиляції, вологості 40...75% та температурі 15...30°C.

2. Тара з ЛФП повинна бути щільно закрита, щоб не було попадання пилу та бруду. При відкритті необхідно розмішати матеріал мішалкою до рівномірного розподілу осілого пігменту.

3. Після введення затверджувача та розбавлювача проводиться перемішування та контроль в'язкості до утворення робочої в'язкості.

11.12. Методи випробування лакофарбових покриттів

Методи випробування фізико-механічних, антикорозійних, фізико-хімічних, радіотехнічних, електричних, антистатичних, термостійких, вологозахисних, фунгіцидних, оптичних властивостей, а також горючості, ерозійної стійкості, атмосферостійкості, світлостійкості та інших показників дозволяють оцінити якість плівок лакофарбових покриттів для прогнозування їх поведінки при експлуатації. Апаратурне оформлення і принципи дії методик різні: наприклад, методи адгезії оцінюються більш ніж 15 способами.

Ерозійна стійкість, зносостійкість оцінюються більш ніж п'ятьма способами і т.д.

Методи оцінки адгезії. Адгезійна міцність зчеплення плівки лакофарбового покриття (адгезив) з підкладкою (субстратом) — один з важливих показників якості ЛФП, що характеризує його фізико-механічні і антикорозійні властивості.

Метод сітчастого надрізу (ГОСТ 15140—69) полягає у відриві від підкладки плівки ЛФП, що заздалегідь прорізається до металу у формі сітки зі сторонами квадратів 1...2 мм. Відрив проводиться за допомогою липкої стрічки. Оцінка проводиться в балах за виглядом і площею металу, що оголився. Товщина покриття регламентується. Оцінку адгезії можна проводити до і після різних видів випробувань — зволоження, теплового, світлового або атмосферного старіння. Метод широко застосовується в лабораторній практиці для оцінки адгезійних властивостей покриттів, оцінки якості підготовки поверхні металів і неметалів під забарвлення.

Метод відшарування (ГОСТ 15140—69) заснований на відшаруванні гнучкої металевої підкладки (алюмінієвої фольги) від плівки лакофарбового покриття, армованого скляною тканиною. Відрив проводиться на розривній машині під кутом 180°, для чого фольга заздалегідь відшаровується на деякій ділянці від плівки ЛФП, а потім обидва кінці затискаються у верхній та нижній затиски. Навантаження записуються самописцем, після чого обчислюється середня величина адгезійної міцності.

Метод оцінки термостійкості. Термостійкість ЛФП, нанесених на підкладку, визначають для знаходження змін, що відбуваються в покритті у результаті дії нагріву. Термостійкість можна встановити шляхом визначення втрати маси полімеру в результаті термічного розкладання (термогравіметричний метод та ін.) або шляхом оцінки зміни захисних властивостей у результаті термічного старіння.

Методика оцінки ерозійної стійкості лакофарбових покриттів. Лабораторний спосіб оцінки стійкості ЛФП до ударно-абразивного зносу заснований на дії частинок абразиву, які відцентровою силою відкидаються на випробовувану поверхню.

Метод визначення електродного потенціалу пофарбованого металу. Електродний потенціал пофарбованого металу визначають для встановлення впливу ЛФП на електрохімічну і корозійну поведінку металу. Цей метод використовується для оцінки протикорозійних та захисних властивостей ЛФП.

Метод локального елемента. Метод локального елемента призначається для прискореного визначення протикорозійних та захисних властивостей ЛФП.

Метод визначення омичного опору покриття і електричної місткості. Метод визначення омичного опору покриття і електричної місткості призначається для оцінки ізолюючих та протикорозійних покриттів.

Метод визначення осмотичного проникнення вологи через лакофарбове покриття. Метод визначення осмотичного проникнення вологи через лакофарбові плівки призначається для оцінки ізолюючих та захисних властивостей ЛФП.

Методи визначення діелектричної проникності, тангенса кута діелектричних втрат і радіопрозорості покриттів. Діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат покриттів на частотах $10^5...10^8$ Гц визначаються найчастіше резонансними методами з використанням вимірників добротності типу Е9-4.

Метод визначення внутрішніх напружень. Метод призначається для оцінки внутрішніх напружень у плівці ЛФП, що виникають при його формуванні, старінні, а також унаслідок різниці коефіцієнта лінійного розширення плівки при коливанні температури.

Існує декілька методів визначення внутрішніх напружень. Оптичний метод заснований на тому, що промінь пропускається через підкладку зі скла, яке є хорошим оптично чутливим матеріалом, що має прямолінійну залежність між напруженням і двопрямим преломленням у широкому інтервалі напружень. Недолік цього методу — необхідність випробування покриттів на поверхні скла, а не на реальній підкладці (сталь, дюралюміній, інші матеріали), що вносить деяку умовність в одержувані результати. Механічні методи засновані на вимірюванні зусиль, що виникають у плівках, які нанесені на м'які підкладки безпосередньо за допомогою динамометра на приладі Поляні або визначення радіусу кривизни вигину металевої фольги з лакофарбовим покриттям. Проте ці методи дають якісно співставні результати, але не дозволяють виявити дійсні величини внутрішніх напружень.

Механічні методи дозволяють визначити внутрішні напруження і виразити їх у фізичних одиницях ($\text{кгс}/\text{см}^2$). До таких методів відносяться методи жорсткого кільця та консольний. Перший метод представляє історичний інтерес. За його допомогою Камерану вдалося

визначити величину внутрішніх напружень у високомолекулярній речовині — желатині, яка опинилася в межах 282...325 кгс/см². Проте за рядом технічних причин цей метод не застосовується.

Консольний метод заснований на вимірюванні відхилення від первинного положення консольно-закріпленої пружної металевої пластинки з ЛФП (на одній стороні) під впливом внутрішніх напружень у плівці ЛФП.

Використовується установка, в якій кріпляться шість зразків пластинок. Відхилення пластинок від первинного положення в результаті процесів висихання і старіння фіксується через мікроскоп. Установка може бути поміщена в спеціальний термостат або криостат для визначення внутрішніх напружень у широкому діапазоні позитивних та негативних температур. Вимірювання внутрішніх напружень з одночасним визначенням межі міцності, розривного подовження, модуля пружності лакофарбових плівок дозволяє оцінювати та прогнозувати поведінку плівок покриттів у заданих умовах і регулювати величину внутрішніх напружень шляхом зміни складу покриттів.

11.13. Технологія відновлення лакофарбових покриттів (на прикладі вертольоту Мі-8)

Підготовчі роботи

Для отримання якісного покриття малярні роботи слід проводити при температурі 12...35 °С і відносній вологості повітря не більше 75 %. Допускається проведення робіт при температурі 5...35 °С і вологості не більше 80 %.

На відкритому повітрі малярні роботи бажано проводити в безвітряну погоду. Наносити і сушити ЛФП під впливом сонячних променів не рекомендується.

Відновленню підлягає покриття, що має механічні пошкодження, розтріскування, зморщування, лущення, відшарування.

Сумарна площа ремонтаних ділянок не повинна перевищувати 25 % від загальної площі фарбованої поверхні, інакше треба покриття змивати повністю і фарбувати наново.

При відновленні старого і нанесенні нового покриття провести такі роботи:

- заземлити вертоліт;

- очистити поверхню від пилу, кіптяви, масла і вологи серветками, змоченими бензином, або промити її 3 % водним розчином спеціального рідкого калійного або господарського мила, а потім протерти серветками, змоченими чистою водою.

Для змивки старого покриття:

- нанести на поверхню за допомогою кисті або щітки ретельно перемішану змивку АФТ-1 або СНБ-9;
- витримати змивку на поверхні до розчинення лакофарбового покриття;
- видалити ЛФП за допомогою дерев'яних (текстолітових) шпательів та серветок;
- на ділянках, де не вдалося зняти покриття, операцію повторити;
- після видалення ЛФП поверхню протерти серветкою, змоченою розчинником Р-5, потім протерти насухо.

Примітка. Попадання змиву всередину вертольоту не допускається. Деталі з оргскла для захисту необхідно покривати технічним вазеліном.

При одиничних пошкодженнях ЛФП на площі до 5 см² змивати ЛФП не слід. У цьому випадку необхідно зачистити пошкоджену ділянку шліфувальною шкіркою і потім видалити продукти зачистки волосною щіткою. Зачищену ділянку промити бензином або ацетоном.

При пошкодженні покриттів до металу необхідно провести повне його відновлення, при частковому пошкодженні – відновити пошкоджені шари.

Виявлену корозію перед фарбуванням необхідно видалити. Зовнішніми ознаками корозії є:

- на сталевих деталях – наявність коричнево-червоного нальоту;
- на деталях з алюмінієвих сплавів – наявність білого порошкоподібного нальоту, а при сильнішій корозії – утворення раковин, заповнених продуктами корозії у вигляді порошку білого або сірого кольору;
- на деталях з магнієвих сплавів – наявність рихлого сольового осаду брудно-білого кольору, під яким знаходиться раковина;
- на лакованих і забарвлених деталях – здуття та лущення плівки покриття, наявність продуктів корозії під покриттям;
- на кадмійованих деталях – наявність сірого або темного кольору.

Для видалення корозії необхідно:

– зачистити пошкоджену ділянку шліфувальною шкіркою, потім видалити продукти зачистки чистою волосяною щіткою;

– зачищені місця спочатку протерти серветкою, змоченою бензином, а потім чистою сухою серветкою.

Нанесення ґрунтів і фарб проводити фарборозпилювачем. Тиск повітря, що поступає у фарборозпилювач, повинен бути у межах 0,25...0,4 МПа (2,5...4 кгс/см²). Повітря не повинне містити води і масла. Відстань від пістолета до фарбованої поверхні повинна бути у межах 250...350 мм.

У разі неможливості нанести захисне покриття фарборозпилювачем невеликі пошкодження лакофарбового покриття можна усунути кистю.

Відновлення ЛФП на поверхнях з алюмінієвих сплавів

Нанести на підготовлену до забарвлення поверхню перший шар ґрунту ЛК-069 (раніше був АГ-3А). Сушити при температурі 5...17 °С протягом 4,5...3,5 год, а при 18...35 °С – 2...1,5 год. Нанести другий шар ґрунту АК-069 з додаванням 1,5 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 5...4 год, а при 18...35 °С – 3...2 год.

Нанести на заґрунтовану ділянку перший шар емалі ХВ-16 або ЕП-140 відповідного кольору з додаванням 2 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 4...3 год, а при 18...35 °С – 2,5...2 год.

Злегка зачистити покриття шліфувальною шкіркою і видалити продукти зачистки волосяною щіткою або чистою серветкою. Нанести другий шар емалі ХВ-16 або ЕП-140. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 6...5 год, а при 18...35 °С – 4...3 год.

Відновлення ЛФП на трубопроводах ЛА

Нанести на підготовлену до забарвлення поверхню перший шар ґрунту ФЛ-086 (раніше був АЛГ-14) з 2 % алюмінієвої пудри ТАТ-2. Просушити покриття в сушильній шафі або струмені гарячого повітря від підігрівача протягом 3...4 год при температурі 80...100 °С. Нанести на заґрунтовану поверхню один шар емалі ПФ-223 відповідного кольору.

Відновлення ЛФП на поверхнях з магнієвих сплавів

Нанести на підготовлену до забарвлення поверхню перший шар ґрунту АК-070 (раніше був АГ-10С). Сушити при температурі 5...17 °С протягом 3...2 год, а при 18...35 °С – 2...1 год. Нанести другий шар ґрунту з додаванням 1,5 % алюмінієвої пудри. Режим сушки аналогічний режиму сушки першого шару.

Нанести перший шар емалі ХВ-16 відповідного кольору з додаванням 2 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 4...3 год, а при 18...35 °С – 2,5...2 год. Нанести другий шар емалі ХВ-16 з додаванням 2 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 5...4 год, а при 18...35 °С – 2,5...2 год. Нанести третій шар емалі ХВ-16 без додавання алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 6...5 год, а при 18...35 °С – 5...4 год.

Відновлення ЛФП на сталевих деталях

Нанести перший шар ґрунту ФЛ-086 (що був АЛГ-14) з додаванням 2 % алюмінієвої пудри ГТАП-2. Просушити покриття в сушильній шафі або в струмені гарячого повітря від підігрівача протягом 3 год при температурі 80...100 °С.

Нанести другий шар ґрунту АК-069 (що був АГ-3А) з додаванням 1,5 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 5...4 год, а при 18...35 °С – 3...2 год.

Нанести перший шар емалі ХВ-16 з 2 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 3...5 год, а при температурі 18...35 °С – 2...1 год. Нанести другий шар емалі ХВ-16 відповідного кольору. Сушити при температурі 5...35 °С протягом 5...3 год.

Відновлення ЛФП екранів і залізів крила

Нанести на підготовлену до забарвлення поверхню перший шар ґрунту АК-070 (раніше був АГ-10С) з додаванням 1,5 % алюмінієвої пудри ТАТ-2. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 3...2 год, а при 18...35 °С – 2...1 год. Нанести другий шар ґрунту АК-070 з додаванням 1,5 % алюмінієвої пудри. Режим сушки аналогічний режиму сушки першого шару. Зачистити заґрунтовану ділянку зворотню стороною шліфувальної шкірки і нанести два шари емалі КО-822 (раніше був К-2). Сушити при температурі 18...23 °С перший шар протягом 2 год, другий шар протягом 24 год.

Відновлення ЛФП на тканинній обшивці

При порушенні лакофарбового покриття або поганому натягненні тканинної обшивки необхідно виконати наступні роботи:

– протерти всю перефарбовану поверхню 3 % розчином мила у теплій воді, промити чистою водою, а потім просушити протягом 1,5...2 год;

– видалити старе покриття. Для цього нанести шар змиву АФТ-1 або СНБ-9 або емульсії, що складається зі 100 частин лаку АШ або НЦ-551 і 10 частин води, і накрити парафінованим папером. Після розм'якшення покриття видалити його з полотняної обшивки дерев'яним шпателем;

– тканину, очищену від пилки, протерти чистими серветками, змоченими розчинником Р-5, і просушити протягом 1...1,5 год. (при видаленні старого покриття перкалеві стрічки, наклеєні на шви кріплення, не відривати);

– нанести кистю послідовно п'ять шарів аеролаку першого покриття АГН або НЦ-551. Просушити при температурі 12...25 °С кожний з перших чотирьох шарів протягом 45 хв, а останній протягом 3 год;

– злегка зачистити поверхню шліфувальною шкіркою і видалити продукти зачистки волосяною щіткою;

– нанести фарборозпилювачем шар лаку АК-113 з додаванням 2 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 4...3,5 год, а при 18...35 °С – 3...2,5 год;

– нанести фарборозпилювачем перший шар емалі ХВ-16 відповідного кольору з додаванням 2 % алюмінієвої пудри. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 4...3,5 год, а при 18...35 °С – 3...2,5 год;

– нанести фарборозпилювачем другий шар емалі ХВ-16 відповідного кольору. Сушити при температурі 5...17 °С протягом 5...4,5 год, а при температурі 18...35 °С – 4...3,5 год.

Примітка. Нанесення лакофарбового покриття на ділянки з латками проводиться за вищевикладеною технологією. Наклейку стрічок по периметру, латки проводити перед нанесенням третього шару аеролаку ЛШП або НЦ-551.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Назвіть характерні дефекти ЛФП.
2. Наведіть етапи типової технології відновлення ЛФП.
3. Назвіть основні ЛФМ.
4. Наведіть приклад умовного позначення ЛФМ.
5. Які основні властивості ЛФМ?
6. Як вибирають спосіб нанесення ЛФМ?
7. Назвіть способи нанесення ЛФМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балабанов А.Н., Канарчук В.Е. Справочник технолога. – К.: Вища шк., 1983. – 238 с.
2. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник. – К.: Наук. думка, 1987. – 237 с.
3. Восстановление деталей и соединений авиационной техники. / Х.Б. Кордонский и др. – Рига: РИИГА, 1971. – 186 с.
4. Гвинтовкин И.Ф., Стояненко О.М. Справочник по ремонту летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1977. – 312 с.
5. ГОСТ 2.601–68. ЕСКД "Эксплуатационная и ремонтная документация". – М.: Издательство стандартов, 1985.
6. Гурд Л.М. Основы технологии сварки. – М.: Машиностроение, 1985. – 168 с.
7. Зварювання в літакобудуванні. / Під ред. Б.Є. Патона. – К.: МІИВЦ, 1998. – 696 с.
8. Изготовление основных деталей и узлов авиадвигателей. / М.И. Евстигнеев и др. – М.: Машиностроение, 1964. – 456 с.
9. Колев К.С. Технология машиностроения. – М.: Высш. шк., 1977. – 256 с.
10. Кручинский Г.А. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 1. Качество и эффективность, организация и управление, планирование и экономика ремонта авиационной техники. – М.: Машиностроение, 1980. – 220 с.
11. Кручинский Г.А. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 2. Подготовка и усовершенствование авиаремонтного производства, основные стадии технологического процесса ремонта авиационной техники. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
12. Кручинский Г.А. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 3. Типовые технологические процессы ремонта авиационной техники. Ремонт самолетов и вертолетов. – М.: Машиностроение, 1984. – 255 с.
13. Кручинский Г.А. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 4. Ремонт авиационных двигателей. – М.: Машиностроение, 1981. – 134 с.
14. Крысин В.Н. Технологическая подготовка авиационного производства. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.

15. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. – М.: Машиностроение, 1981. – 192 с.
16. Кудрін А.П., Зайченко Г.М., Волосович Г.А., Хижко В.Д. Ремонт повітряних суден і авіаційних двигунів: Підручник. – К.: НАУ, 2002. – 492 с.
17. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – 497 с.
18. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с.
19. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. Л.: Машиностроение, 1983. Т1. – 404с.; Т2. – 376 с.
20. Проблемы развития технологии машиностроения. / Под. ред. Э.А. Сателя. – М.: Машиностроение, 1968. – 591 с.
21. Ремонт летательных аппаратов. / А.Я. Алябьев, Ю.М. Болдырев, В.В. Запорожец и др. / Под. ред. Н.Л. Голего. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 422 с.
22. Ремонт та виробництво повітряних суден і авіаційних двигунів: Навчально-методичний посібник. / А.П. Кудрін, В.В. Лубяний, В.Д. Хижко та ін. – К.: НАУ, 2006. – 134 с.
23. Фридлянд М.Г. Плазматроны с постоянно возобновляющимся катодом. – Л.: ЛДНТП, 1986.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЗЧИК

Агрегати авіаційних двигунів (АД)	195, 196, 197
Газотермічне напилювання	38, 39, 45, 64
Груповий технологічний процес (ТП)	19, 23
Електролітичні покриття	139
Зварювання	78, 81, 88, 89, 96, 97, 99, 101, 102, 108, 113
Камери згоряння	193
КХН-15	75, 76, 77
Лакофарбові матеріали (ЛФМ)	224, 228
Лакофарбові покриття (ЛФП)	199, 200, 205, 207, 209, 210, 214, 217, 227, 230, 231, 232, 234, 236, 237, 238
Лопатки	175, 177, 179, 181
Напилення покриттів	28, 32, 35, 36
Наплавлення	115, 116, 119, 120, 122
Паяння	125, 127, 128
Плазмове напилення	57, 60, 62, 182
Плазмотрони	65, 66, 68, 69, 72, 74
Припої	132, 133, 135
Ремонтпридатність	15, 16, 17
Типізація технологічних процесів (ТПП)	7, 8, 9
Турбіни	187, 189, 191
Фретинг-корозія	184, 185

Навчальне видання

КУДРІН Анатолій Павлович
ВОЛОСОВИЧ Георгій Андрійович
ЛУБЯНИЙ Валерій Вікторович
ХИЖКО Віталій Дмитрович
ЗАЙВЕНКО Григорій Максимович

ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Навчальний посібник

Технічний редактор *А.І. Лавринович*
Коректор *Л.М. Романова*

Підп. до друку 27.08.07. Формат 60×84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 14,18. Обл.-вид. арк. 15,25.
Тираж 100 пр. Замовлення № 167-1. Вид. № 23/1.

Видавництво НАУ
03680. Київ-680, проспект Космонавта Комарова, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002