

**СПЕЦІАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ
І ОСНАЩЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

**СПЕЦІАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ
І ОСНАЩЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Навчальний посібник

Харків “ХАІ” 2017

УДК 629.735.023.002.3:620.22 – 419.3 (075.8)
С71

Авторський колектив:

В. В. Коллеров, Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський,
А. С. Морголенко, І. О. Воронько, В. О. Гарін

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. І. А. Гриценко,
канд. техн. наук П. Д. Жеманюк

С71

Спеціальні технології, обладнання і оснащення авіаційного виробництва [Текст] : навч. посіб. / В. В. Коллеров, Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2017. – 72 с.

Розглянуто технологію виготовлення металевих і неметалевих стільникових конструкцій сучасних літаків і вертольотів. Описано основні етапи технології виготовлення стільникових пакетів, підготовки до склеювання, збирання хвостового відсіку лопаті вертольота, види дефектів і засоби неруйнівного контролю стільникових конструкцій.

Викладено особливості листового штампування труднодеформівних матеріалів, характерні ознаки процесу динамічного штампування на молотах із радіаційним нагрівом і штампування, поєднаного з високотемпературним термообробленням. Проаналізовано технологічні можливості сучасного високопродуктивного обладнання з використанням концентрованих потоків енергії. Наведено технологічні схеми формоутворення з використанням термофіксації й ізотермічного штампування, а також у стані надпластичності й дифузійного зварювання.

Для студентів, які вивчають дисципліни, пов'язані з літако- і вертольотобудуванням, виробництвом літальних апаратів, а також із системами автоматизованого проектування.

Іл. 59. Табл. 6. Бібліогр.: 14 назв

УДК 629.735.023.002.3:620.22 – 419.3 (075.8)

© Колектив авторів, 2017

© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2017

Вступ

У сучасному авіабудуванні широко використовують стільникові конструкції. В літаках нового покоління більше 30 % площі фюзеляжу, крила, кіля й інших частин літака виготовляють із стільникових конструкцій, що складаються з двох листів обшивки, між якими знаходиться стільниковий заповнювач. Унікальним представником конструкції зі стільниковим заповнювачем з алюмінієвої фольги є стулки заднього вантажного люка літака Ан-124 «Руслан».

Застосування тришарових панелей з наповнювачами в конструкціях літальних апаратів дозволяє:

- зменшити масу і трудомісткість порівняно з клепаними конструкціями на 10 ... 30 %;
- зменшити кількість деталей у конструкціях і підвищити жорсткість у три - чотири рази;
- поліпшити теплоізоляційні властивості панелей;
- збільшити гладкість обтічних поверхонь.

Рівень технології заготівельно-штампувального виробництва літакобудівних заводів значною мірою визначається матеріалами, що застосовуються у виготовлених виробах. Тенденція до збільшення кількості листових деталей з високоміцних сталей і титанових сплавів у нових виробах, а також освоєння нових марок високоміцних і, як правило, малопластичних матеріалів пояснює прагнення переоснащити виробництво новим сучасним високопродуктивним обладнанням з використанням концентрованих потоків енергії.

Одним з перспективних напрямів удосконалення технології листового штампування при виготовленні тонкостінних деталей у вигляді оболонок з титанових сплавів в умовах дрібно- і середньосерійного виробництва є використання надпластичного формування листових заготовок.

Промислове освоєння надпластичного формування дозволяє отримувати тонкостінні об'ємні вироби складної конфігурації, виробництво яких з використанням традиційних процесів листового оброблення є нерентабельним або практично неможливим.

1 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ СТІЛЬНИКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Конструктивно-технологічні особливості металевих стільникових конструкцій

Стільникова конструкція в загальному вигляді складається з двох обшивок 1, з'єднаних зі стільниковим заповнювачем 2 за допомогою шарів клею і окантованих по периметру елементами каркаса 3 (рисунок 1.1).

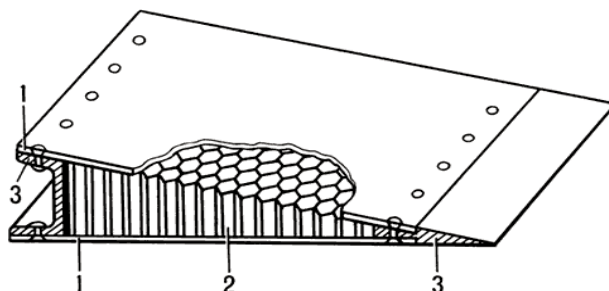


Рисунок 1.1 – Типові конструктивні елементи стільникової конструкції

Тришарові конструкції зі стільниковим заповнювачем і металевою обшивкою застосовують в конструкції носових і хвостових частин крила і оперення, закрилків, передкрилків, інтерцепторів, гальмівних щитків, сервокомпенсаторів, тримерів, елеронів, рулів висоти і напрямку, кришок люків, панелей мотогондол, обтічників шасі, в хвостових відсіках лопатей вертольотів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Типові варіанти стільникових конструкцій з обшивками з алюмінієвих сплавів

Форма поверхні	Ескізи типових перетинів	Зони установки
Плоска, подвійної або одинарної кривизни		Панелі крила, стабілізатора, кіля; кришки люків, обтічники
Плоска й лінійчаста твірні		Закінцівки елеронів, закрилків, рулів; хвостові відсіки лопаті вертольота
Одинарної кривизни		Інтерцептори, гальмівні щитки
Плоска, одинарної кривизни		Панелі підлоги, кришки люків
Лінійчаста твірна		Елерони, закрилки, передкрилки, тримери

Клейові тришарові конструкції зі стільниковим заповнювачем і металевою обшивкою забезпечують необхідну жорсткість агрегатів при згинальних навантаженнях, утомну міцність, стійкість при стисненні і значну економію маси виробів авіаційної техніки. Клейові стільникові конструкції виконують також і спеціальні функції: звукоізоляційні, теплозахисні, аеродинамічні (гладкість обшивки), декоративні.

Для виготовлення металевих стільникових конструкцій застосовують такі матеріали:

- фольгу алюмінієву АМг2-Н товщиною від 0,03 до 0,05 мм для виготовлення стільникового заповнювача;
- листовий дюралюміній Д16Т товщиною від 1,0 до 2,5 мм для обшивок стільникової конструкції;
- фенольно-каучуковий клей ВК-25 для виготовлення стільникових пакетів;
- клей ВК-32-200 або ВК-36 у вигляді клейової плівки в комбінації з рідким клеєм для з'єднання обшивок та елементів каркаса зі стільниковим заповнювачем;
- клейова плівка ВКВ-3, що спінюється, для з'єднання стільникового заповнювача з елементами каркаса.

Міцність заповнювача значною мірою визначається розміром стільників. Чим менше стільник, тим вище міцність клейового з'єднання і стійкість обшивок, що працюють на стиск до утворення складок.

Найбільш відповідальним у клейових стільникових конструкціях є з'єднання обшивки із заповнювачем. При виборі клею необхідно враховувати, що з'єднання між заповнювачем і обшивками має витримувати приблизно ті ж напруження зміщення, що і заповнювач.

При проектуванні конструкції слід враховувати напрямок смуг фольги заповнювача. Зі збільшенням навантажень уздовж площини склеювання стільників міцність з'єднання при зміщенні зростає в 1,5 рази порівняно з перпендикулярним напрямком.

Важливою технологічною особливістю виробництва стільникових конструкцій із застосуванням клейових з'єднань є необхідність видалення газоподібних побічних продуктів реакції затвердіння клеїв - адгезивів. Наявність цих продуктів може спричиняти відшаровування або зміщення заповнювача під впливом газу, що виділився. Необхідно також враховувати подальшу корозію заповнювача в результаті хімічної взаємодії з газоподібними продуктами реакції затвердіння або з їх конденсатами. Для забезпечення можливості виходу газоподібних побічних продуктів реакції затвердіння використовують дренажний стільниковий заповнювач.

Наявність перфорації в стінках стільників стільникового заповнювача сприяє поширенню води в агрегатах і знижує експлуатаційну надійність стільникових конструкцій. Тому при проектуванні таких конструкцій слід забезпечити конструктивно-технологічні заходи, що виключають потрапляння води всередину агрегатів.

1.2 Технологія виготовлення металевих стільникових конструкцій

Технологічний процес складання виробу зі стільниковим заповнювачем має такі основні операції:

- вироблення стільникового заповнювача необхідних форм і розмірів;
- підготовка обшивок, деталей каркаса і стільникового заповнювача, нанесення клею;
- складання і склеювання стільникової конструкції;
- контроль якості склеювання.

Схема виготовлення металевої стільникової конструкції показана на рисунку 1.2.

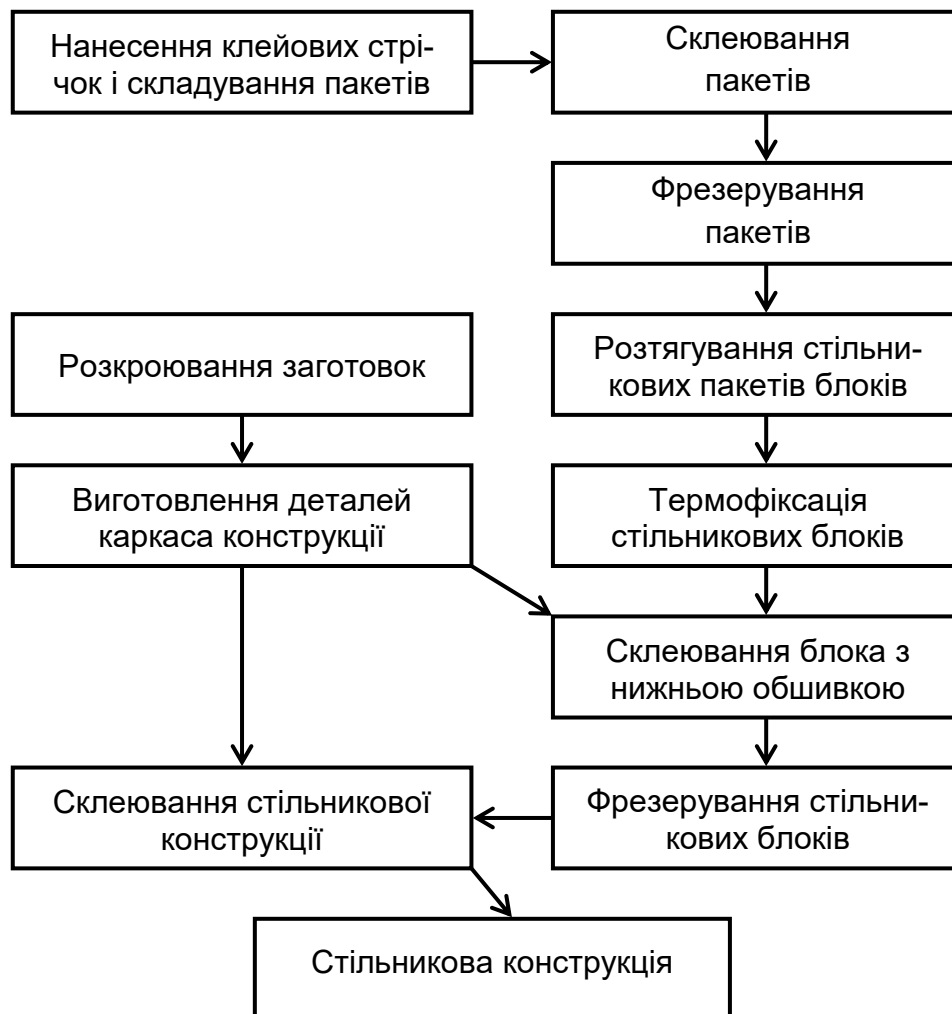


Рисунок 1.2 – Схема виготовлення стільникової конструкції

В авіабудуванні застосовують два методи виготовлення металевих сот: послідовним нарощуванням і розтягуванням [8].

Метод розтягування стільникових пакетів в умовах серійного виробництва є найбільш технологічним, оскільки дозволяє механізувати і автоматизувати виробництво сот, спростити їхнє механічне оброблення. При

цьому поліпшуються умови зберігання і транспортування, що сприяє централізації виробництва стільникових заповнювачів.

Алюмінієві стільникові блоки виготовляють на спеціалізованих ділянках у такій типовій технологічній послідовності [12]:

- знежирення, сушіння, люмінесцентний контроль рулонної фольги (установка УОФ-2);
- обрізування крайок, двостороннє нанесення клейових смуг, сушіння, складання пакетів (автоматична установка АСП-1000);
- розрізання пакетів на блоки (стрічкопильний верстат ЛС-80-3);
- фрезерування пакетів по прямолінійним і криволінійним контурам (фрезерний верстат з ЧПК ФП-7М);
- розтягнення стільникового блока (верстат-автомат АРСБ-2);
- фрезерування торців стільникового блока (спеціалізований фрезерний верстат з ЧПК РФП-6);
- знежирення стільникового блока в перхлоретилені (конвеєрна установка УОП-3);
- нанесення рідкого клею на торці стільникового заповнювача (установка УНК-2);
- накочування плівкового клею ВК-3 на торці стільникового заповнювача (установка СПК-1);
- передавання стільникового блока на пристрій загального складання стільникової конструкції.

1.2.1 Технологія знежирення фольги

Фольга для виготовлення стільникового заповнювача надходить на авіаційні заводи в рулонах на металевій втулці, довжина фольги в рулоні – 1500 м, маса рулону – 150 кг. Рулони законсервовані й мають жирові забруднення на поверхні.

Рулонна фольга знежирюється у водних розчинах емульгатора ОП-7 або ОП-10 із застосуванням ультразвуку на установці УОФ-2, на якій проводиться промивання і сушіння фольги з подальшим люмінесцентним контролем якості знежирення. Місткість ванни знежирення – 800 літрів, ванни промивки – 460 літрів.

Для контролю якості знежирення фольги застосовують люмінесцентну установку УЛКО-3, що забезпечує контроль рулону фольги з обох боків. Усі операції знежирення фольги виконуються в автоматичному режимі: швидкість переміщення рулону фольги – 4 м/хв, знежирення у ванні – не менше 15 с, промивання у ванні чистою проточною водою – не менше 20 с, сушіння в камері – не менше 20 с.

У процесі руху рулону фольги контроль якості знежирення виконують крапельним методом на основі рівномірного розтікання краплі дистильованої води. Міжопераційний час зберігання знежиреної фольги допуска-

ється не більше 10 діб, тривале зберігання – протягом трьох місяців при ретельному упакованні в поліетиленовий мішок із силікагелем.

1.2.2 Технологія виготовлення стільникових пакетів

Обрізування крайок алюмінієвої фольги, поздовжнє двобічне нанесення клейових смуг на обидва боки фольги, сушіння клейових смуг і складання пакетів проводять на автоматичній установці АСП-1000. Для нанесення клейових смуг застосовують витікання суміші з клеянок на рухому рулон фольги (рисунок 1.3).

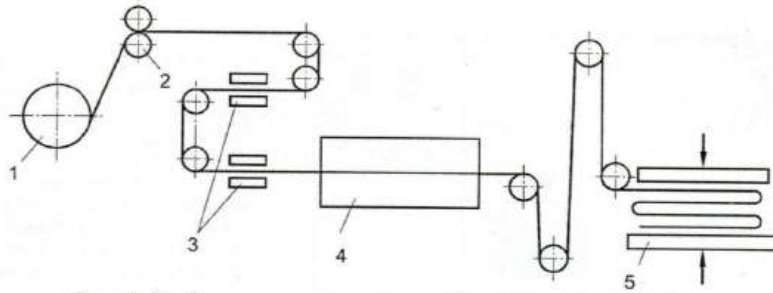


Рисунок 1.3 – Схема виготовлення пакета стільникового заповнювача: 1 – рулонодержак; 2 – дискові ножі; 3 – клеянка; 4 – сушильна камера; 5 – пакетоукладач

Автоматична установка АСП-1000 має такі вузли:

- пристрій для встановлення і протягування знежиреного рулону фольги шириною 1000 мм;
- дві клеянки з бачками об'ємом 3 л для клею ВК-25;
- голчастий і прогумований валики для пробивання в рулоні фольги дренажних отворів діаметром 0,1 мм;
- сушильна камера з п'ятьма температурними зонами нагріву фольги;
- пристрій протягування і натягування рулону фольги з ланцюговим приводом і обрізними ножами;
- петлеутворювач – пристрій для складання пакета;
- прес з висувним столом.

Загальний вигляд автоматичної установки АСП-1000 показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд автоматичної установки АСП-1000

Технічні характеристики установки АСП-1000

Розміри стільникового виготовлюваного пакета, мм:

- ширина	990;
- висота	400.
Найбільша кількість листів в пакеті, шт.	150
Товщина фольги, мм	0,03
Ширина фольги, мм	1000
Швидкість переміщення фольги, м/хв	1,5 ... 3,0
Споживана потужність, кВт	4,9
Габаритні розміри, мм	12500x4090x2100
Маса, кг	24000.

Теплоносієм сушильної камери є трубчасті електричні нагрівачі (те-ни), закладені в чавунні плити, що розташовуються по обидва боки рулону фольги, який переміщується в камері. Підтримання заданих температур в п'яти зонах – від 75 до 110 °С – забезпечується автоматично електронним потенціометром.

Дренажні отвори діаметром 0,1 мм пробиваються голками, змонтованими на голчастому валику, коли фольга проходить між ним і прогумованим валиком. При подальшому переміщенні фольги між наступною парою валиків відбувається розвальцьовування задирок цих отворів. Дренажні отвори розміщуються між нанесеними клейовими смугами.

Цикл складання одного листа пакета (однієї складки) з рулону виконується в такій технологічній послідовності:

- петлеутворювач переміщається вправо, утворюючи на рулоні петлю, в кінці цього руху в петлю входять обмежувачі і фіксатори, а петлеутворювач повертається у вихідне положення;
- обмежувачі і фіксатори виходять із зони складання пакета;
- прес сплющує петлю; обмежувачі і фіксатори входять у зону складування пакета над виконаною складкою;
- прес повертається у вихідне положення, пакет до утворення наступної петлі утримує притиск.

Складання пакета має проводитися доти, доки не набереться задана кількість складок з рулону. Лічильник кількості складок встановлюють у момент початку їх складання з рулону фольги з нанесеними клейовими смугами.

Для виготовлення великогабаритних клеєних пакетів стільникового заповнювача висотою 460 мм (1500 - 2000 листів) і довжиною до 2500 мм використовують автоматичну установку АСП-2000. Поперечне нанесення клейових смуг на один бік фольги здійснюється друкованим методом (рисунк 1.5), крім цього проводиться сушіння клейових смуг і складання пакетів стільникових заповнювачів.

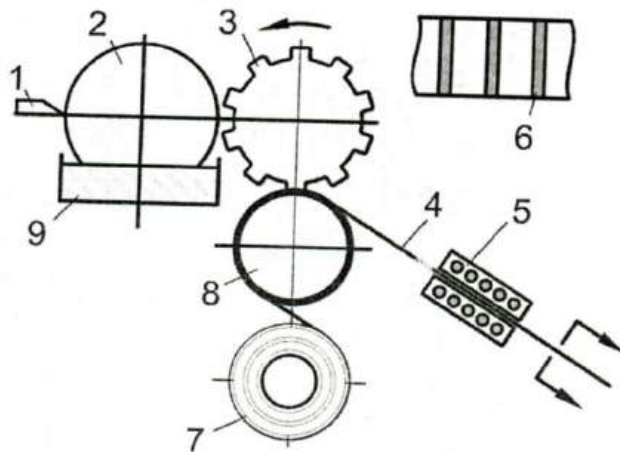


Рисунок 1.5 – Схема друкування клейових смуг на установці АСП-2000: 1 – ніж; 2 – подавальний валик, 3 – клеєнаносний валик, 8 – притискний валик; 4 – фольга; 5 – плита з електрообігрівом; 6 – поперечні клейові смуги на фользі; 7 – котушка з фольгою; 9 – ванна з клеєм

Ширина просушених клейових смуг має бути $2,4 \pm 0,3$ мм, товщина – від 0,005 до 0,012 мм. Зміщення клейових смуг один щодо одного допускається не більше 0,2 мм. Контроль ширини і товщини клейових смуг проводиться один раз в три місяці.

Склеювання стільникового пакета виконують на пресі з нагрівальними плитами при тиску 1,5 ... 2,0 МПа і температурі 165 ± 5 °С протягом однієї години. Далі пакет остигає під тиском до температури 25 ... 30 °С.

Пакети стільникових заповнювачів розрізають у стисненому стані на необхідну кількість заготовок (рибок) на стрікопильному верстаті ЛС-80-3 по копіру з припуском 8 мм за периметром при швидкості різання 900 м/хв, хвилинній подачі від 300 до 600 мм/хв.

Пакети стільникових заповнювачів фрезерують у стисненому стані за прямолінійними і криволінійними контурами на верстаті з ЧПК ФП-7М із застосуванням високошвидкісного фрезерного шпинделя. Абсолютна похибка оброблення становить не більше $\pm 0,05$ мм.

1.2.3 Розтягування стільникового пакета

Утворення стільників правильної шестигранної форми шляхом розтягування склеєних пакетів стільникових заповнювачів проводиться на автоматичному верстаті АРСБ-2. Продуктивність верстата – від 2 до 4 м²/хв, максимальні розміри розтягнутого блока стільникового заповнювача: довжина – 6500, ширина – 1500, висота – 300 мм.

Стільниковий пакет перед розтягуванням кріплять штирями до верхньої і нижньої траверс верстата через петлі з тканини марки 500. Тканину приклеюють до обох боків стільникового пакета за допомогою рейки з пазами. Пази рейки утворюють петлі по всій довжині пакета (рисунок 1.6).

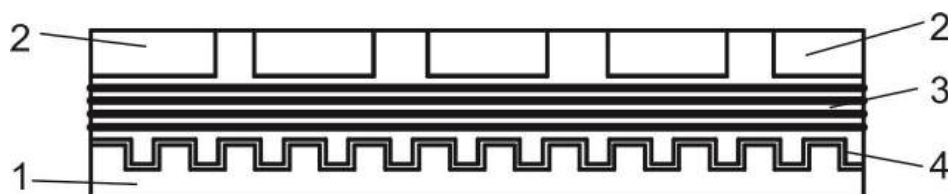


Рисунок 1.6 – Схема приклеювання тканини до заготовки стільникового пакета: 1 – ложемент; 2 – вантаж; 3 – стільниковий пакет; 4 – стрічка

На рисунку 1.7 показано стільниковий блок з приклеєною до торця тканиною після розтягування.



Рисунок 1.7 – Стільниковий блок після розтягування

Заготовки стільникового заповнювача хвостового відсіку лопаті розтягують на автоматичному верстаті моделі АРСБ-1 (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Розтягування стільникового блока хвостового відсіку лопаті

Ступінь розтягнутості стільникового блока перевіряють за кількістю шестигранних стільників на довжині 200 мм: їх має бути 50 (+ 5, - 3). Злиплі стільники розправляють вручну шилом.

1.2.4 Фрезерування торців стільникового блока

У стільникових конструкціях у вигляді панелей, вузлів механізації крила літака і хвостових відсіків лопаті вертольота слід обробляти торці стільникових заповнювачів, безпосередньо сполучених з елементами аеродинамічного обводу, утвореного процентними поверхнями. Таке оброблення потребує спеціального підходу до вибору режимів різання, способів базування і закріплення заготовок, схем фрезерного оброблення, конструкції ріжучого інструменту, засобів видалення пилю і стружки із зони різання [12].

Фрезерування торців стільникових блоків проводять на спеціальному фрезерному верстаті з ЧПК РФП-6. Верстат призначено для оброблення торців стільникових заповнювачів просторової форми поздовжніми і поперечними рядками, а також для фрезерування підсічок в торцях стільникового заповнювача. Пристрій ЧПК Н55-2 забезпечує автоматичну зміну інструменту, корекцію еквідистанти траєкторії, перемикання частоти обертання шпинделя.

Компонування спеціального фрезерного верстата з ЧПК РФП-6 (рисунк 1.9) дозволяє обробляти торці стільникового блока одночасно за п'ятьма координатами:

- поздовжнім переміщенням порталу;
- поперечним переміщенням каретки щодо порталу;
- вертикальним переміщенням каретки щодо порталу;
- поворотом каретки навколо поперечної осі на кут $\pm 30^\circ$ (за координатою **В**);
- поворотом каретки з фрезерною головкою навколо поздовжньої осі на кут $\pm 135^\circ$ (за координатою **А**).

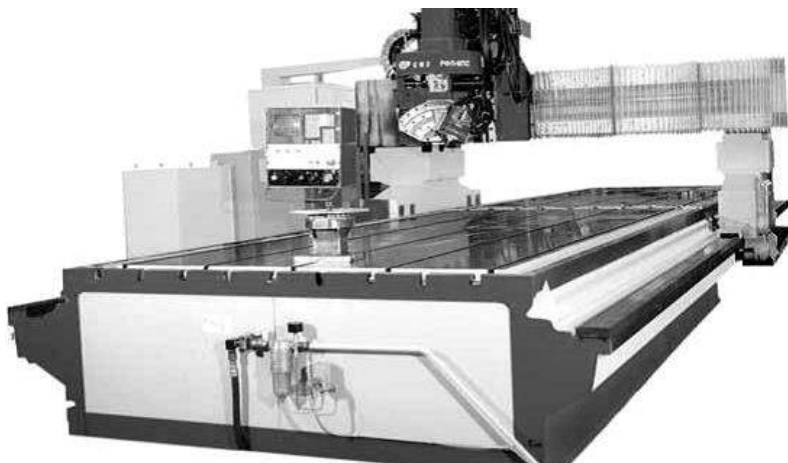


Рисунок 1.9 – Спеціальний верстат з ЧПК РФП-6

Стільниковий заповнювач на торцях фрезерують спеціальними грібковими фрезами зі швидкорізальної сталі діаметрами від 12 до 70 мм. Перед обробленням стільниковий блок закріплюють на технологічній плиті за допомогою спеціального клею – поліетиленгліколю [12]. Ухвалений режим

різання торців стільникового блока: частота обертання грибкової фрези – 18000 1/хв., хвилинна подача – до 3500 мм/хв.

Технічні характеристики фрезерного верстата з ЧПК РФП 6

Найбільше переміщення, мм:

- поздовжнє X столу	6500
- поперечне Y каретки	1750
- вертикальне Z фрезерної головки	400

Найбільше переміщення, град.:

- каретки поворотної A	± 30
- каретки поворотної C	± 135

Потужність шпинделя, кВт

7,0

Межі частот обертання шпинделя, 1/хв.

1 ... 18000

Межі лінійних подач, мм/хв:

- за координатами X, Y	7000
- за координатою Z	3000

Межі кругових подач, 1/хв:

- за координатою A	2
- за координатою C	2

Дискретність задання переміщення, мм

0,001

Кількість керованих одночасно координат

5

Точність позиціонування при односторонньому підході, мм:

- за координатою X столу	0,20
- за координатою Y каретки	0,12
- за координатою Z фрезерної головки	0,08

Габаритні розміри верстата, мм:

- довжина	10365
- ширина	4700
- висота	3280

Маса верстата, кг

29000

При обробленні вгнутого боку торці стільникового блока базують на площині технологічної плити, а опуклого боку – на другій технологічній плиті-супутнику на вже обробленій увігнутій поверхні (рисунок 1.10, а).

При схемі фрезерного оброблення «зигзаг» уздовж процентних ліній (рисунок 1.10, б) глибина ограновування Δ на опуклому і увігнутому боках стільникового заповнювача не перевищує $\pm 0,04$ мм.

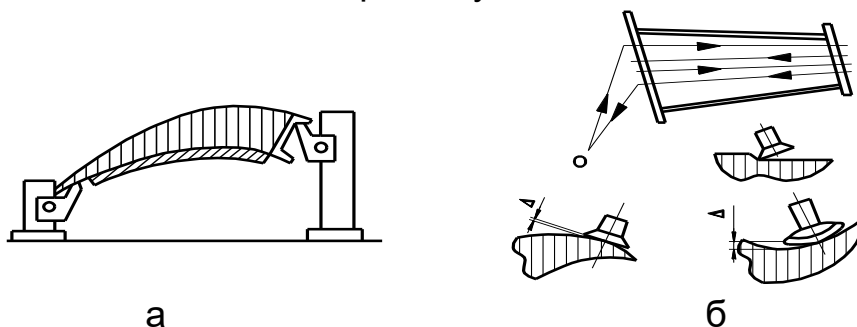


Рисунок 1.10 – Схеми базування (а) і оброблення (б) стільникового блока

Відповідно до прийнятої схеми траєкторії «зигзаг» розраховують крок рядка інструмента A при виконанні двох сусідніх робочих ходів траєкторії. Величина кроку визначається допуском на висоту гребінців оребреньня Δ_{op} , що залишаються на оброблюваній поверхні між сусідніми робочими ходами. У загальному випадку трикоординатного об'ємного оброблення ріжуча кромка фрези переміщується на поверхні зі змінним радіусом кривизни ρ .

Тоді крок рядка A інструмента при виконанні двох сусідніх робочих ходів траєкторії обчислюють, задаючись допуском на ребра:

$$A = \sqrt{\frac{8\Delta_{op}}{1/R - 1/\rho}}. \quad (1.1)$$

Зазвичай приймають таке співвідношення похибки оброблення до геометричних параметрів поверхні і радіусу кінцевої грибкової фрези: $\Delta_{op} \approx 0,01R$ і $\Delta_{op} < (0,01 \dots 0,001)\rho$.

На рисунку 1.11 показано базування вгнутого боку стільникового блока на опуклому боці технологічної плити-супутника.

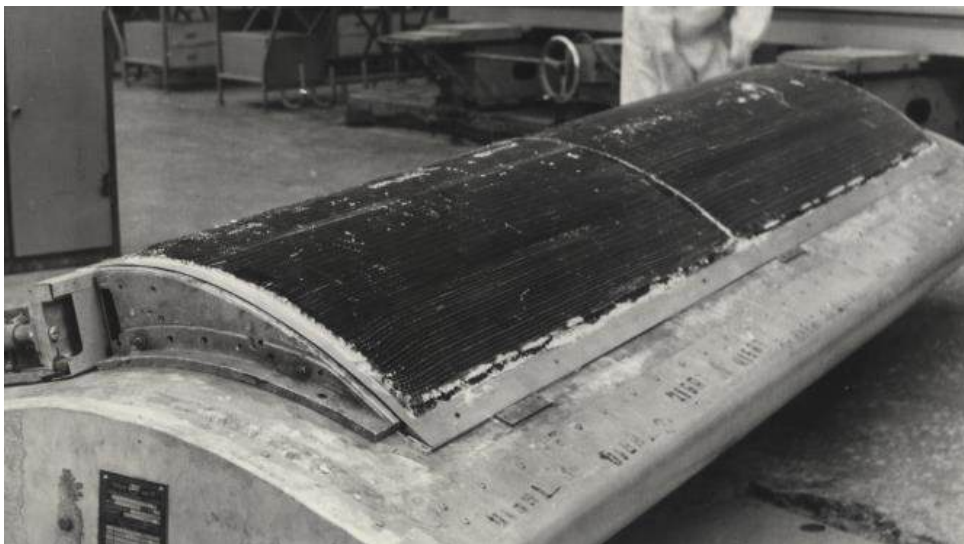


Рисунок 1.11 – Базування вгнутого боку стільникового блока на технологічній плиті-супутнику

Оброблення вгнутої поверхні блока стільникового заповнювача і виготовлення технологічної плити-супутника проводять за однією керуючою програмою, що забезпечує високу точність базування та виготовлення стільникового заповнювача.

1.2.5 Знежирення стільникового блока, нанесення клею на торці стільників

Після механічного оброблення блоки стільникових заповнювачів знежирюють у пароподібному і рідкому перхлоретилені на конвеєрній установці УОП-3, схему якої показано на рисунку 1.12.

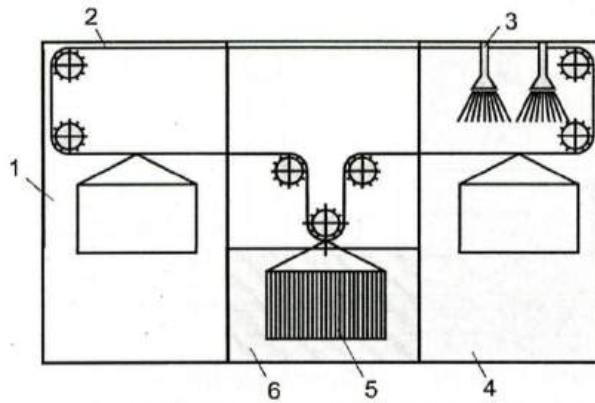


Рисунок 1.12 – Схема установки для знежирювання стільникового блока:
1 – сушильна камера; 2 – транспортна лінія; 3 – пристрій для подачі пароподібного перхлоретилену; 4 – парова камера знежирювання;
5 – стільниковий заповнювач; 6 – камера знежирення зануренням

На установці УОП-3 можна знежирювати блоки стільникового заповнювача, деталі каркаса і обшивки з алюмінієвих сплавів розмірами до 6500x2000x300 мм (швидкість транспортної лінії – 3,5 м/хв).

Рідкий клей на торці блоків стільникових заповнювачів наноситься на установці УНК-2. Схему цього процесу показано на рисунку 1.13.

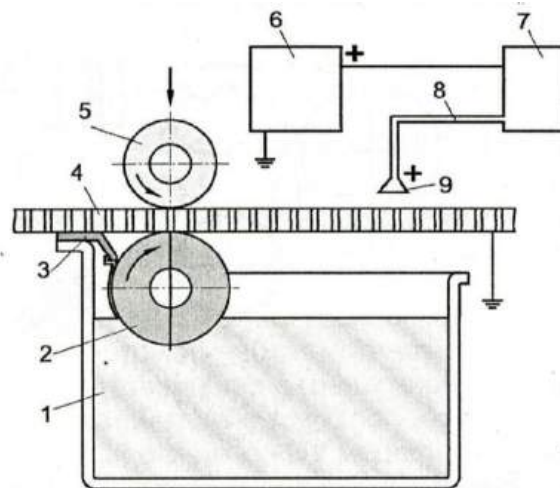


Рисунок 1.13 – Схема нанесення рідкого клею на торці стільникових блоків: 1 – ванна з клеєм; 2 – клеєнаносний ролик; 3 – скребок;
4 – сотовий блок; 5 – натискний ролик; 6 – джерело високої напруги;
7 – ємність з клеєм; 8 – дозатор; 9 – відцентровий розпилювач

При нанесенні рідкого клею на торці стільникового блока утворюються галтелі, що забезпечують надійний контакт і міцне з'єднання стільникового заповнювача з обшивкою.

На установці СПК-1 плівковий клей ВК-3 накочують на торці стільникового заповнювача так, як і на обшивки стільникових конструкцій.

Для виключення зморщування клейової плівки перед накручуванням стільниковий заповнювач розправляють і фіксують в макеті каркаса стільникової конструкції (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Закріплення стільникового заповнювача в макеті каркаса стільникової конструкції

Як приклад показано стільниковий заповнювач з алюмінієвої фольги хвостового відсіку металевої лопаті вертольота Мі-8.

1.3 Підготовка обшивок стільникового заповнювача до склеювання

Хімічне оброблення обшивок з метою забезпечення високої адгезії шляхом видалення жирових та інших забруднень і утворення мікропористого шару на поверхні проводять у ваннах і камерах за схемою, показаною на рисунку 1.15.

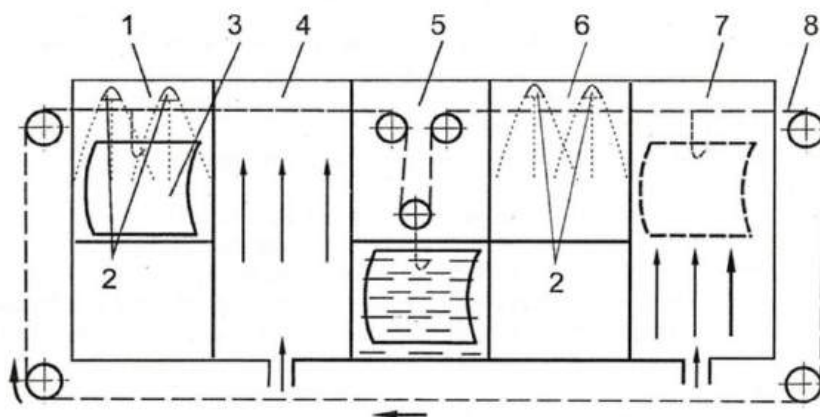


Рисунок 1.15 – Схема хімічного оброблення обшивок: 1 – камера знежирення; 2 – розпилювач; 3 – обшивка; 4,7 – сушильна камера; 5 – ванна травлення; 6 – камера промивання; 8 – транспортер

Після підготовки поверхні обшивок розміром до 1900 × 7200 мм анодують у ванні ВА-1 (рисунок 1.16).

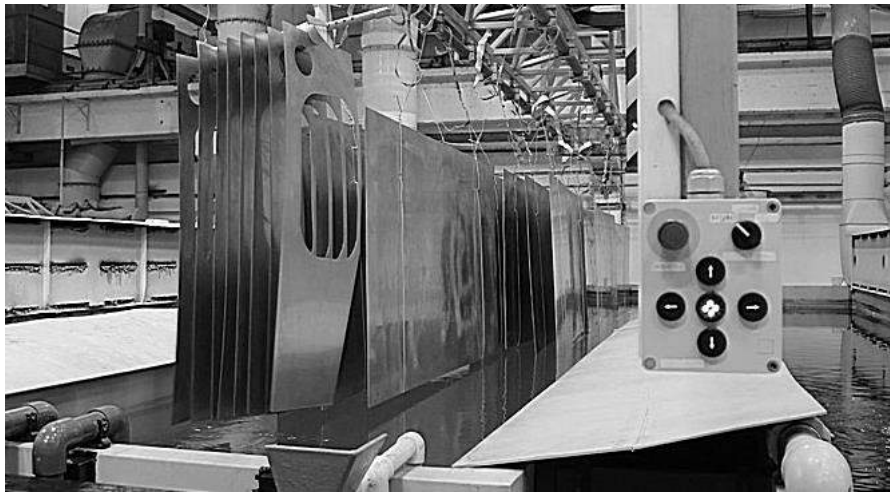


Рисунок 1.16 – Ванна моделі ВА-1 для анодування обшивок

Товщина анодної плівки при хромокислому анодуванні обшивок становить 5 ... 8 мкм, продуктивність ванни – від 15 м²/год і вище. Після промивання і сушіння за допомогою приладу ТПК-1 перевіряють якість анодування обшивок. Потім обшивки покривають захисним ґрунтом марки СПМ-102 в електростатичному полі установки УНГ-1, на якій за годину покривається ґрунтом 80 ... 100 м² площі листів (витрата ґрунту – 30 ... 60 г/м², швидкість переміщення розпилювачів – від 0,5 ... 4 м/хв). Після затвердіння ґрунту в сушильній камері якість його нанесення контролюють приладом ЛКД-1.

Останнім часом все частіше застосовують адгезійні ґрунти, які не тільки захищають підготовлену до склеювання поверхню, а й сприяють поліпшенню її змочуваності, розтіканню клею, а також підвищенню еластичності клейового з'єднання.

На листи обшивок покриті захисним ґрунтом, наносять плівку клею товщиною 0,12 мм. Плівку зберігають у холодильнику і перед накочуванням за схемою, показаною на рисунку 1.17, нагрівають до кімнатної температури для виключення конденсації вологи на її поверхні.

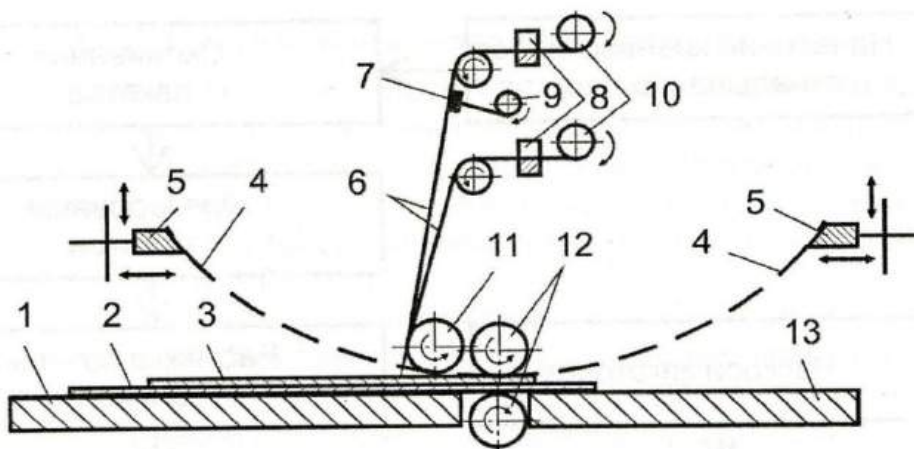


Рисунок 1.17 – Схема накочування клейової плівки на обшивки

На рисунку 1.17 наведено такі умовні позначення: 1, 13 – стіл верста-
та; 2 – технологічний лист; 3 – плоска обшивка; 4 – обшивка одинарної
кривизни; 5 – підтримуючий пристрій; 6 – клейова плівка; 7 – дисковий ніж;
8 – пристрій для змочування клейової плівки ацетоном; 9 – намотувальний
валик; 10 – рулони клейової плівки; 11 – вирівнюючий валик; 12 – валики
для накручування клейової плівки.

Для накручування плівкових клеїв на обшивки і торці стільникових за-
повнювачів використовують верстати СПК-1, СПК-2 і СПК-5. Верстат СПК-
5 забезпечує швидкість накручування клейової плівки від 0,5 до 4 м/хв на
листи обшивок шириною до 2100 мм і довжиною до 7200 мм.

1.4 Складання хвостового відсіку лопаті вертольота

Хвостовий відсік лопаті вертольота є типовою металевою конструкці-
єю зі стільниковим заповнювачем з алюмінієвої фольги Амг-2-Н товщиною
0,03 мм (рисунок 1.18).

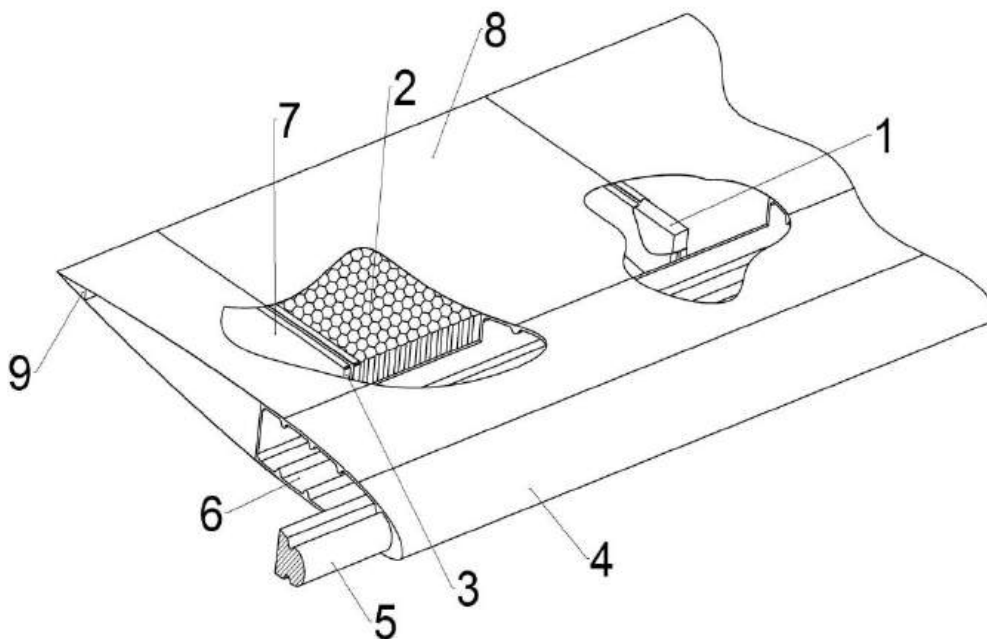


Рисунок 1.18 – Конструктивно-силова схема металевої лопаті:

1 – вкладка; 2 – стільниковий заповнювач; 3 – лапка нервюри;
4 – протизаморожувальна система; 5 – протифлатерний вантаж;
6 – лонжерон; 7 – нервюра; 8 – обшивка; 9 – хвостовий стрингер

Нервюри виготовлено з листа Д16АТ-л 1,0 методом холодного штам-
пування. В місцях приклеювання нервюр до лонжерона стінка нервюри ві-
дігнута і являє собою лапку, яка приклеєна до лонжерона.

Відсік має обшивки з листа Д16АТ-л 0,5, склеєні зі стільниковим за-
повнювачем двома бічними нервюрами і хвостовим стрингером.

Складання металевого хвостового відсіку лопаті вертольота викону-
ють у спеціальному пристосуванні (рисунок 1.19).

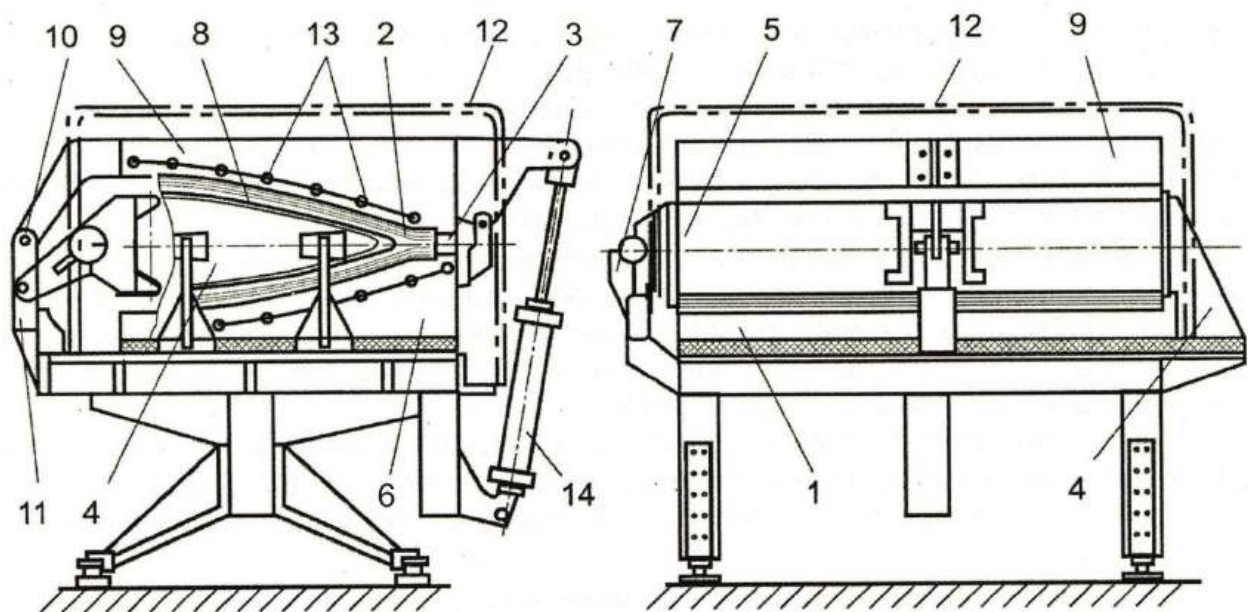


Рисунок 1.19 – Пристосування для складання хвостового відсіку лопаті

Складання хвостового відсіку лопаті виконують у такій технологічній послідовності [9]:

1. На нижній плиті 1 закріплюють шари асбестової тканини 2, на які встановлюють хвостовий стрінгер і обшивки хвостового відсіку. Обшивки в поперечному напрямку опирають в опорну планку 3, в поздовжньому – у торцеву плиту 4.

2. У порожнину між обшивками встановлюють стільниковий блок і нервюри з попередньо нанесеною клейовою плівкою.

3. Нервюри разом зі стільниковим блоком підтискають технологічною плитою 5 до плити 6, закріплюють плиту 5 в робоче положення фіксатором 7.

4. Установлюють плиту-кришку 8 з шарами азбестової тканини і гуми.

5. Закривають плиту 9 і закріплюють її фіксатором 10 у вилці 11.

6. Накривають пристосування теплоізоляційним кожухом 12. Вмикають електронагрівачі 13 верхньої і нижньої плит. Під час полімеризації клею підтримують режим термофіксації.

7. Після закінчення процесу склеювання знімають теплоізоляційний кожух 12, відкривають верхню плиту 9 за допомогою гідроциліндра 14, знімають плиту-кришку 8 і відводять притискну плиту 5.

8. Виймають готовий хвостовий відсік лопаті з пристосування.

9. Перевіряють якість склеювання хвостового відсіку. Для цього використовують механізовану установку УКН-4П з ЧПК, оснащену імпедансно-акустичним приладом ІАД-3.

10. Після контролю закладають кромки відсіку, герметизують торці стільникового заповнювача епоксидною смолою або еластомерним герметиком.

Зазвичай зниження міцності склеювання обумовлено поганою пригонкою розмірів з'єднувальних елементів. Якщо на ділянках якісного склею-

вання стільники прорізають клейову плівку і підходять впритул до обшивки, то в ослаблених зонах між стільниковим блоком і обшивкою існує зазор, який зменшує жорсткість опори обшивки і, отже, механічний імпеданс конструкції.

Імпедансно-акустичний метод неруйнівного контролю ґрунтується на зміні частоти вимушених коливань клейового з'єднання за наявності в ньому непроклеювань. Цей метод можна застосовувати в тих випадках, коли модуль пружності матеріалу (метали, склопластики) обшивки клеєного виробу досить великий. Контроль поверхні з м'яких матеріалів (гуми, пінопласта) цим методом неможливий. Імпедансний метод застосовують і для контролю клеєних конструкцій з неметалевими обшивками, в тому числі й стільникових.

На авіаційних підприємствах для контролю непроклеювань металевих стільникових конструкцій використовують імпедансно-акустичний дефектоскоп ІАД-3 [11]. Контроль можна проводити при односторонньому доступі до поверхні. Завдяки точковому контакту датчика з обшивкою можна контролювати вироби з малим радіусом кривизни.

Після контролю якості склеювання виконують герметизацію внутрішньої порожнини відсіку зі стільниковим заповнювачем. Шпателем вручну наносять герметизуючий склад з епоксидної смоли або еластомірного герметика. Цей же герметик застосовують для зміцнення сот в місцях установа кріпильних деталей.

Готові хвостові відсіки лопаті для захисту від забруднень упаковують механізованим способом в поліетиленову плівку на установці СУ-1 (рисунок 1.20) і передають на стапель остаточного складання лопаті.

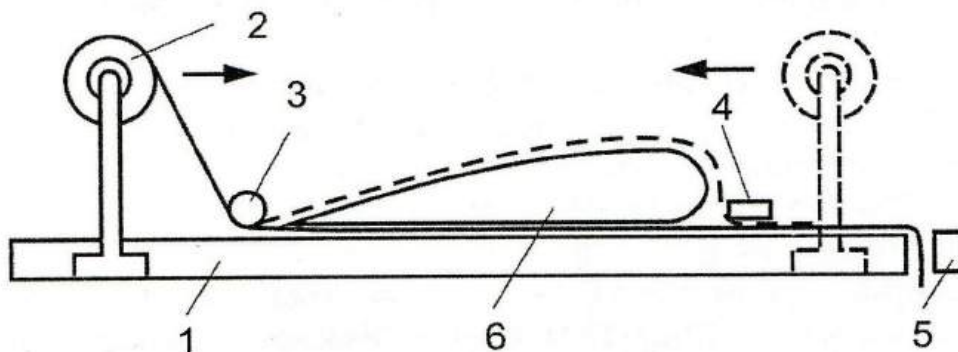


Рисунок 1.20 – Схема упаковки вузлів клеєної конструкції:
1 – стіл; 2 – рулон поліетиленової плівки; 3 – ролик електрод;
4 – електрод; 5 – притискна планка; 6 – упакований вузол

Установка СУ-1 дозволяє упаковувати клеєні конструкції розміром до 7200x2500 мм і продуктивністю до 60 м² у годину.

2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ СТІЛЬНИКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1 Конструктивно-технологічні особливості неметалевих стільникових конструкцій

У світовому авіабудуванні й конструкції вітчизняних літаків ДП «Антонов» широко застосовують такі конструктивно-технологічні рішення, що належать до класу інтегральних конструкцій із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) [10, 14], а саме:

- каркасних конструкцій (монолітних обшивок, підкріплених елементами каркаса у вигляді ребер, рифтів, заповнених пінопластом);
- тришарових конструкцій зі стільниковим заповнювачем з алюмінієвої фольги, полімерного паперу або склопластика.

Стільники з алюмінієвої фольги, що мають високі механічні характеристики, застосовують уже багато десятиліть, у тому числі й на початковому етапі створення конструкцій з ПКМ. Складність задовольнити комплекс технологічних вимог при виготовленні та герметизації металевих стільникових конструкцій призводять до скупчення вологи і утворення корозії в металевих сотах. Такий дефект з'являється на літаках при експлуатації і знижує надійність цих конструкцій. У стільниковому заповнювачі на основі полімерсотопласта марки ПСП-1, який використовують при експлуатації авіаційної техніки, поступово замінюють металеві стільники з алюмінієвої фольги. Область застосування ПКМ в конструкції сучасного літака показано на рисунку 2.1.

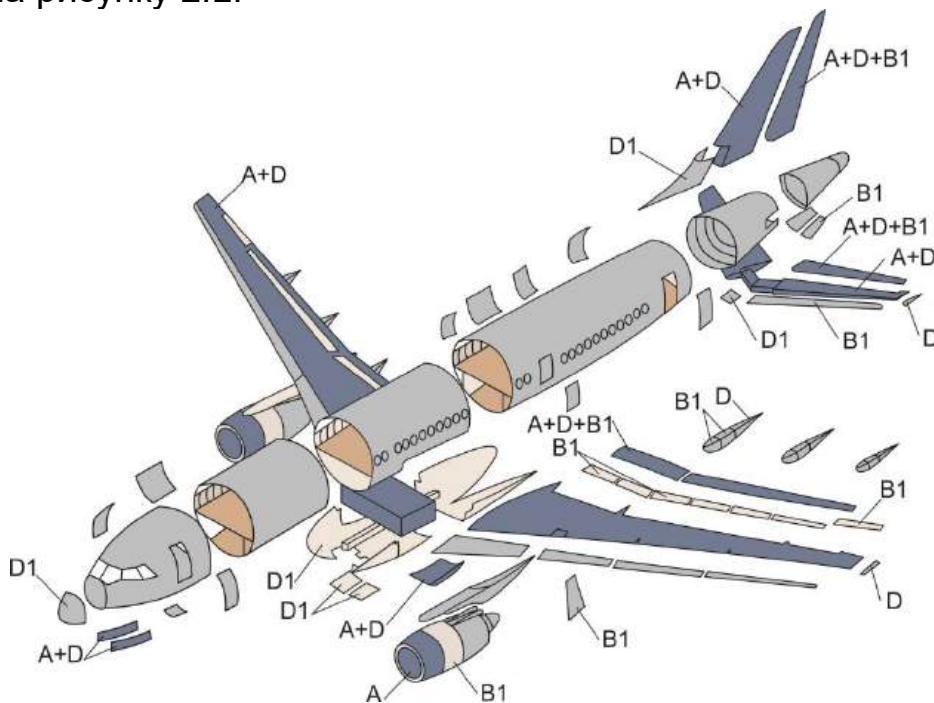


Рисунок 2.1 – Область застосування ПКМ у конструкції літака:

А – вуглецева стрічка; D – склотканина; B1 – вуглецева тканина для стільникових конструкцій; D1 – склотканина для стільникових конструкцій

Використання ПКМ потребує створення нових комп'ютерних методів проектування і розроблення технологічних процесів і засобів оснащення. При цьому слід забезпечити їх наступність у дослідному і серійному виробництві. Це пояснюється тим, що в агрегатах з ПКМ технологія значною мірою визначається складом засобів технологічного оснащення для їх виготовлення.

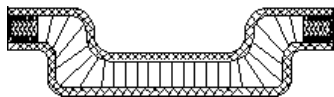
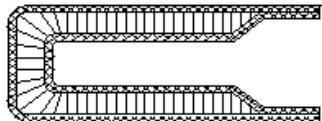
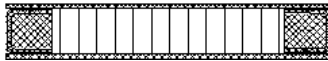
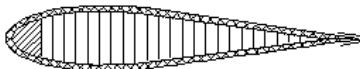
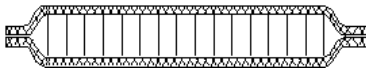
При виробництві з ПКМ стільникових конструкцій для сучасного літака є можливою реалізація двох варіантів:

- тришарової конструкції з обшивками з вуглепластиків і алюмінієвим стільниковим заповнювачем або заповнювачем на основі полімеросотопласта марки ПСП-1;

- інтегральної конструкції типу обшивки з підкріплювальним поздовжнім або поперечно-поздовжнім силовим набором, відформованим одночасно з обшивкою, і який є з нею одним цілим.

Панелі й обтічники зовнішнього контуру фюзеляжу, носка і панелей хвостової частини крила, агрегати механізації крила, рулі, гальмівні щитки можуть бути виконані у вигляді тришарової стільникової конструкції з обшивками з органопластика або вуглепластика (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Типові варіанти стільникових конструкцій з ПКМ

Типові варіанти стільникових конструкцій з полімерних матеріалів		
Форма поверхні	Ескізи типових перетинів	Зони встановлення
Плоска, подвійної або одинарної кривизни		Панелі зализів крила і оперіння, кришки люків, дверей, створи ніш шасі
Плоска з лінійчастими перегинами		Короби для захисту монтажів і комунікацій
Одинарної кривизни з лінійчастими перегинами		Обтічники монорейок механізації крила
Плоска, одинарної кривизни		Панелі підлоги, кришки люків
Лінійчасті		Елерони, закрилки, передкрилки
Плоска або одинарної кривизни		Герметичні щитки, створи ніш шасі

У конструкцію хвостових відсіків лопатей з ПКМ сучасних вертольотів входять обшивки і нервюри з органіта марки 7Т, стільниковий заповнювач з полімерсотопласта марки ПСП-1 (рисунок 2.2) [9].

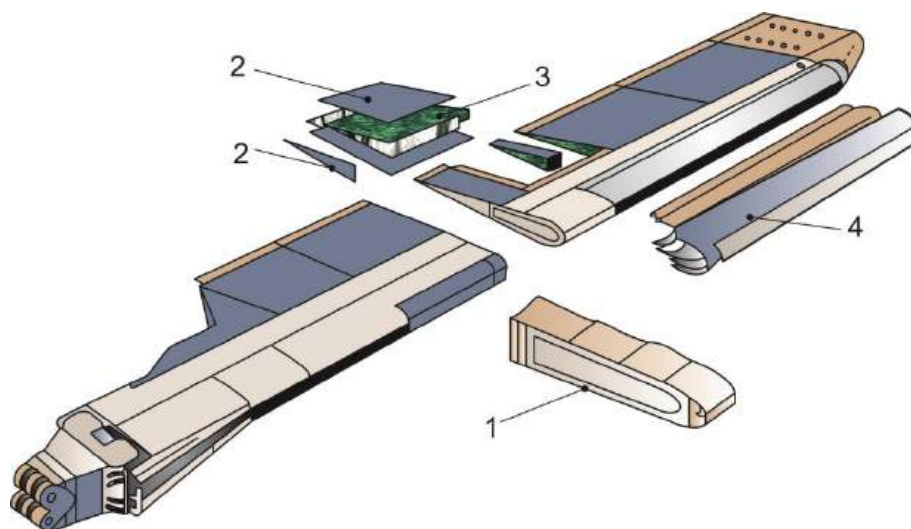


Рисунок 2.2 – Схема розташування ПКМ у лопаті вертольота:
1 – склотрикотаж АК-9; 2 – органіт; 3 – стільниковий заповнювач з полімерсотопласта ПСП-1; 4 – склотканина 33-100-70

У літаках ДП «Антонов» заміна металевих сот на полімерний стільниковий заповнювач марки ПСП-1 заплановано для таких конструктивних вузлів планера [10]:

- панелі хвостової частини крила літаків Ан-148 і Ан-70;
- панелі хвостових частин кіля і стабілізатора літака Ан-70;
- панелі підлоги пасажирської кабіни літаків Ан-140 і Ан-148;
- створи вантажного люка літака Ан-124;
- люка носового обтічника літака Ан-124;
- відсіку допоміжної силової установки літака Ан-148.

2.2 Технологія виготовлення стільникових конструкцій з ПКМ

Технологія виготовлення неметалевих тришарових панелей зі стільниковим заповнювачем із полімерного паперу передбачає таку типову послідовність:

- виготовлення полімерного стільникового заповнювача;
- укладення шарів зовнішньої і внутрішньої обшивок з вуглецевої або склотканини на технологічному оснащенні;
- затвердіння на формувальній оснастці в автоклаві внутрішньої і зовнішньої обшивок;
- оброблення полімерного стільникового заповнювача на фрезерному верстаті з ЧПК спеціальними грибковими фрезами;
- склеювання в автоклаві внутрішньої обшивки і стільникового заповнювача;
- складання внутрішньої обшивки зі стільниковим заповнювачем і зовнішньою обшивкою на негативній оснастці (зовнішня обшивка знизу);
- склеювання в автоклаві тришарової панелі;
- контроль якості склеювання і геометричних параметрів неметалевої стільникової панелі з ПКМ.

2.2.1 Виготовлення полімерного стільникового заповнювача

Технологію виготовлення полімерного стільникового заповнювача марки ПСП-1 було створено в НДІТМ (м. Дніпропетровськ) в 2001 р. на основі досліджень В. І. Сливинського [8].

Полімерний стільниковий заповнювач виготовляють у такій технологічній послідовності:

- нанесення клейових смуг рідкого клею ВК-25 на рулонний полімерний папір марки ПСП-1 і складання пакета (установка для нанесення клейових смуг моделі УНКП-1, автомат складання пакета моделі АСП-1);
- склеювання стільникового пакета (прес гідравлічний з електричним підігрівом пакета моделі Д-2938);
- обрізання пакета (машина для різання паперу моделі БР-125К);
- розкроювання пакета на заготовки (автоматизована установка з ЧПК);
- висікання і фрезерування заготовок пакета (прес гідравлічний ДБ-2430, фрезерний верстат з ЧПК ФП-7М);
- розтягнення стільникового пакета (спеціалізована установка УРБП-1);
- термічне фіксування розтягнутого стільникового пакета (піч з індукційним нагріванням).

Технологічна лінія виробництва полімерних стільникових пакетів містить установку нанесення клейових смуг УНКП-1, гідравлічний прес з електричним обігрівом моделі ДБ-2430 для групового склеювання пакетів із 300 - 500 аркушами паперу і паперорізальну машину БР-125К для обрізання стільникового пакета (рисунок 2.3).

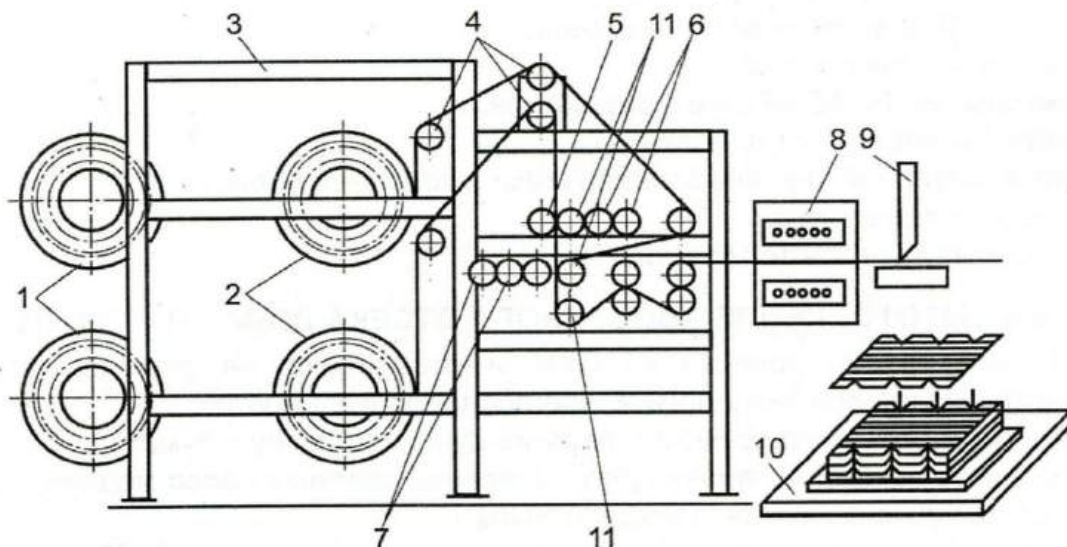


Рисунок 2.3 – Схема технологічної лінії:

- 1 – рулони паперу; 2 – змотувальний пристрій; 3 – станина;
- 4, 11 – напрямні валики; 5 – притискні валики; 6 – клеєносна валики;
- 7 – валики, що передають клей; 8 – сушильна камера;
- 9 – різальний пристрій; 10 – пристрій складання пакета

Внаслідок того, що теплопровідність полімерного паперу невелика, пакет прогрівається струмом СВЧ, при цьому досягається висока міцність заповнювача, а цикл прогрівання пакета з 500 аркушів не перевищує 20 хв.

У загальному процесі отримання полімерного стільникового заповнювача важливе місце займає технологія розтягування клеєних пакетів у блоки і подальше їх фіксування перед просочуванням. Відмінною особливістю технологічного процесу розтягування стільникового заповнювача з полімерного паперу є необхідність фіксування форми розтягнутого стільникового блока в оснастці, бо полімерний папір має високу пружність і вільний пакет після розтягування змінює форму.

В установці УРБП-1 для розтягування полімерного стільникового заповнювача є вузол фіксації розтягнутого блока (рисунок 2.4).

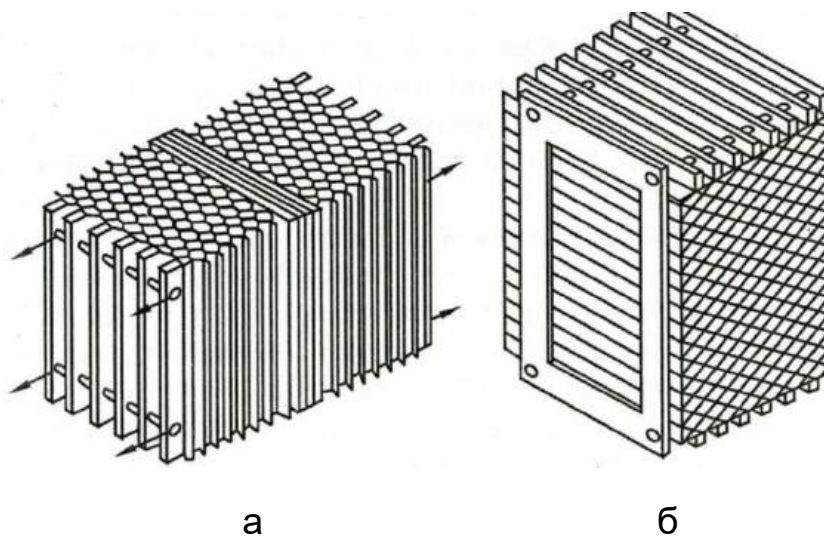


Рисунок 2.4 – Схема розтягування клеєного пакета (а)
і фіксування блока стільникового заповнювача з полімерного паперу (б)

Просочення клейовою сумишшю зафіксованого полімерного стільникового блока розміром до 600х750х2500 мм відбувається на установці УППС-1.

Установка УНК-1П для нанесення рідкої клейової композиції на торці стільникових заповнювачів з полімерного паперу дозволяє обробляти блоки заповнювача розміром до 4000х1600х200 мм при швидкості переміщення блоків до 6 м/хв і температурі сушіння до 100 ° С.

Листові заготовки з полімерного паперу марки ПСП-1 розрізають стрічковими дрібнозубими пилами (крок зубів до 5 мм) при швидкості різання від 1000 до 1500 м/хв і подачі не більше 1 м/хв.

Стільникові пакети з полімерного паперу розрізають на горизонтальному стрічкопильному верстаті з витяжкою дрібнодисперсного пилу з робочої зони в захисних окулярах і респіраторі (рисунок 2.5).

Етап чорнового оброблення грибковою фрезою торців полімерного стільникового заповнювача на спеціальному фрезерному верстаті з ЧПК РФП-6 показано на рисунку 2.6.



Рисунок 2.5 – Розрізання стільникових пакетів з полімерного паперу

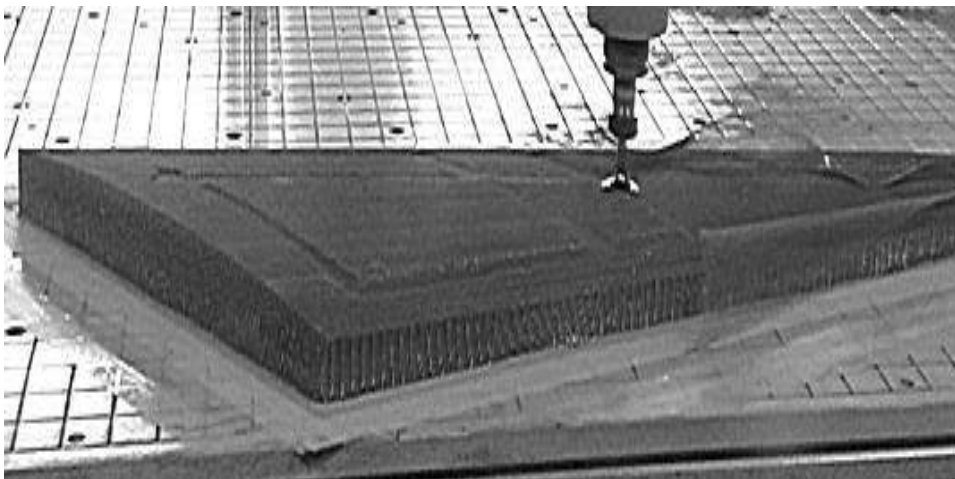


Рисунок 2.6 – Чорнове фрезерування торців стільникового блока

Рекомендовано такий режим фрезерування торців стільникового блока: частота обертання фрези – 18000 хв^{-1} , хвилинна подача – до 3500 мм/хв .

2.2.2 Автоклавне формування обшивок з ПКМ

Формування – це технологічний процес, при якому відбувається за-твердіння матеріалу (полімеризація сполучного ПКМ), створюється його кінцева структура, властивості композита одержують максимальні значення, фіксується форма виробу. В ході формування на спеціальній оснастці для виклейки ПКМ піддається одночасному впливу тиску і температури в автоклаві. Ручне викладання є найбільш простим способом підготовки до формування малонавантажених стільникових конструкцій з ПКМ різних габаритних розмірів і конфігурацій.

Тканину розкроюють на столі ручними механізованими ножицями за контурними лініями з використанням лазерного проектора (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Розкрюювання тканини з використанням лазерного проектора

З метою підвищення якості подальшого формування виробів з ПКМ шари препрега з вуглецевої стрічки для обшивок викладають на спеціальних установках з ЧПК (рисунок 2.8).

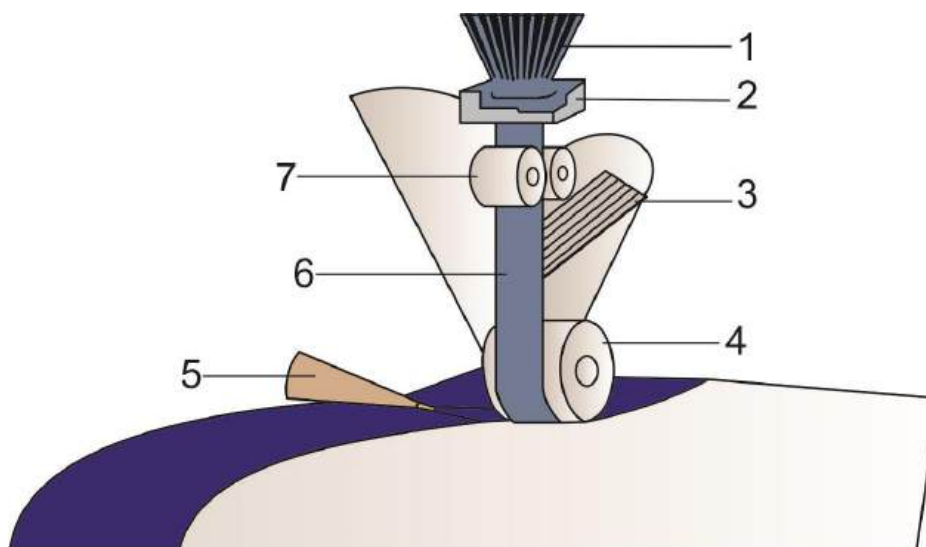


Рисунок 2.8 – Схема автоматичного викладення стрічки препрега:
1 – волокна ПКМ; 2 – формувач стрічки; 3 – ніж; 4 – притискний ролик;
5 – нагрівальна головка; 6 – стрічка препрега; 7 – ролики подання стрічки

Необхідна кількість шарів і кути викладення забезпечуються викладною головкою автоматично за керуючою програмою. Вбудована система контролю тиску і температури притискного ролика визначає стабільність технологічного процесу і високу якість властивостей формованих виробів.

Схему підготовки виклейної форми для автоклавного формування обшивки з шарів вуглецевої або склотканини показано на рисунку 2.9.

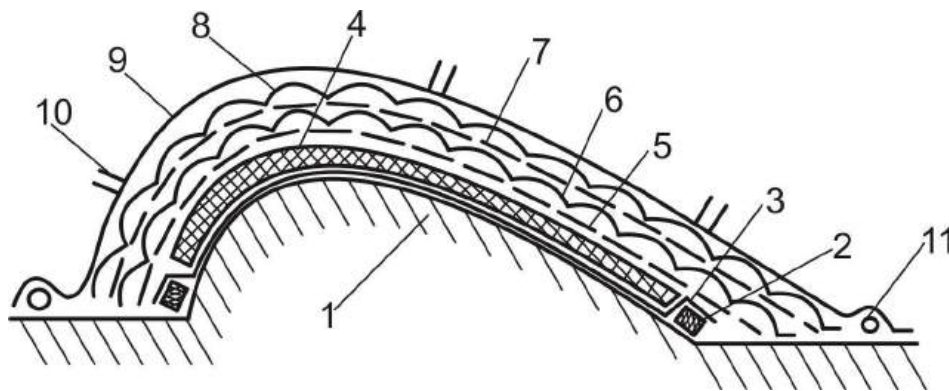


Рисунок 2.9 – Схема підготовки виклейної форми

Викладення шарів обшивок на технологічному оснащенні для автоклавного формування виконують у такій послідовності [8]:

1. Знежирення робочої поверхні виклейної форми 1.
2. Встановлення обмежувачів 2 і нанесення антиадгезійного шару 3.
3. Укладання необхідної кількості шарів заздалегідь розкrojених заготовок з вуглецевої або склотканини у вигляді препрега 4.
4. Прикочення покладених листів препрега підігрітим нежорстким валиком з метою ущільнення пакета і видалення повітряних бульбашок.
5. Монтаж в зоні технологічного припуску термопар, що забезпечує автоматичний температурний режим затвердіння в автоклаві.
6. Установлення на зовнішній шар пакета перфорованої розділової плівки 5 і всмоктуючого шару з тканини об'ємного плетіння 6.
7. Встановлення цулагі 7, що являє собою жорстку оболонку з тонколістового металу, яка є еквідистантною поверхні обшивки.
8. Монтаж дренажного шару 8 для забезпечення рівномірного розподілення розрідження під вакуумним мішком.
9. Підганяння під розмір виклейної форми вакуумного мішка 9 з газо-непроникної плівки зі штуцерами 10 для приєднання вакуумної системи.
10. Герметизація створеного вакуумного мішка еластичним джгутом 11.

На рисунку 2.10 показано упакування виклейної форми у вакуумний мішок. Ця операція потребує дотримання спеціальних вимог стосовно чистоти виробничих приміщень та одягу.

Автоклав – це герметична теплоізована ємність, що має міцний металевий корпус циліндричної форми, встановлений на основі. Корпус закрито герметичною кришкою сферичної форми. У робочій камері автоклава змонтовано рейковий шлях для переміщення візка з виклейною формою у вакуумному мішку. Невід'ємною частиною автоклавного обладнання є система вакуумування для створення надлишкового тиску.

Тиск в автоклаві створюється за допомогою компресора або випаровуванням рідкого азоту, температура – вбудованими електронагрівальними елементами або аеродинамічним обдувом.



Рисунок 2.10 – Упакування виклейної форми у вакуумний мішок

На рисунку 2.11 показано завантаження в автоклав виклейних форм з вакуумними мішками для формування обшивок літака Ан-148.



Рисунок 2.11 – Завантаження в автоклав виклейних форм

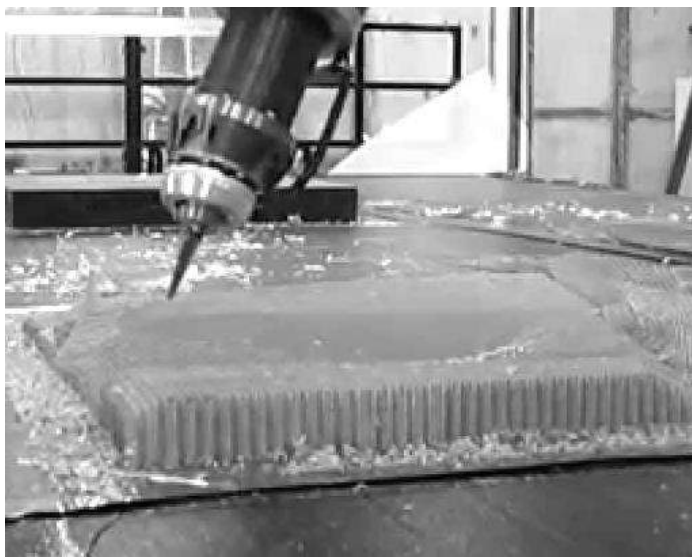
Автоклави забезпечують нагрів склеєних композиційних вузлів і агрегатів до температури 350°C при тиску до 3 МПа.

2.3 Виготовлення з ПКМ хвостового відсіку лопаті

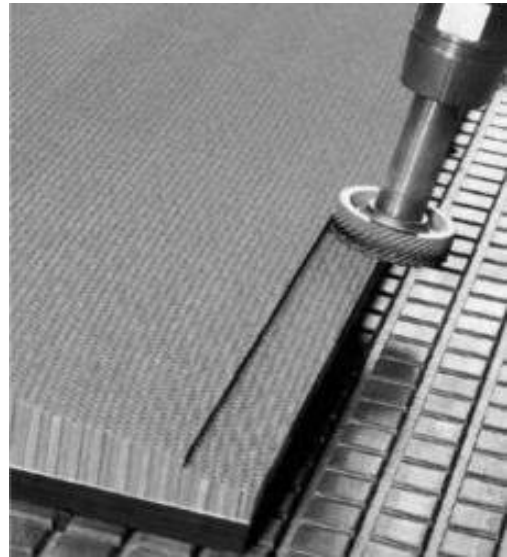
Полімерний стільниковий заповнювач хвостового відсіку лопаті вертольота виготовляють за маршрутною технологією (див. підрозд. 2.2.1).

Подальші роботи по виготовленню хвостового відсіку лопаті з ПКМ виконують в такій технологічній послідовності [9]:

- вироблення обшивок з органіта марки 7Т (установка для формування обшивок);
- виготовлення нервюр з органіта марки 7Т (установка для формування нервюр);
- створення шорсткості обшивок і нервюр для зменшення гладкості поверхні (установка для надання шорсткості поверхні);
- нанесення рідкого клею ВК-9 на торці полімерного стільникового заповнювача (установка УНК-1П для нанесення клею);
- прикочування плівкового клею ВК-3 до обшивки і нервюр (установка для прикочування СПК-1);
- склеювання стільникового заповнювача з нижньою обшивкою і нервюрами (спеціалізована установка УСХВ для склеювання хвостових відсіків);
- оброблення верхньої поверхні стільникового заповнювача (спеціальний верстат з ЧПК моделі РФП-6) (рисунок 2.12);
- складання-склеювання хвостового відсіку (спеціалізована установка УСХ-2 для склеювання хвостових відсіків).



а



б

Рисунок 2.12 – Фрезерування верхньої поверхні стільникового заповнювача хвостового відсіку: а – чорнове на клин; б – чистове

Стільниковий заповнювач на торцях фрезерують спеціальними грибовими фрезами зі швидкорізальної сталі діаметрами від 12 до 70 мм.

2.3.1 Формування хвостового відсіку лопаті

Обшивки хвостового відсіку лопаті виготовляють методом викладання «сухим» способом. Схему викладання обшивки хвостового відсіку з використанням вакуумного мішка зображено на рисунку 2.13.

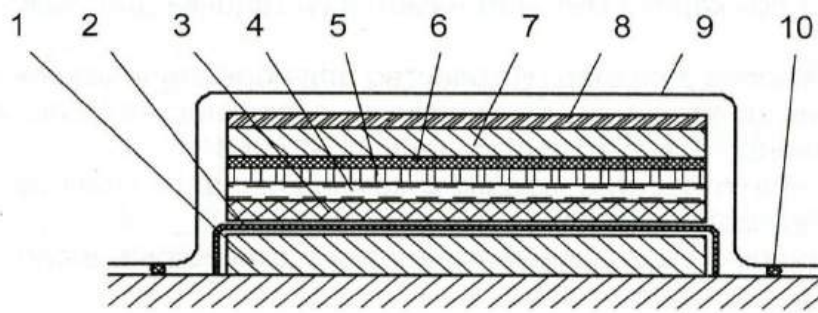


Рисунок 2.13 – Схема викладання обшивки хвостового відсіку лопаті

На виклейну поверхню форми 1 наносять роздільний шар 2 для запобігання адгезії між з'єднувачем на тканині препрега 3 з основою. На роздільний шар укладають пакет препрега і пористу плівку 4. Надмірний з'єднувач, що знаходиться в пакеті, протікаючи через пористу плівку, буде вбиратися адсорбційним матеріалом 5. На верхній роздільний шар 6 накладають металеву цулагу 7 для рівномірності передачі тиску формування на пакет і надання необхідної якості поверхні обшивки. Дренажні шари 5 і 8 відводять компоненти з'єднувача, що випаровуються, з-під вакуумного мішка 9, який герметизують джгутом 10.

На рисунку 2.14 показано вакуумний мішок зі штуцером для автоклавного формування обшивки хвостового відсіку лопаті.



Рисунок 2.14 – Вакуумний мішок для формування обшивки відсіку

Нервюри хвостового відсіку виготовляють із застосуванням спеціальних виклейних форм. Після складання виріб піддають формуванню в вакуумному мішку, вміщеному в автоклав або прес-камеру (рисунок 2.15). На форму 1 після адгезійної підготовки викладають попередньо розкроєний пакет препрега 2, на якому слідом за роздільною антиадгезійною плівкою укладають гумовий мішок 3.

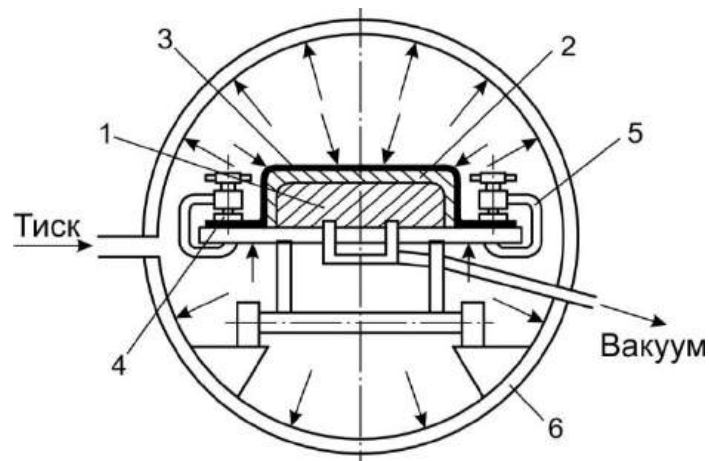


Рисунок 2.15 – Схема формування нервюри хвостового відсіку

Потім форму герметизують притисними кільцями 4 і притисками 5. Форму поміщають в автоклав 6. Перед складанням хвостового відсіку лопаті робочу поверхню складального пристосування каркасної конструкції покривають розділовим матеріалом.

Деталі обшивки на складальному пристосуванні закріплюють фіксаторами – штифтами і липкою стрічкою, при складанні з клейової плівки знімають роздільну плівку. Для герметизації вакуумного мішка використовують еластичний джгут. Після відкачування повітря з мішка складальне пристосування з хвостовим відсіком стільникової конструкції розміщують в автоклаві (рисунок 2.16).

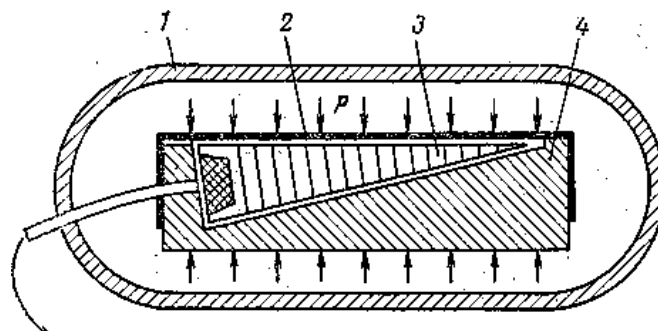


Рисунок 2.16 – Схема склеювання хвостового відсіку: 1 – автоклав; 2 – вакуумний мішок; 3 – хвостовий відсік; 4 – складальне пристосування

Дренажний канал через штуцер приєднують до автономної системи вакуумування автоклава. З'єднувач твердіє при заданому термічному режимі і надмірному тиску 0,8 ... 3,0 МПа.

2.4 Особливості процесу оброблення різанням ПКМ

Характерними особливостями оброблення різанням ПКМ є:

- неоднорідність будови матеріалу та різна твердість його складових частин, що утрудняють отримання низької шорсткості поверхні. Внаслідок цього допускне спрацювання інструмента визначається технологічними критеріями затуплення, перш за все збільшенням шорсткості поверхні;

- незадовільний відвід тепла із зони різання через знижену теплопровідність ПКМ і, отже, перегрів різальних крайок інструмента. З цієї причини критерієм максимально допустимої швидкості різання часто є поява слідів вугілля на поверхні шару оброблюваної поверхні;

- інтенсивне пилоутворення, що приводить до необхідності примусового видалення пилу і стружки із зони різання за допомогою спеціальних пристроїв.

Перелічені особливості оброблення різанням ПКМ свідчать про те, що просте перенесення закономірностей процесу різання металів на ці матеріали є неприпустимим [12].

Свердління заготовок з ПКМ є одним з найбільш поширених видів оброблення. На рисунку 2.17 показано рекомендовані форми заточування різальної частини свердел зі швидкорізальних сталей для оброблення ПКМ.

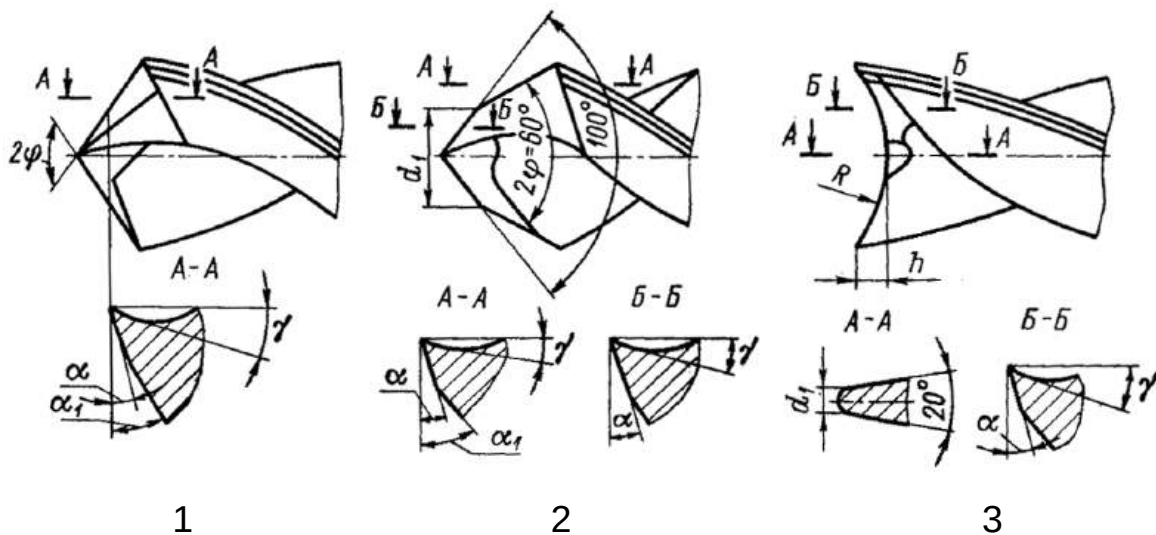


Рисунок 2.17 – Форми заточування різальної частини свердел зі швидкорізальних сталей: 1 – НПЛ; 2 – ДПЛ; 3 – ПРК

Свердла зі швидкорізальних сталей з формами заточування різальної частини типу НПЛ (нормальної), ДПЛ (подвійної) і ПРК (з підрізаними різальними крайками) застосовують для свердління отворів в скло- і вуглепластику, свердла з твердих сплавів з тими ж формами заточування – в скло-, вугле- і боропластикових заготовках.

Найбільше впливає на якість оброблення отворів кут 2φ при вершині свердла. Приймати величину кута $2\varphi < 110^\circ$ під час свердління тонких пакетів є недоцільним через небезпеку утворення отвору типу «проткнутого».

Зі збільшенням переднього кута γ шорсткість поверхні отвору зростає, спостерігається "розкуйовдження" крайок отворів, особливо в момент виходу куточків свердла з отворів. Для запобігання налипанню стружки на інструмент при свердлінні ПКМ рекомендується наносити на поверхню канавок свердел дисульфід молібдену. Під час свердління ПКМ охолоджу-

вальні рідини застосовувати не слід, бо вони змішуються з пилом і утворюють пасту, яка ускладнює свердління. Режим різання під час свердління ПКМ вибирають, виходячи із забезпечення необхідних показників шорсткості поверхні і знаючи період стійкості інструмента. Надмірно інтенсивний режим оброблення перешкоджає видаленню пилоподібної стружки, сприяє нагріванню інструмента і подальшому скріпленню стружки з поверхнею канавок свердла.

Скло- і вуглепластики фрезерують твердосплавними фрезами. Найбільш доцільно застосовувати інструмент з вольфрамокобальтових твердих сплавів. Великий вплив на стійкість інструмента мають геометричні параметри його різальної частини, тому вони мають бути правильно вибрані (рисунок 2.18).

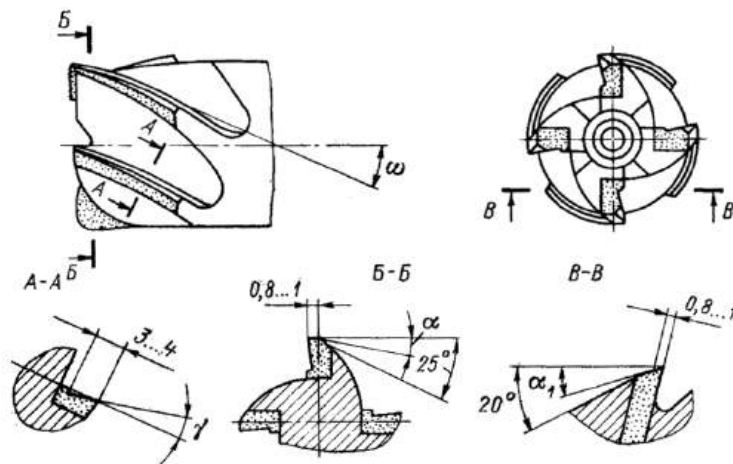


Рисунок 2.18 – Типова конструкція твердосплавної кінцевої фрези

Щоб уникнути розшаровування, вироби з ПКМ слід обробляти за схемою попутного фрезерування, бо обертання фрези має співпадати з напрямом руху подання заготовки.

При обробленні різанням виробів з ПКМ утворюється токсичний пил і дрібнодисперсна стружка. Для видалення стружки і пилу із зони різання призначено витяжну вентиляцію (рисунок 2.19).

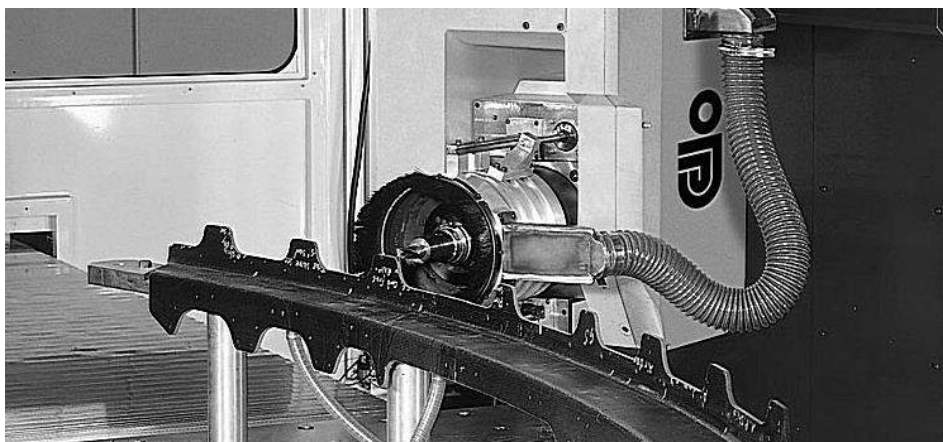


Рисунок 2.19 – Приймальник-уловлювач на шпинделі фрезерного верстата

Щоб витяжна вентиляція ефективно працювала, необхідно мати відповідну систему трубопроводів і спеціальні приймальники-вловлювачі стружки і пилу в робочій зоні верстата.

2.5 Контроль якості виготовлення виробів з ПКМ

Основними видами дефектів у виробах з ПКМ зі стільниковим заповнювачем є розшарування в обшивці (рисунок 2.20, а) і непроклеювання обшивок до заповнювача (рисунок 2.20, б).

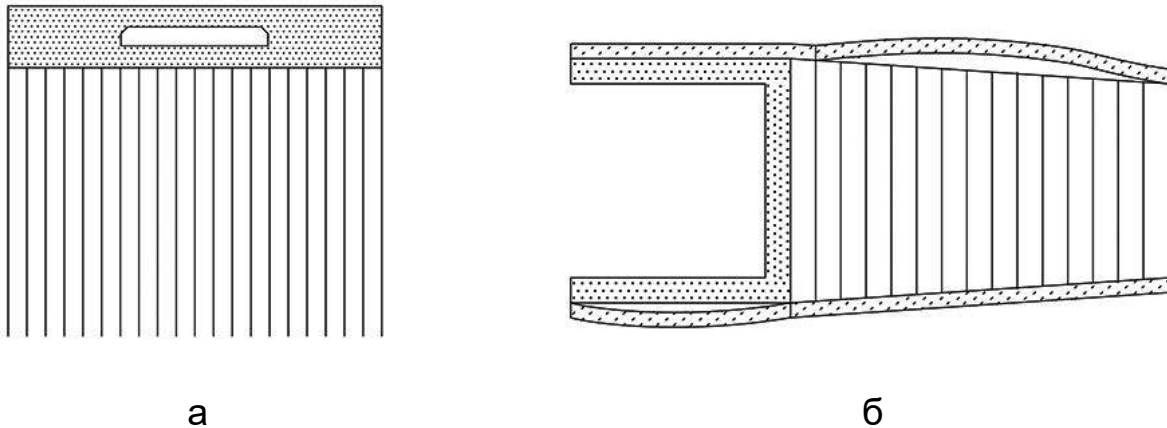


Рисунок 2.20 – Основні види дефектів у виробах з ПКМ зі стільниковим заповнювачем

Контроль якості виробів з ПКМ істотно відрізняється від контролю металевих деталей. ПКМ – неелектропровідні матеріали, тому в них значно загасають коливання і знову утворюються в процесі виготовлення конструкції. Це не дозволяє стандартизувати вимоги до матеріалу, що поставляється, і змушує проводити загальний або вибіркового контроль матеріалу вже в готових конструкціях. Крім того, через специфічні властивості ПКМ не можна повною мірою використовувати дефектоскопи, що застосовують для контролю металів [11]. Це сприяло розробленню і впровадженню нових приладів, оснований на акустичних, рентгенівських і оптичних методах контролю. Акустичні методи завдяки своїй мобільності становлять більше 60 % відносно інших методів неруйнівного контролю. Наприклад, для неруйнівного контролю якості склеювання виробів з ПКМ вже багато років використовують акустичні дефектоскопи АД-40І, АД-50У, оптиковолоконний ендоскоп моделі РВП-456, автоматизовану установку контролю непроклея УКН-4П.

Сучасний акустичний дефектоскоп АД-60К призначено для неруйнівного контролю виробів з ПКМ за допомогою комбінації методів імпедансного і вільних коливань. Дефектоскоп дозволяє підключати будь-які типи імпедансних (суміщених, роздільно-суміщених) і ударних (з п'єзоелементами або мікрофоном) перетворювачів.

На рисунку 2.21 показано етап контролю в лабораторних умовах розшарування зразка-свідка багатошарової панелі з ПКМ.

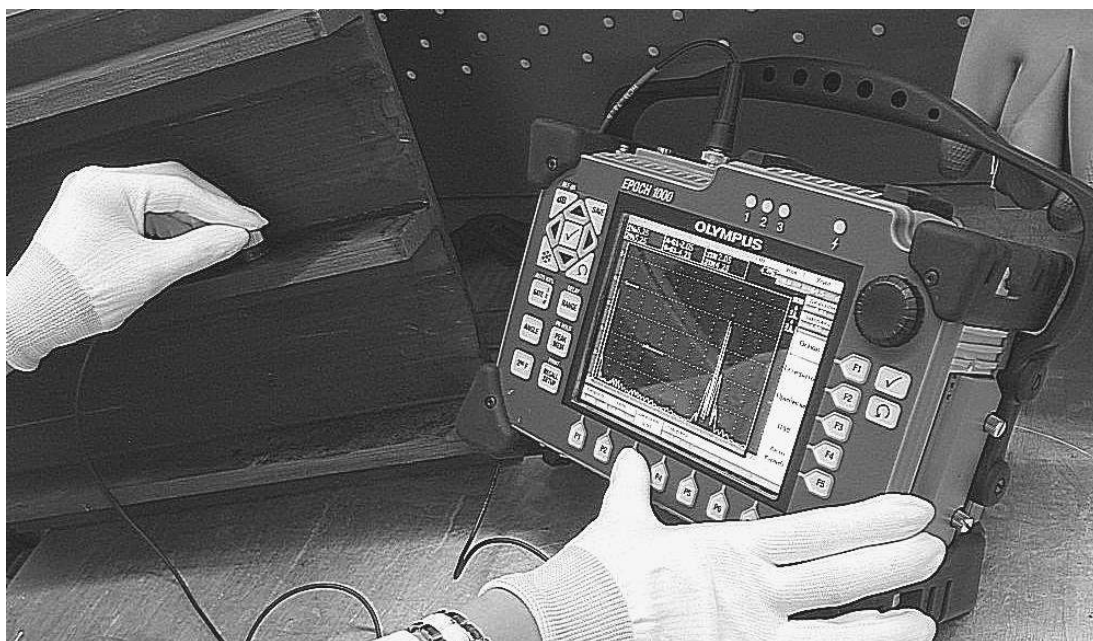


Рисунок 2.21 – Контроль розшарування в багатошаровій панелі з ПКМ

Сучасний імпедансний дефектоскоп ІД-91м призначено для виявлення локальних розшарувань і порушення цілісності в багатошарових клейових конструкціях з ПКМ. Рівень сигналу, що відображається на індикаторі дефектоскопа, пропорційний механічному імпедансу об'єкта контролю в точці установки перетворювача.

На рисунку 2.22 показано етап контролю в лабораторних умовах непроклеювання обшивки до стільникового заповнювача з ПКМ зразка-свідка.

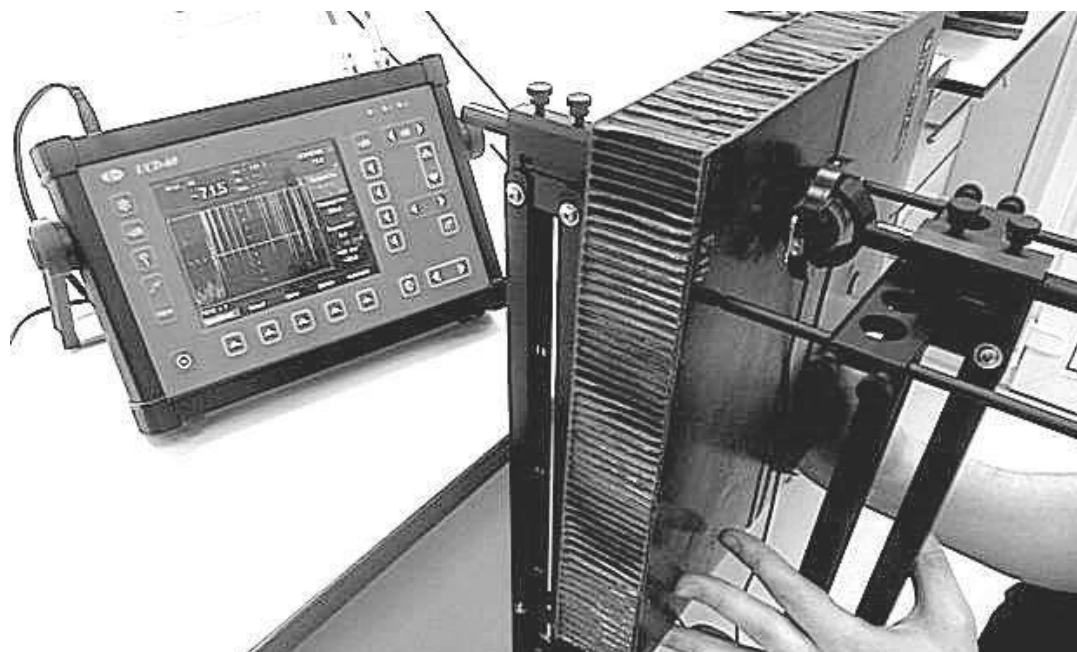


Рисунок 2.22 – Контроль непроклеювання обшивки до стільникового заповнювача

Сучасні автоматизовані установки контролю непоклеювання виробів з ПКМ мають робочу зону довжиною до 30 метрів (рисунок 2.23).



Рисунок 2.23 – Автоматизована установка контролю непоклеювання

Контроль якості виробів з ПКМ застосовують на всіх етапах створення композитних конструкцій: відпрацювання технологічного процесу; сертифікації виробництва; виявлення змін внутрішньої структури виробів при випробуваннях і в період експлуатації; вивчення нових конструкторсько-технологічних рішень.

Впровадження у виробництво технологічних процесів виготовлення виробів з ПКМ потребує корінного технічного переоснащення підприємств, освоєння специфічних процесів оброблення ПКМ, проведення численних проектних і наукових досліджень, пов'язаних з розробленням нового обладнання, оснащення та спеціалізованого програмного комп'ютерного забезпечення.

В авіабудівній галузі України було освоєно процеси ручної й частково механізованої викладки великогабаритних конструкцій, автоматизованого їх намотування, автоклавного і термокомпресорного формування; виготовлення тришарових стільникових панелей і монолітних інтегральних конструкцій, клепаних і болтових з'єднань вузлів і агрегатів з ПКМ, неруйнівного контролю.

Необхідно відзначити, що в останні роки в зв'язку з тенденцією уніфікації стандартів на виробництво і випробування ПКМ авіаційного застосування, стандартів сертифікації виробів і виробництв до процесу оновлення і створення нових міжнародних стандартів залучаються найбільші виробники авіаційної техніки [14]. Розвиток поставки вітчизняної авіаційної техніки за рубіж привів до необхідності удосконалення вітчизняних галузевих стандартів до рівня міжнародних.

3 ОСОБЛИВОСТІ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ТРУДНОДЕФОРМІВНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Основні характеристики високоміцних нержавіючих сталей і титанових сплавів [4]

Сталь **ВНС-2** (08X15H5Д2Т) є хромонікелевою нержавіючою сталлю мартенситного класу, зміцненою старінням. Застосовується для виготовлення обшивок і деталей внутрішнього набору літака, що працюють в різних атмосферних умовах і в контакті з паливом при температурах до 400° С. Листи зі сталі ВНС-2 в нормалізованому (загартованому) стані мають задовільну пластичність, їх можна застосовувати для штампування деталей середньої складності. Ця сталь найбільш пластична після відпалу при температурі 640° С.

Зміцнення сталі здійснюється термічним обробленням, що складається з загартування при температурі 950° С і старіння при температурі 450° С. При цьому рівень міцності $\sigma_B = 1250$ МПа.

Сталь **СН-3** (08X17H5М3) – нержавіюча хромонікельмолібденова сталь перехідного (аустенитно-мартенситного) класу. Її використовують для виготовлення обшивок і деталей внутрішнього набору, а також зварних вузлів виробів, що працюють в атмосферних умовах при температурі до 500° С. Листи зі сталі СН-3 після високотемпературного загартування (з 1050° С) мають високу пластичність і можуть піддаватися глибокій витяжці, згинанню з малими радіусами скруглення та іншим технологічним операціям, де потрібна висока ступінь деформації. Сталь може піддаватися деформаційному зміцненню прокаткою з отриманням полунагартованого і нагартованого станів. Зміцнення сталі СН-3 досягається гартуванням, починаючи з 910° С, обробленням холодом при -70° С і подальшим старінням при 450° С. Зміцнення полунагартованої і нагартованої сталі СН-3 здійснюється одним старінням при 450° С. При цьому $\sigma_B = 1200$ МПа.

Сталі **EI878** (12X17Г9АН4) і **EI654** (15X18М12С) є зварюваними нержавіючими сталями аустенітного класу, що мають високу корозійну стійкість на повітрі в умовах вологого середовища. Сталі EI878 і EI654 можна також застосовувати в агресивних середовищах і при контакті з паливом. Сталі мають високу пластичність, добре штамнуються, зварюються, не зміцнюються термічним обробленням. Високотемпературне одноразове гартування забезпечує високу корозійну стійкість в результаті утворення однофазної аустенітної структури. Пластичність загартованої сталі висока ($\delta \approx 25...40\%$).

Сплав **ОТ4-1** – це низьколегований титановий сплав системи Ti-Al-Mn, що має високу пластичність і невисоку міцність ($\sigma_B \leq 700$ МПа). Особливістю сплаву є його висока технологічна пластичність. Сплав добре деформується в гарячому і холодному станах. Листове штампування дета-

лей, як правило, здійснюється в холодному стані. При штампуванні складних деталей застосовують проміжне відпалювання. Сплав ОТ4-1 має високу термічну стабільність і не окрихчується при температурах до 300° С. Його використовують у відпаленому стані для виготовлення деталей широкої номенклатури внутрішнього набору літака.

Сплав **ОТ4** системи Ti-Al-Mn містить дещо більшу кількість алюмінію (3,5...5 %), ніж сплав ОТ4-1, і відрізняється більш високою міцністю і жароміцністю. Його застосовують для виготовлення деталей внутрішнього набору і зварних вузлів літака, що працюють тривалий час при температурах до 300° С. Сплав добре деформується в гарячому стані і обмежено в холодному (тільки для виготовлення деталей простої форми). Температурний інтервал деформації становить 850...1000° С. Охолодження здійснюють після штампування на повітрі. Відпалювання листів для зняття нагартовки проводиться при температурі 680...730° С. Сплав має високу термічну стабільність і не окрихчується при тривалій роботі під напругою при температурі до 400° С, добре зварюється аргонодуговим і контактним (точковим, роликовим, стиковим) способами. Єдиним видом термічного оброблення сплаву є відпалювання, яке застосовують для зняття внутрішніх напружень.

Сплав **BT20** – це сплав системи Ti-Al-V-Mo, що використовується для виготовлення листових деталей і зварних вузлів, які тривалий час працюють при температурах 450° С (6000 год) і 500° С (3000 год), а також короткочасно (до 5 хв) при температурах до 800° С. Сплав BT20 добре деформується в гарячому стані і добре зварюється усіма способами, що застосовуються для титанових сплавів. Механічні властивості зварних з'єднань не поступаються властивостям основного металу.

Підвищення пластичності зварного з'єднання відбувається після відпалювання при температурі 700...800° С. Відпалювання є єдиним видом термічного оброблення сплаву. Відпалювання листів проводиться при температурі 700...800° С з наступним охолодженням на повітрі.

3.2 Розкроювання листового матеріалу

До розкрійних робіт належать усі види робіт, пов'язані з виконанням роздільних операцій, тобто з виготовленням плоских деталей і заготовок для деталей просторової форми.

Ефективність розкроювання листових матеріалів в заготівельно-штампувальному виробництві визначається сукупністю організаційно-технічних рішень з урахуванням економічної доцільності застосування того чи іншого способу розкроювання. Перш за все слід зазначити, що для підвищення ефективності розкрійних робіт на заводі доцільно створити спеціалізований розкрійний цех на базі розкрійних ділянок заготівельно-штампувальних цехів.

У наш час найбільшого поширення в заготівельно-штампувальному виробництві набула технологія розкроювання зсувною деформацією. Ця

технологія реалізується з використанням ножиць різної конструкції (гільйотинних, роликових, вібраційних та ін.) або штампів на механічних пресах. Наявне в цехах обладнання (ножиці, прес) орієнтоване в основному на оброблення алюмінієвих сплавів та інших маломіцних матеріалів. Спроба розкroїти на цьому обладнанні високоміцні нержавіючі сталі й титанові сплави неминуче призводить до різкого зниження стійкості різального інструмента, якості різання і, кінець кінцем, до зниження економічних показників. Збереження стійкості різального інструмента і якості на прийнятному рівні можливо за рахунок підвищення характеристик жорсткості обладнання та виготовлення різального інструмента з більш доброякісних матеріалів.

Існуючі дводискові ножиці дозволяють обрізати матеріал міцністю $\sigma_B = 1350$ МПа товщиною не більше 1,2 мм або міцністю $\sigma_B = 500$ МПа товщиною до 2,5 мм. В умовах сучасного виробництва 40 % деталей, що підлягають обрізуванню, мають великі товщини: до 3 мм із сталей і до 5 мм з алюмінію. Стійкість інструмента при різанні сталей максимальної товщини не перевищує 20 хв. Посилені роликові ножиці (мод. k30.029) дозволяють обробляти матеріал міцністю $\sigma_B = 2000$ МПа товщиною до 3 мм. При цьому підвищується якість різання і в 4-5 разів збільшується стійкість інструмента [1].

Заслуговує на увагу і досвід застосування спрощених пластинчастих штампів для розкроювання деталей з габаритними розмірами до 300x400 мм з високоміцних нержавіючих сталей і титанових сплавів товщиною до 1,5 мм [4]. На рисунку 3.1 показано типовий пакет пластинчастого вирубного штампу.

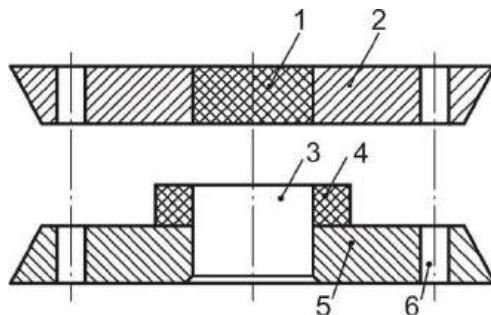


Рисунок 3.1 – Пакет пластинчастого штампа: 1 – виштовхувач;
2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – знімач; 5 – пуансонотримач;
6 – отвори для фіксації пакета в універсальному блоці

Робочі елементи штампа зазвичай виготовляють зі сталі 20, цементують і гартують. Товщина пластин матриці і пуансонотримача – 8...10 мм. Виштовхувач 1 і знімач 4 – поліуретанові. Пластини матриці і пуансонотримача встановлюють в універсальному блоці по отворах 6, оброблених в спеціальному кондукторі, який використовують також для оброблення отворів під фіксуючі штифти в універсальному блоці. Останнім часом для

кріплення пакета частіше застосовують магнітні блоки. У плити цих блоків вмонтовані електромагніти для кріплення пластин штампа силами магнітного тяжіння. Вдалося істотно знизити витрати щодо застосування таких штампів внаслідок використання литих матриць з ливарного сплаву на основі цинку (ЕКБ), хімічний склад якого наведено в таблиці 3.1. Межа міцності сплаву $\sigma_{\text{Б}} = 280$ МПа.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сплаву ЕКБ

Вміст компонентів, %					
Al	Cu	Cr	Mg	Si	Zn
4,6...5,0	3,4...4,0	0,1...0,2	0,5...0,8	0,3...0,5	Решта

Основною перевагою штампів зі сплаву ЕКБ є те, що з процесу виготовлення виключають найбільш витратну операцію підгонки матриці по пунсону, оскільки матрицю відливають по пуансону. Сплав є оборотним, що дозволяє переливати його багаторазово. Крім того, він має невисоку температуру плавлення ($380...400^{\circ}\text{C}$) і задовільну плинність, що дозволяє відливати матриці складної конфігурації. Відливання матриць здійснюється в кокіль із швидким охолодженням їх у воді від температури $250...270^{\circ}\text{C}$ до кімнатної, завдяки чому підвищується твердість і стійкість матриць.

Для вирубання дрібних деталей застосовують штампи з литими робочими частинами (матрицями, знімачами, пуансонотримачами) зі сплаву на основі міді (ОС). Матриці за точно виготовленим пуансоном в цьому випадку заливають при температурі 1350°C . Для виготовлення штампів з матрицями як з цинкового сплаву, так і штампів з матрицями зі сплаву ОС застосовують пуансони зі сталей У8А, У9, Х12М, термооброблені до $\text{HRC} = 56...60$.

Сприятливе поєднання фізико-механічних властивостей пуансонів і матриць дозволяє отримувати деталі з кольорових сплавів, нержавіючих сталей і титанових сплавів товщиною до 1,5 мм без задирок. Стійкість штампів при цьому становить: з матрицями із цинкового сплаву – до 1500 шт., з матрицями зі сплаву ОС – до 10 тисяч шт. Застосування штампів з литими матрицями дозволяє скоротити витрати дефіцитних інструментальних матеріалів; ліквідувати висококваліфіковану працю з доведення і підганяння матриць; скоротити трудомісткість виготовлення штампів в 3 – 5 разів; зменшити цикл виготовлення штампів в 3 рази.

Великогабаритні заготовки на підприємствах галузі криволінійно розкроюють на різних фрезерних верстатах. Впровадження розкрою на розроблених НІАТ розкрійних фрезерних портальних верстатах з ЧПК РФП-1 і РФП-2, що дозволяють розрізати заготовки розмірами 11000x2000 мм і 6000x2000 мм відповідно, дало можливість суттєво підвищити технічний рівень криволінійного розкроювання листів з алюмінієвих сплавів. Перелічені спеціалізовані розкрійні верстати є одношвидкісними, орієнтованими на режими оброблення, характерні для алюмінієвих сплавів. Споживчі

швидкості різання при обробленні легких сплавів і високоміцних титанів і сталей дуже відрізняються. Тому застосувати ці верстати для розкроювання заготовок з нержавіючих сталей і титанових сплавів не є можливим.

На окремих підприємствах великогабаритні заготовки з високоміцних матеріалів розкроюють на верстатах з ЧПК типу ФП-17, 6Н13ГН1, які можуть забезпечити необхідні режими оброблення. При цьому з урахуванням міцнісних властивостей оброблюваних матеріалів використовують кінцеві фрези з робочою частиною з матеріалу марки ВК-8 і діаметром 16...25 мм. Значна частина дорогого матеріалу листів, що розкроюють, відходить у стружку й витрати на різальний інструмент є великими.

У зв'язку з цим виникають сумніви в економічній доцільності застосування фрезерування для вирішення проблем криволінійного розкроювання високоміцних матеріалів. Таку технологію розкроювання можливо і слід застосовувати в разі, коли частка високоміцних матеріалів у загальній структурі застосовуваних матеріалів є невеликою. Зростання обсягів застосування високоміцних сталей, титанових сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів потребуватиме переоснащення виробництва новим сучасним високопродуктивним обладнанням з використанням концентрованих потоків енергії.

3.2.1 Лазерне розкроювання

Лазерне різання у наш час є однією з найбільш передових технологій в області розкроювання листового матеріалу, що відкриває необмежені можливості для виготовлення виробів складних форм із різних матеріалів, у тому числі й важкодеформівних.

Принцип газолазерного різання листових матеріалів полягає у видуданні матеріалу в розплавленому стані за допомогою одночасного впливу лазерного променя і допоміжного газу, що знаходиться під тиском, для створення прорізів в матеріалі (рисунок 3.2). Вплив лазерного променя доводить матеріал до температури плавлення і вище.

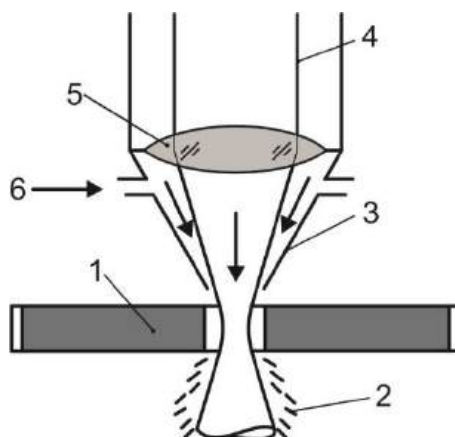


Рисунок 3.2 – Принцип газолазерного різання листових матеріалів:

1 – матеріал; 2 – шлаки; 3 – ріжуче сопло; 4 – лазерний промінь;
5 – фокусна лінза; 6 – допоміжний газ

Лазерне випромінювання нагріває, плавить і випаровує матеріал по лінії передбачуваного зрізу, а потік допоміжного газу видаляє продукти руйнування. При використанні кисню або повітря при різанні металів на поверхні руйнування утворюється оксидна плівка, що підвищує поглинальну здатність матеріалу, а в результаті екзотермічної реакції виділяється досить велика кількість теплоти.

Вплив потоку лазерного випромінювання на метал при розрізанні можна характеризувати загальними положеннями, пов'язаними з поглинанням і відбиттям лазерного випромінювання, поширенням поглинальної енергії по об'єму матеріалу, що розрізається, зважаючи на теплопровідність, а також на ряд специфічних особливостей.

В області впливу лазерного променя метал нагрівається до першої температури руйнування – плавлення. При подальшому поглинанні випромінювання відбувається плавлення металу і фазова межа плавлення переміщається вглиб матеріалу. Енергетичний вплив лазерного променя призводить до подальшого збільшення температури, що досягає другої температури руйнування – кипіння, при якій метал починає активно випаровуватися.

Отже, є можливими два механізми лазерного різання – плавленням і випаровуванням. Однак останній механізм потребує високих енергетичних витрат, його можна використовувати лише для різання досить тонкого листового металу. Тому на практиці різання виконують плавленням. При цьому з метою істотного скорочення витрат енергії, підвищення товщини оброблюваного металу і швидкості розрізання застосовується допоміжний газ, що вдувається в зону різання для видалення продуктів руйнування металу. Зазвичай як допоміжний технологічний газ використовують кисень, інертний газ або азот (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Вибір допоміжного газу

Допоміжний газ	Матеріал, що розрізається
Аргон, гелій	Титанові сплави
Азот, гелій	Нержавіючі та конструкційні сталі
Кисень	Низьколеговані сталі й алюмінієві сплави

Лазерне різання з нейтральним газом зазвичай застосовується в тих випадках, коли є небажаним окислення кромки металу, наприклад, при різанні нержавіючої сталі, титану та ін. Ефективність різання в нейтральному газі нижче, ніж лазерно-кисневого різання, де присутні додаткові джерела нагріву в результаті хімічних реакцій окиснення.

Лазерне різання з киснем характерне тим, що при взаємодії кисню з розігрітим металом відбувається екзотермічна реакція окиснення.

Кисень при газолазерному різанні виконує потрібну функцію:

– сприяє попередньому окисненню металу і знижує його здатність відображати лазерне випромінювання;

– потім метал запалюється і горить у струмені кисню, в результаті чого виділяється додаткова теплота, яка посилює дію лазерного випромінювання;

– кисневий струмінь здуває і забирає з області різання розплавлений метал і продукти його згоряння, забезпечуючи одночасний приплив газу безпосередньо до фронту горіння.

Залежно від властивостей металу, що розрізають, застосовують два механізми газолазерного різання. При першому значним внеском в загальний тепловий баланс є теплота реакції горіння металу. Такий механізм зазвичай використовується для різання матеріалів, схильних до займання та горіння нижче точки плавлення, і його утворюють рідкоплинні оксиди. Прикладами можуть бути низьковуглецева сталь і титанові сплави.

При другому механізмі різання матеріал не горить, а плавиться, і струмінь газу видаляє рідкий метал з області різання. Такий механізм застосовується для лазерного різання металів і сплавів з низьким тепловим ефектом реакції горіння, а також для тих, у результаті взаємодії яких з киснем утворюються тугоплавкі оксиди. Прикладами можуть бути леговані нержавіючі і високовуглецеві сталі, алюмінієві сплави.

Лазер (оптичний квантовий генератор) – це пристрій, що генерує когерентні і монохроматичні електромагнітні хвилі видимого діапазону за допомогою вимушеного випускання або розсіювання світла атомами (іонами, молекулами) активного середовища [7].

Технологічні лазери поділяють за типами насамперед залежно від складу їхнього активного середовища.

Технологічні лазери класифікують за такими ознаками:

– агрегатним станом активного середовища (газовим, твердотільним, рідинним, напівпровідниковим);

– методом накачування (газорозрядним, газодинамічним);

– тимчасовим режимом генерації (безперервним, імпульсним, імпульсно-періодичним);

– рівнем вихідної потужності і експлуатаційними характеристиками.

Технологічний лазер складається з трьох основних вузлів:

– джерела енергії (механізму або системи накачування);

– активного (робочого) тіла, яке піддається накачуванню, що призводить до його вимушеного випромінювання;

– оптичного резонатора (системи дзеркал), що забезпечує посилення вимушеного випромінювання активного тіла.

Для різання зазвичай застосовують лазери твердотільні (рисунок 3.3) і газові з поздовжнім або поперечним прокачуванням газу. В освітлювальній камері твердотільного лазера розміщують лампу накачування і активне тіло, що являє собою стрижень з неодимового скла (Nd-Glass), легованого ітербієм (Yb-YAG) або неодимом (Nd-YAG).

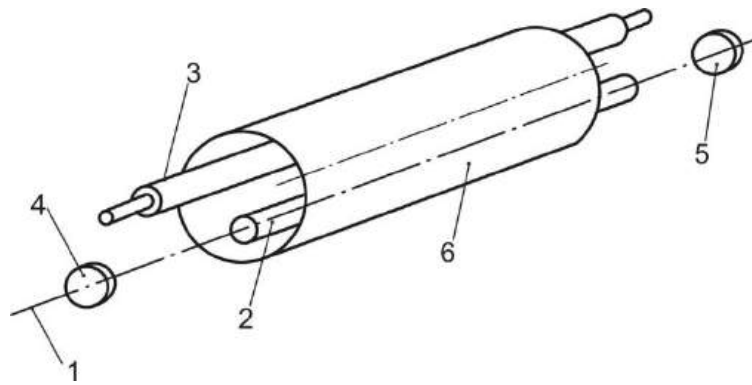


Рисунок 3.3 – Схема твердотільного технологічного лазера: 1 – промінь лазера; 2 – активне тіло; 3 – лампа накачування; 4 – частково прозоре дзеркало; 5 – відображальне дзеркало; 6 – освітлювальна камера

Лампа накачування створює потужні світлові спалахи для збудження атомів активного тіла. У торцях стрижня розташовані дзеркала резонатора – частково прозоре і відображальне. Лазерний промінь посилюється в резонаторі за рахунок багаторазових відображень всередині активного тіла і виходить через частково прозоре дзеркало.

У газових технологічних лазерах як активне тіло застосовують суміш газів, зазвичай вуглекислого газу, азоту і гелію. В лазерах з поздовжньою прокачкою суміш газів, що надходить з балонів, прокачується за допомогою насоса через газорозрядну трубку. Електричний розряд між електродами, підключеними до джерела живлення, використовується для енергетичного збудження газу. У торцях трубки розміщені дзеркала резонатора – напівпрозоре і відображальне. Більш компактними і потужними є газові лазери з поперечним прокачуванням газу (рисунок 3.4). Їхня вихідна потужність може перевищувати 20 кВт.

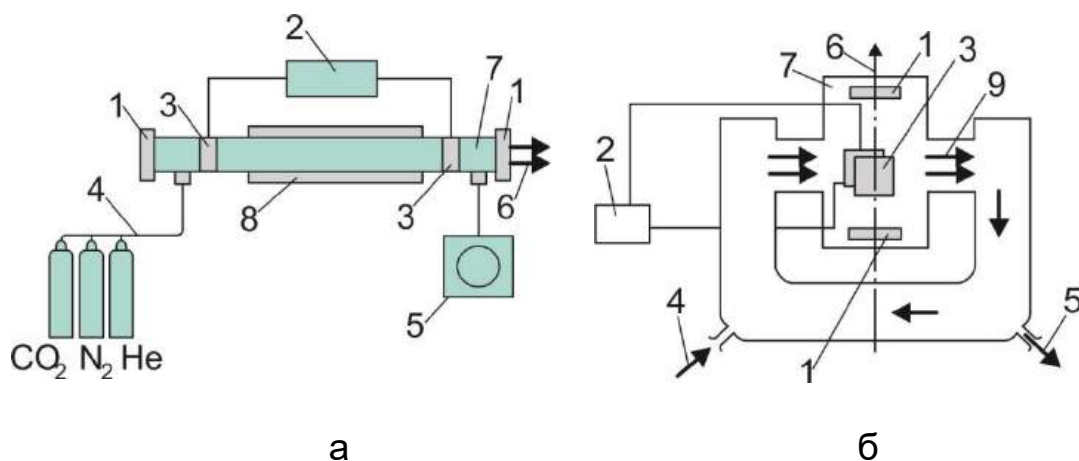


Рисунок 3.4 – Схеми лазерів: а – з поздовжнім прокачуванням газу; б – з поперечним прокачуванням газу (1 – дзеркало; 2 – блок живлення; 3 – електроди; 4 – вхід газової суміші; 5 – відсмоктувач відпрацьованих газів; 6 – лазерний промінь; 7 – газорозрядна трубка; 8 – система охолодження; 9 – напрям прокачування газів)

Серійні твердотільні лазери мають порівняно невелику потужність, як правило, що не перевищує 5 кВт. Довжина хвилі випромінювання лазера на неодимовому склі та ітрій-алюмінієвому гранаті – 1060 нм. Режим випромінювання може бути імпульсним або імпульсно-періодичним.

Твердотільні лазери погано обробляють неметали, оскільки такі матеріали повністю або частково прозорі для випромінювання з довжиною хвилі 1060 нм, наприклад, оргскло. Лазерний промінь більш чутливий до нерівної поверхні оброблюваного матеріалу. Однак при розкроюванні алюмінієвих сплавів, міді та латуні твердотільні лазери мають перевагу порівняно з вуглекислотними, оскільки поглинання випромінювання поверхнею цих металів значно вище на довжині хвилі твердотільного лазера.

Вуглекислотні лазери більш універсальні, їх застосовують для оброблення майже будь-яких металів і неметалів. Крім того, дуже низька розбіжність променя дозволяє розмістити джерело лазерного випромінювання поза зоною оброблення без втрати якості променя.

Залежно від конструктивних особливостей випромінювачів є можливою реалізація безперервного або імпульсно-періодичного режиму лазерного різання. В наш час для розкроювання листових матеріалів більшого поширення набуло використання лазерів безперервної дії.

Технологічний лазер як джерело потужного лазерного випромінювання, що відповідає заданим технічним вимогам, є основним компонентом лазерного технологічного обладнання, хоча самостійно в промисловості не застосовується.

Практично всі вітчизняні й зарубіжні фірми на продаж виставляють не технологічні лазери, а лазерні технологічні установки і лазерні технологічні комплекси.

Лазерна технологічна установка (ЛТУ) – це технологічний лазер із зовнішнім оптичним трактом і комплектом зовнішньої оптики. У більшості випадків у ЛТУ є маніпулятор виробів, робота якого не пов'язана з роботою лазера. ЛТУ призначені в основному для виконання спеціалізованих технологічних операцій. Прикладом такої установки може бути "Харків – Л" (ЗАТ "Інститут УКРОГСТАНКІМПРОМ", Україна). В установці використано промисловий CO₂ – лазер Fanuc C4000E або RofinSinar потужністю 4 кВт, за допомогою якого розрізали листи з конструкційної сталі товщиною до 20 мм, нержавіючої сталі – до 12 мм, алюмінію – до 8 мм. Розміри розрізаного листа – 1500x3000 мм.

Вітчизняна фірма НЦП «Лазери і апаратура ТМ» протягом багатьох років успішно здійснює розроблення і серійне виробництво лазерного технологічного обладнання широкої номенклатури нового покоління для різання і розкроювання (МЛЗ і МЛ4).

Сучасний лазерний технологічний комплекс (ЛТК) являє собою складну автоматизовану систему. ЛТК містить:

- пристрої зовнішньої оптики, що забезпечують формування плями лазерного випромінювання, візуальний і параметричний контроль процесу;
- системи технологічної прив'язки процесу і з'єднання ЛТК з іншим обладнанням в єдину технологічну лінійку;
- блоки живлення, системи управління і контролю, охолодження, пневматичні блоки.

Основними ж частинами є лазер і кінематичні блоки (координатні столи і приводи, скануючі системи, системи стеження за профілем деталі та ін.), необхідні для організації переміщення деталі і плями, а також оброблення по заданому контуру (кресленням). Крім того, сучасний ЛТК є неможливим без засобів цифрового оброблення інформації і спеціального програмного забезпечення, що дозволяє управляти технологічним процесом, здійснювати контроль і діагностику складових частин і системи в цілому.

У ряді застосувань ЛТК має не тільки забезпечувати автоматичне оброблення, управління і контроль якості процесу і виробу, але й уміти самостійно приймати рішення і здійснювати заходи щодо забезпечення необхідної якості в разі відхилення технологічних параметрів. Таким чином, у сучасних ЛТК втілено досягнення багатьох напрямків високотехнологічного виробництва, і одночасно розвиток лазерних технологій багато в чому визначає розвиток практично всіх галузей сучасної промисловості [7].

ЛТК моделі PLATINO-2040 відомої італійської компанії PRIMA INDUSTRIE використовує газовий CO₂-лазер і належить до виробів світового рівня (рисунок 3.5).



а



б

Рисунок 3.5 – ЛТК моделі PLATINO 2040: а – загальний вигляд;
б – фрагмент різання

ЛТК, як і більшість комплексів компанії, має монолітну конструкцію, в яку вбудовано всі вузли, приводи, система управління, резонатор. Цей комплекс відрізняється консольною компоновкою поперечної координати. Його призначено для високоточного газолазерного різання листових матеріалів широкого спектру товщиною від 0,2 до 20 мм при високих швидкостях. Установку оснащено пристроєм автоматичного завантаження, що дозволяє звести до мінімуму час завантаження і вивантаження листів.

Система безконтактного автофокусування лазерного променя забезпечує автоматичну зміну розміру фокальної плями і положення сопла для безперервного різання різних матеріалів у широкому діапазоні товщини.

У таблиці 3.3 наведено основні технічні характеристики ЛТК PLATINO-2040.

Таблиця 3.3 – Основні характеристики ЛТК PLATINO-2040

Величина робочого переміщення по осі, мм:	
X	4000
Y	2000
Z	150
Маса листової заготовки, кг	до 1300
Швидкість переміщення по координаті, м/хв	до 110
Точність лінійного переміщення, мм	0,001
Ширина розрізу, мм	0,2
Шорсткість розрізу (Ra), мм	6,3
Діапазон потужності лазерного випромінювання, Вт	200...3000
Витрата димотяги, м ³ /час	3200
Маса, кг	11500
Модель технологічного лазера	CP3000
Споживання електроенергії, кВт	67
Довжина хвилі лазерного променя, нм	10600
Модовий режим лазерного променя	TEM00/01
Споживання допоміжного газу (кисня), л/год	20...70
Споживання стисненого повітря, м ³ /год	1800

Характерні особливості процесу газолазерного різання:

- діаметр сфокусованого променя менше, ніж діаметр кисневого струменя, який зазвичай становить 1-2 мм;
- лазерне різання здійснюється розширюваним променем, тобто точка фокусу завжди розташована вище поверхні металу.

При різанні вуглецевих сталей необхідно прагнути до фокусування випромінювання в пляму меншого діаметру з метою підвищення щільності потужності, однак не більше тієї величини, при якій на вибраних швидкостях оброблення настає газовий режим різання.

Глибина різання нержавіючих сталей зростає зі зменшенням діаметра плями фокусування з одночасним зниженням якості різання.

Для титанових сплавів характерні такі ж закономірності, однак при зниженні щільності потужності в результаті зміни умов фокусування спо-

стерігається більш різке зменшення глибини прорізання металу. Максимальна глибина якісно виконаного різання в цьому випадку відповідає швидкостям різання в межах 1,5-2 м/хв.

Поряд з щільністю потужності важливим технологічним параметром є швидкість різання. Збільшення швидкості лазерного розкроювання приводить до поліпшення якості різання. Це пов'язано з тим, що при збільшенні швидкості розкроювання метал перегрівається менше, що приводить до зменшення глибини змінюваного шару і стримує зростання грату.

Однак варіювання швидкості оброблення має свої обмеження. Нижньою межею допустимої швидкості різання практично всіх оброблюваних матеріалів є різке погіршення якості поверхні розрізу. В умовах різання металів лазером потужністю 1000 Вт таке явище особливо характерно при швидкостях оброблення нижче 0,3...0,5 м/хв. Занадто високим швидкостям різання відповідає різке зменшення товщини матеріалу, що розрізається. Тому зазвичай швидкості лазерного різання не перевищують діапазон 6...8 м / хв.

Якість газолазерного розрізу листових матеріалів оцінюють такими показниками: шириною розрізу, шорсткістю поверхні, наявністю грату, неперпендикулярністю кромки розрізу, шириною зони термічного впливу (ЗТВ). Технологічні параметри лазерного різання деяких матеріалів наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технологічні параметри лазерного різання матеріалів

Матеріал	Параметр				
	Потужність лазерного випромінювання, Вт	Товщина листа, мм	Швидкість різання, м/хв	Ширина розрізу, мм	Ширина ЗТВ, мм
Алюмінієвий сплав	900	0,5...5	5...0,5	0,15...0,5	0,2...0,4
Конструкційна вуглецева сталь	350	0,5...5	5...0,5	0,2...1	0,2...0,23
Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т	350	0,5...5	3...0,3	0,2...0,6	0,1...0,2
Титановий сплав	350	0,5...5	5...0,5	0,5...1	0,3...0,5
Нержавіюча жароміцна сталь:					
ВНС-2	800	1,5	3,4	0,25	0,15
СН-3	800	2,5	1,6	0,4	0,25
ЖС-6	800	3,0	1,1	0,3	0,15
ЭИ-602	800	1,0	2,3	0,3	0,15

На нижній кромці поверхні розрізу утворюється грат, який легко видаляється при оптимальних режимах газолазерного різання. При відхиленні від оптимальних режимів газолазерного різання потрібен механічний вплив для видалення грату навіть до фрезерування кромки. Розміри грату перевіряють на металографічних шліфах. Для поверхні розрізу є характерною наявність двох зон з різною шорсткістю. Перша зона розташована

при вході в метал і має мінімальну шорсткість, друга зона знаходиться за нею і має велику шорсткість. Різниця шорсткостей тим істотніше, чим більше товщина металу, що розрізається. Макрорельєф поверхні розрізу характеризується висотою виступів і кроком між ними.

На металографічних шліфах перевіряють кут різання, утворений перпендикуляром до листа і прямої, що проходить через дві точки в торцях розрізу. Максимально допустимий кут різання має бути не більше 7° .

Протяжність ЗТВ оцінюють металографічним контролем шліфа поперечного перерізу зразка після травлення. В контрольований розмір окрім власне ЗТВ входить і ділянка з оплавленим металом. Беруть найбільший розмір з урахуванням кута різання. Тріщини в оплавленному металі і ЗТВ не допускаються.

На вході лазерного променя глибина окисленого шару є мінімальною і мало залежить від зміни швидкості різання. Зі збільшенням глибини різання відбувається незначне зростання глибини окисленого шару.

Порівняно з традиційними методами лазерне різання має низку незаперечних переваг:

- при лазерному різанні є відсутнім механічний вплив на оброблюваний матеріал;
- сфокусоване лазерне випромінювання регульованої потужності – ідеальний інструмент, що забезпечує якісну гладку поверхню кромки розрізу будь-якого матеріалу незалежно від його теплофізичних властивостей;
- точність позиціонування лазерної головки становить 0,08 мм, завдяки чому досягається висока точність взаємного розташування елементів заготовки;
- застосування лазерного різання є можливим на легкодеформівних і нежорстких деталях;
- за рахунок великої потужності лазерного випромінювання забезпечується висока продуктивність процесу лазерного різання;
- можливість отримати якісний розріз, що не потребує подальшого додаткового оброблення;
- можливість виготовити вироби будь-якої складності в будь-якій кількості і практично з будь-якого матеріалу.

До переваг методу належить також можливість автоматизації процесів розкроювання і різання листових матеріалів – найбільш масових процесів авіаційного виробництва, підвищення коефіцієнта використання матеріалу, скорочення термінів підготовки виробництва.

3.2.2 Гідроабразивне різання

Гідрорізання (водоструминне) – вид різання, при якому матеріал обробляється тонким надшвидкісним струменем води. При гідроабразивному різанні для збільшення руйнівної сили водяного струменя в неї додаються частки високотвердого матеріалу-абразиву.

Якщо звичайну воду піддати тиску близько 4000 МПа, а потім пропустити через отвір діаметром менше 1 мм, то вона потече зі швидкістю, що перевищує швидкість звуку в 3-4 рази. Спрямований на оброблюваний виріб такий струмінь води стає різальним інструментом. З додаванням частинок абразиву його різальна здатність зростає в десятки разів і він стає здатним різати майже будь-який матеріал.

Технологію гідроабразивного різання оснований на принципі ерозійного (стираючого) впливу абразиву і водяного струменя. Їх високошвидкісні твердофазні часточки є переносниками енергії і, б'ючись об часточки виробу, відривають і видаляють їх з порожнини різання. Швидкість ерозії залежить від кінетичної енергії діючих часточок, їх маси, твердості і сили удару, а також механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Вода, що нагнітається насосом до понадвисокого тиску порядку 100...600 МПа, подається в різальну головку (рисунок 3.6).

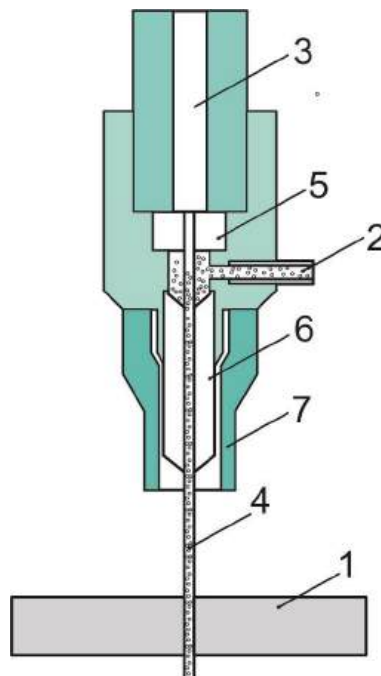


Рисунок 3.6 – Схема різальної головки для гідроабразивного різання:

- 1 – матеріал, що розрізають; 2 – подача абразиву; 3 – підведення води під високим тиском; 4 – різальний струмінь води з абразивом; 5 – сопло; 6 – змішувач; 7 – кожух

Вириваючись через вузьке сопло (дюзу) зазвичай діаметром 0,08...0,25 мм з близькозвуковою або надзвуковою швидкістю, струмінь води надходить в змішувальну камеру, де з'єднується з частинками абразиву – гранатовим піском, зернами електрокорунду, карбиду кремнію або іншого високотвердого матеріалу. Змішаний струмінь виходить із змішувача з внутрішнім діаметром 0,5...1,0 мм і розрізає матеріал. Для гасіння залишкової енергії струменя використовують шар води завтовшки 0,7...1,0 м.

При гідрорізанні (без абразиву) схема є спрощеною – вода під тиском виринає через сопло і прямує на виріб, який розрізає. Руйнівна сила струменя при гідроабразивному різанні створюється значно більшою мірою за рахунок наявності абразиву, а вода виконує переважно транспортні функції. Розмір абразивних частинок підбирають таким, що дорівнює 30...40 % від діаметра різального струменя, для забезпечення його ефективного впливу і стабільного закінчення процесу. Зазвичай розмір зерен становить 0,15...0,25 мм, а в ряді випадків – близько 0,075...0,1 мм, якщо необхідно отримати поверхню розрізу з низькою шорсткістю. Вибір абразиву залежить від виду і твердості матеріалу, що розрізають. Слід також враховувати, що більш твердий абразив швидше зношує вузли різальної головки.

Сопла зазвичай виготовляють із сапфіру, рубіну або алмазу. Термін служби сапфірових і рубінових сопел становить до 100...200 годин, алмазних – до 1000...2000 годин. Змішувальні трубки виготовляють з надміцних сплавів, їх термін служби, як правило, не перевищує 150...200 годин.

Швидкість різання (швидкість переміщення різальної головки вздовж поверхні виробу) істотно впливає на якість розрізу. При високій швидкості відбувається відхилення гідроабразивного струменя від прямої лінії, а також помітно виявляється ослаблення струменя у міру розрізання матеріалу. Як наслідок, збільшується конусність розрізу і його шорсткість. Розділове різання може виконуватися на швидкості, що становить 80...100 % від максимальної. Якісному різанню зазвичай відповідає швидкісний діапазон 33...65 %, тонкому різанню – 25...33 %, прецизійному – 10...12 % від максимальної швидкості.

У деяких моделях різальних головок, наприклад, Dynamic Waterjet американської компанії Flow International Corporation, використовується технологія автоматичної компенсації конусності. Компенсація настає в результаті програмно керованого динамічного нахилу різальної головки на певний кут. Це дозволяє підвищити швидкість різання при збереженні його якості розрізу і, відповідно, скоротити виробничі витрати.

Зі зменшенням внутрішнього діаметра змішувача (при інших однакових умовах) зростають продуктивність і точність різання, зменшується товщина розрізу (вона приблизно на 10 % більше внутрішнього діаметра змішувача). Однак при цьому зменшується і термін служби змішувача. В процесі експлуатації його внутрішній діаметр збільшується приблизно на 0,01...0,02 мм за кожні вісім годин роботи. І коли він стає занадто великим, насос не може підтримувати достатній рівень тиску, необхідний для забезпечення ефективного розкроювання.

Витрата абразивного матеріалу залежить від співвідношення діаметрів змішувальної трубки і сопла, умов різання та інших чинників. Максимальний робочий тиск рідини зазвичай становить 300...320, 380, 415 або

600 МПа. Чим більше тиск, тим вищі швидкість і ефективність різання. У той же час зростають витрати на експлуатацію обладнання.

Обладнання, що застосовується для гідроабразивного різання, характеризується різним ступенем універсальності і автоматизації, в тому числі виготовляється і в вигляді роботизованих комплексів.

До складу установки для гідроабразивного різання зазвичай входять:

- насос високого тиску;
- різальна головка (одна або кілька);
- координатний стіл з приводами переміщень різальних головок;
- розводка високого тиску;
- система подачі абразиву;
- система числового програмного керування.

Крім того, до переліченого складу конкретної установки можуть входити ряд пристроїв і систем для виконання окремих функцій, пов'язаних зі специфікою роботи установки і побажаннями "замовника".

Насос високого тиску системи водоструминного різання забезпечує створення надзвукового струменя рідини. Переважна більшість застосовуваних у наш час гідрорізальних систем використовують мультиплікаторні джерела живлення. Розроблено універсальну принципову гідравлічну схему насоса, де як підсилювач тиску використовують спеціальний мультиплікатор двосторонньої або односторонньої дії. Вибір компонування залежить від конкретних умов оброблення (наприклад, від допустимої величини перепаду тиску, потребних витрат рідини), що дозволяє досягти заданих результатів щодо продуктивності, так і якості різання. Крім того, використовують стандартні регулювальні, розподільні, контрольні та допоміжні гідравлічні пристрої.

Різальна (струминна) головка (див. рисунок 3.6) здійснює остаточне формування високонапірного струменя як різального інструмента. Існує безліч струминних головок для гідроабразивного різання металів, що об'єктивно свідчить про різноманіття експлуатаційних вимог, що ставлять до них, і одночасно – про відсутність оптимальних конструкцій.

Координатний стіл з приводами переміщень забезпечує розташування оброблюваних виробів у робочій зоні і позиціонування різальних головок. У його склад зазвичай входить і ванна для приймання гідроабразивного струменя і відходів оброблення. Вода, що зливається з ванни, надходить у бак-відстійник, де очищається від шламу – використаного абразиву і дрібних відходів розрізаного матеріалу.

Вода під високим тиском подається від насоса до різальної головки системою рухомих і нерухомих труб. Для забезпечення щільності з'єднань при русі порталу та робочої головки використовують спеціальні шарніри високого тиску або спіральні трубки високого тиску.

Для подачі абразиву в різальну головку застосовують або вакуумну систему, що працює за принципом пульверизатора, або ту, що працює під

тиском. У цьому випадку система складається з бункера з абразивом під тиском, механізму дозування і подачі абразиву, забезпеченого мінібункером, а також гнучких з'єднувальних шлангів.

За допомогою гідроабразивного струменя можна розрізати практично будь-які матеріали. При цьому не виникають ні механічні деформації заготовки (оскільки сила впливу струменя на заготовку, що розрізається, становить лише 1...10 Н), ні її термічні деформації, оскільки температура в зоні різання становить близько 60...90° С. Таким чином, порівняно з технологіями термічного оброблення (кисневою, плазмовою, лазерною тощо) гідроабразивне різання має такі відмітні переваги:

- більш високу якість різання через мінімальний термічний вплив на заготовку (без плавлення, оплавлення або пригорання кромки);
- можливість різання термочутливих матеріалів (пожежо- та вибухонебезпечних, ламінованих, композитних та ін.);
- можливість розкроювання тонколистових матеріалів у пакетному режимі;
- можливість розкроювання різних матеріалів на одній установці, бо за наявності необхідного програмного забезпечення оператору досить набрати марку матеріалу, товщину і швидкість різання і установка почне розкроювати заданий матеріал;
- екологічну чистоту процесу, повну відсутність шкідливих газових виділень;
- вибухо- та пожежобезпечність процесу.

Гідроабразивне різання можна виконувати по складному контуру з високою точністю (до 0,025...0,1 мм), в тому числі для оброблення об'ємних виробів. За його допомогою можна робити скоси. Гідроабразивний струмінь є ефективним при розкроюванні таких матеріалів, як титанові сплави, жароміцні леговані сталі, різні види високоміцних керамік, композиційні матеріали. І майже нічим замінити цю технологію, якщо необхідно розрізати різного роду сендвіч-конструкції (матеріали, що складаються зі склеєних шарів із різних матеріалів, в тому числі м'яких, що чергуються з надтвердими).

До недоліків гідроабразивного різання слід віднести:

- істотно меншу швидкість різання сталей і титанових сплавів малої товщини порівняно з плазмовим і лазерним різанням;
- високу вартість обладнання і великі експлуатаційні витрати (характерні і для лазерного різання), обумовлені витратою абразивних матеріалів, електроенергії, води, замінами змішувальних трубок, водяних сопел і ущільнювальних елементів, що витримують високий тиск, а також витратами щодо утилізації відходів;
- підвищений шум через витікання струменя з надзвуковою швидкістю (характерно і для плазмового різання).

3.3 Формоутворення листових деталей із труднодеформівних матеріалів з нагрівом

При виборі найбільш прийнятних технологічних процесів формоутворення деталей необхідно враховувати і особливості поведінки листових матеріалів при деформації, і особливості фазових перетворень у цих матеріалах.

Нержавіюча високоміцна сталь ВНС-2 мартенситного класу в звичайних умовах штампується незадовільно. Тому для виготовлення складних деталей є необхідним нагрів з наступною нормалізацією. Нагрівання до температури 950°C і охолодження викликають значні поводки, які важко усунути подальшим допрацюванням через високий опір деформуванню. Для цієї сталі найбільш ефективною є технологія із суміщенням нагріву під штампування з нагрівом термооброблення.

Особливістю сталей перехідного класу (СН-3 та ін.) є те, що після загартовування на зміцнення (940°C) вони не утворюють при кімнатній температурі мартенситну структуру і мають задовільну пластичність. У деталях при цьому з'являються значні деформації (поводки від гартування), які усуваються наступним доведенням. Після нормалізації (1050°C) ці сталі мають високі технологічні характеристики: $\delta \geq 18\%$, $\sigma \approx 900\text{ МПа}$.

З рисунку 3.7, а видно, що інтенсивне утворення мартенситної структури починається при температурі $100\ldots 120^{\circ}\text{C}$ і закінчується при $20\ldots 40^{\circ}\text{C}$.

Аналіз зростання мартенситної структури (рисунок 3.7, б) показує, що деталі зі сталей цієї групи можна штампувати будь-яким способом, але при штампуванні швидко збільшується мартенсит деформації, що призводить до зміцнення сталі, а тому найкращим є штампування із суміщенням.

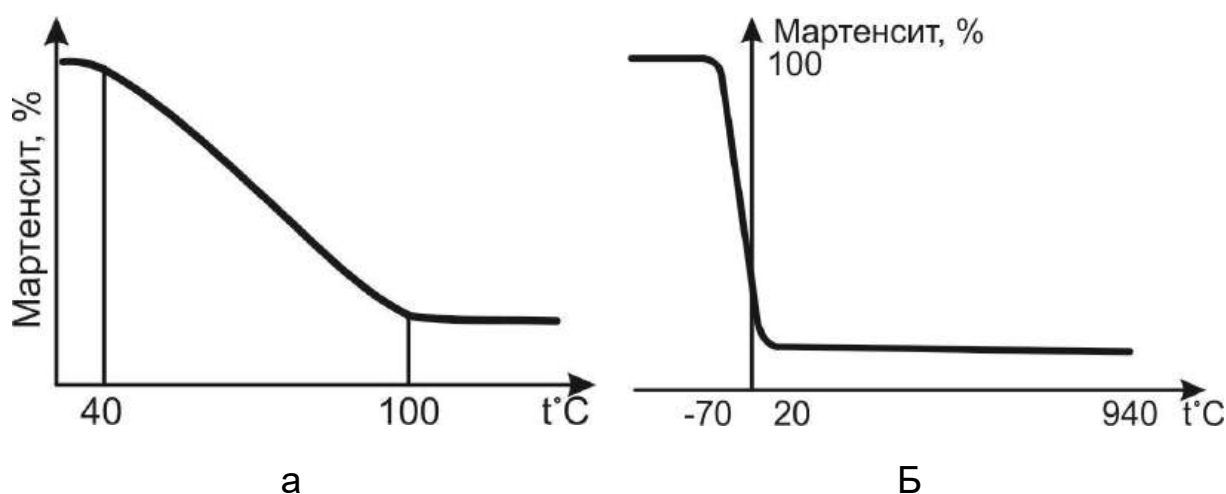


Рисунок 3.7 – Діаграми вмісту мартенситу залежно від температури: а – сталь ВНС-2, б – сталь СН-3

Сталі ЕІ878, ЕП654 та інші сталі аустенітного класу термообробленням не зміцнюються. Для відновлення пластичності їх нагрівають, після чого ці сталі мають $\delta = 35...40 \%$, $\sigma = 550...850$ МПа.

При штампуванні швидко зростає опір деформації, тому для деталей складних форм необхідно передбачати кілька переходів із міжопераційним нагріванням для підвищення пластичності.

Оптимальною технологією виготовлення деталей із цих матеріалів є штампування еластичними середовищами на пресах типу П5650, П5450, QAB-31,5. Впровадження подібного обладнання дозволяє реалізувати технологію бездовідного виготовлення деталей великої номенклатури, в тому числі й складної форми. Не виключена можливість штампування деталей у свинцево-цинкових штампах на листоштампувальних молотах і електрогідравлічних пресах. В обох випадках потрібна висока кваліфікація штампувальника.

Титанові сплави ОТ4, ВТ20 та інші належать до важкодеформівних матеріалів. Радіуси вигину, наприклад для ВТ20 допускаються не менше 7-9 товщин матеріалу, кут пружинення доходить до 20° , причому розкид результатів у цьому куті дуже великий, а тому підвищення точності деталей за рахунок допрацювання оснастки на кут пружинення практично не є ефективним. Найбільш оптимальною для цих сплавів є технологія виготовлення деталей з нагріванням, оскільки пластичність більшою мірою залежить від температури нагріву і швидкості деформування.

Таким чином, поряд з формоутворенням листових деталей в холодному стані широко застосовуються процеси з нагріванням заготовок. Листове штампування при підвищених температурах дозволяє різко знизити опір матеріалу деформації і підвищити пластичність. Штампування з нагріванням підвищує точність і якість деталей, практично повністю ліквідує необхідність довідних робіт, дозволяє усунути труднощі, що виникають у зв'язку з освоєнням у виробництві нових виробів.

Далі розглянуто деякі технологічні процеси штампування з нагріванням заготовки, що деформується, які найбільш успішно застосовуються при формоутворенні деталей з малопластичних матеріалів.

3.3.1 Динамічне штампування на молотах із радіаційним нагрівом

Штампування еластичними середовищами нахолодно деталей з високоміцних нержавіючих сталей зазвичай виконується на сучасних пресах П5650, П5054 з робочим тиском до 100 МПа. Прес для глибокої витяжки QAB-31,5 забезпечує максимальний тиск до 125 МПа. Однак навіть і такі високі робочі тиски не гарантують повного забезпечення параметрів всієї номенклатури деталей. Деякі деталі з малопластичних сталей можуть потребувати вельми витратного подальшого допрацювання. Титанові сплави нахолодно практично не штампуються. Тому деталі з малопластичних не-

ржавіючих сталей, що не піддаються бездовідному штампуванню нахолодно, і титанових сплавів штампують з нагрівом заготовки.

Штампкування нагрітої заготовки здійснюється на молотах зі швидкістю переміщення контейнера, заповненого поліуретаном, не менше 1,0...1,5 м/с. Вибір молотового обладнання обумовлено необхідністю звести до мінімуму час контакту еластичного середовища з розігрітою заготовкою. Застосовуваний як еластичний інструмент поліуретан витримує тиск на стиснення до 200...300 МПа, що в 5-7 разів перевищує аналогічний показник для гуми.

Динамічне штампування еластичним середовищем на молоті [4] реалізується в комплексі з пристроєм УРНК-4 для радіаційного нагрівання. Нагрівальна панель установки має 138 кварцових ламп і забезпечує нагрівання заготовки габаритними розмірами до 750x1000 мм до температури 800° С, 1000° С і вище. Час нагрівання – від 0,5 до 2,0 хвилин. Введення і виведення нагрівальної панелі блокується з ходом контейнера так, що в момент опускання контейнера (робочий хід) панель автоматично виходить із зони штампування.

Аналогічну схему формоутворення деталей з малопластичних матеріалів можна побудувати із застосуванням штампувальних комплексів на базі швидкісних пресів (електро- і гідравинтових зі швидкістю переміщення контейнера 1,5 м/с і більше). На відміну від молотів такі преси дають можливість дозувати тиск в контейнері залежно від складності деталей і переходів деформування.

3.3.2 Штампкування із суміщенням

Найбільш перспективним щодо підвищення продуктивності і якості виготовлених деталей є штампування із суміщенням. Штампкування, поєднане з високотемпературним термообробленням, знайшло широке застосування при виготовленні деталей складної форми зі сталей мартенситного і перехідного аустенітно-мартенситного класів. У наш час майже вся номенклатура деталей із сталей ВНС-2 і СН-3 на літакобудівних заводах виготовляється в режимі суміщення операцій.

Формоутворення цих деталей методом холодного штампування виконувалося в два переходи на листоштампувальних молотах із проміжними відпалами, видаленням слідів свинцю і цинку і знежиренням. Після штампування виконувалося зміцнювальне термооброблення, яке призводило до викривлення деталей, і виникала необхідність калібрування і ручного доведення.

Для підвищення точності і скорочення циклів виготовлення деталей застосовано принцип суміщення нагрівання для термооброблення з нагріванням для формоутворення. Після високотемпературного нагрівання заготовки переносяться в печі, температури яких відповідають верхній межі

температурного інтервалу штампування певних марок сталей. Час між вивантаженням заготовки з печі і штампуванням не має перевищувати 30...40 с, а температура не має виходити за нижню межу температурного інтервалу штампування.

Циклограми суміщеного штампування сталей СН-3 і ВНС-2 показано відповідно на рисунках 3.8 і 3.9 [4].

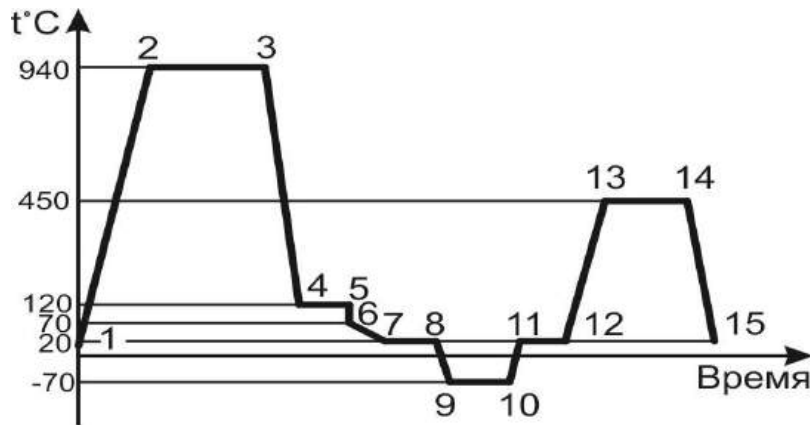


Рисунок 3.8 – Циклограма суміщеного штампування деталей зі сталі СН-3 з нагріванням для термооброблення: 1, 2 – нагрів під аустенізацію; 2, 3 – витримування для аустенізації; 3, 4 – часткове охолодження; 4, 5 – витримування в накопичувачі; 5,6 – штампування; 6,7 – охолодження на повітрі; 8, 9, 10, 11 – оброблення холодом у пристосуванні; 12,13, 14, 15 – старіння

Для виключення викривлень деталей з СН-3, що спричиняються фазовими перетвореннями в сталі, їх оброблення холодом виконується в зафіксованому в спеціальних пристроях положенні. З цією ж метою охолодження деталей з ВНС-2 після штампування від температури 120° С до кімнатної доцільно проводити в зімкнутому штампі.

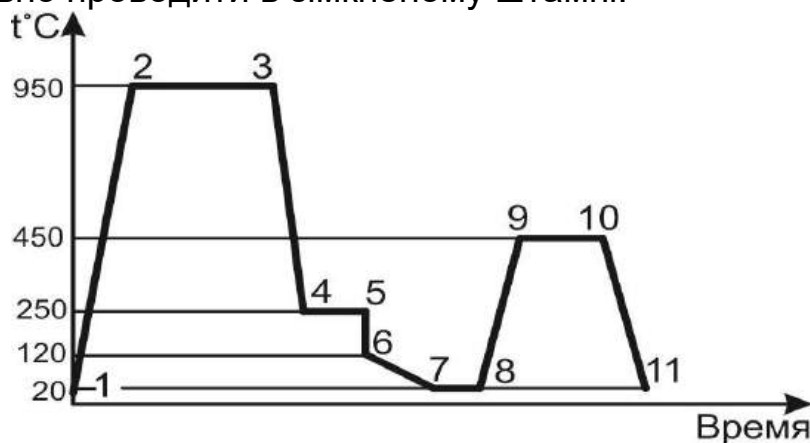


Рисунок 3.9 – Циклограма суміщеного штампування деталей зі сталі ВНС-2 з нагріванням для термооброблення: 1, 2– нагрівання для термооброблення; 2, 3 – витримування для аустенізації; 3, 4 – часткове охолодження; 4, 5 – витримування в накопичувачі; 5, 6 – штампування; 6, 7 – охолодження; 8, 9, 10, 11 – старіння

Подальше старіння при температурі 450° С практично не призводить до викривлення деталей. Слід зазначити, що для широкого впровадження цієї технології необхідно мати термостійкі еластомери, що не втрачають своїх властивостей до температур 350...450° С.

Штампуння із суміщенням застосовують при виготовленні деталей з титанових сплавів, а саме при виконанні комплексу робіт з розроблення технології суміщеного штампуння деталей зі сплаву ВТ-23 [1]. У цьому випадку суміщення операцій не тільки виключало загартування і старіння, що істотно скорочувало цикл і трудомісткість виготовлення, а й дозволяло комбінацією температурних режимів штампуння регулювати механічні властивості деталей.

Для реалізації суміщеного штампуння деталей з титанових сплавів типу ВТ-14 і ВТ-16, тобто сплавів, критична швидкість охолодження яких при загартуванні вище, ніж швидкість охолодження на повітрі, створено спеціальну установку. Вона складається з двох пресів – ізотермічного і гартувального штампуння, з'єднаних у загальному циклі роботи механічною рукою [5]. Деталь, що відштампована на пресі при гартівних температурах, автоматично, за допомогою механічної руки, передається в робочу зону гідравлічного прес-молота і охолоджується в фіксованому положенні з подальшою докалібровкою ударом. На установці можна виготовляти деталі із заготовок розміром 300х600 мм.

3.3.3 Формоутворення з термофіксацією

Стосовно до титанових сплавів цей процес засновано на використанні значного підвищення швидкості повзучості і релаксації напружень в титанових сплавах при нагріванні їх до температур 500...550° С, при яких пружна деформація переходить у пластичну і здійснюється за режимами повного відпалювання в пристосуванні.

Повзучість можна охарактеризувати як повільне наростання пластичних деформацій матеріалу при силових впливах менших, ніж ті, які можуть спричиняти залишкову деформацію при випробуваннях звичайної тривалості. Повзучість властива практично всім конструкційним матеріалам. Для сталей і титанів повзучість є істотною лише при підвищених температурах (понад 300° С) і протікає тим інтенсивніше, чим вище температура. В матеріалах з низькою температурою плавлення (свинець, алюміній та ін.) повзучість досить помітна і при кімнатних температурах.

Повзучість супроводжується релаксацією напружень. Релаксація (ослаблення) – процес поступового переходу термодинамічної системи з нерівноважного стану, викликаного зовнішніми впливами, в стан рівноваги термодинамічної. Прикладом релаксаційних процесів є і релаксація напружень – поступова зміна напружень в металі при постійній його деформації.

Таким чином, для реалізації процесу термофіксації деталь закладається в пристосування, надійно затискається (фіксується) в ньому і завантажуються в піч, нагріту до температури 500...550° С (для титанових сплавів). Після витримки в печі пристосування вивантажується і деталь охолоджується разом з пристосуванням.

Пристосування для реалізації процесів термофіксації можуть бути поодинокими або груповими, виконаними з металу або неметалевих матеріалів. Однак в будь-якому випадку пристосування, що застосовується, повинне мати достатню власну жорсткість і забезпечувати надійну фіксацію деталей. У більшості випадків фіксацію деталей у пристосуванні виконують у базах, що знаходяться в складальних пристосуваннях.

Технологічний процес з використанням термофіксації застосовують для збереження форми і геометричних параметрів, підвищення точності, а також формоутворення попередньо відформованих деталей.

Для збереження форми і геометричних параметрів попередньо відштампованих деталей використовують термофіксації при обробленні холодом високоміцних сталей перехідного (аустенітно-мартенситного) класу типу СН-3. При температурі оброблення 70° С відбувається викривлення деталей, спричинене фазовими перетвореннями в сталі. Щоб уникнути цього, такі деталі обробляють холодом в жорстко зафіксованому положенні в спеціальних пристроях.

3.3.4 Ізотермічне штампування

Ізотермічне деформування відрізняється від звичайних процесів гарячого штампування тим, що нагріту заготовку піддають деформації в штампі, нагрітому до температури деформації [1].

Ізотермічне штампування габаритних листових деталей з титанових сплавів і високоміцних сталей використовують у вітчизняному літакобудуванні в наш час дуже обмежено через труднощі в створенні пресів для ізотермічного деформування і штампувального оснащення.

У зарубіжній практиці при ізотермічному штампуванні деталей невеликих розмірів (до 1000х800 мм) застосовують спеціалізовані преси, забезпечені плитами. В спеціальній камері створюється нейтральна атмосфера в зоні нагріву [2].

На деяких підприємствах [4] ізотермічне штампування деталей типу окантовок, діафрагм, стінок з титанових сплавів ОТ4-1, ВТ-20 габаритними розмірами 600х500 мм відбувається на звичайних гідравлічних пресах з невеликим зусиллям і точним регулюванням цього зусилля і ходу повзуна. При цьому використовується штампувальний блок, який являє собою електропіч, на дно якої встановлено матрицю, а верхнє рухливе зімкнення її виконує пуансон. Штмп – керамічний. Нагрівальні елементи розташовані в наскрізних отворах матриці і пуансона. Контроль і підтримання опти-

мальної температури деформування проводиться автоматично за допомогою термопар, зосереджених у центрі штампа, і потенціометрів. У такому блоці формуються деталі з відносно складною гравюрою.

Для технологічного забезпечення ізотермічного штампування листових деталей та інших процесів формоутворення при підвищених температурах розроблено комплекс обладнання в складі багатоплунжерного гідравлічного преса ПГФК 1200\90-120\75, печі для попереднього нагрівання оснащення і двостороннього координатора оснастки [1].

На гідравлічному багатоплунжерному пресі можна виготовляти листові деталі габаритними розмірами до 1200x900 мм і глибиною до 350 мм з усієї номенклатури високоміцних титанових сплавів і конструкційних сталей. Наявність додаткового (крім вертикального) горизонтального силового ходу і маркерного пристрою дозволяє виготовляти деталі різноманітних форм. Прес працює в напівавтоматичному режимі і може використовуватися як для термокалібрування попередньо відштампованої (наприклад, еластичним середовищем) деталі, так і для формоутворення деталі з плоскої заготовки в режимі повзучості. Оснащення комплектується на спеціальних знімних столах, прогривається за заданим термічним циклом (що виключає викривлення оснастки при нагріванні) і за допомогою спеціального пристрою, вмонтованого в пресі, автоматично встановлюється в робочу зону.

При впровадженні процесів ізотермічного штампування та інших процесів, пов'язаних з високотемпературним нагріванням заготовки, вирішальну роль відведено жаростійкому технологічному оснащенню. Таке оснащення зі склокераміки розроблено НІАТ спільно з Інститутом технічного скла для формоутворення листових деталей. Воно призначене для штампування з робочими температурами до 1000° С і виготовляється методом холодного шликерного лиття по дерев'яних або гіпсових моделях. Спеціальна склокераміка не дає усадку при затвердінні і забезпечує високу чистоту поверхні штампа. Вартість керамічних штамів і трудомісткість їх виготовлення значно менше, ніж металевої оснастки, яка застосовується в заготівельно-штампувальних цехах заводів галузі. Штампи зі склокераміки використовуються при виготовленні листових деталей з титанового сплаву ВТ-20 на ряді дослідних і серійних заводів [1].

Слід зазначити, що керамічні штампи мають достатню міцність на стиск, але мають малу міцність на вигин, тобто є крихкими. Тому підвищені вимоги ставляться до точності виконання опорних поверхонь штамів, до забезпечення жорсткої фіксації матриць і пуансонів відносно один одного.

3.3.5 Формоутворення в стані надпластичності

Одним з перспективних напрямків інтенсифікації операцій листового штампування є застосування ефекту надпластичності. Надпластичність — це здатність матеріалів при розтяганні в певних температурно-швидкісних

умовах сприймати досить значні деформації без руйнування, що перевищують їх значення при звичайних умовах випробування в кілька разів.

Стан надпластичності визначається сукупністю ряду ознак: підвищеною чутливістю напруги течії надпластичного матеріалу до зміни швидкості деформації або, іншими словами, до швидкісного зміцнення; незначним деформаційним зміцненням; аномально високим ресурсом деформаційної здатності; напругою течії металу в стані надпластичності, що в кілька разів менше межі текучості, яка характеризує пластичний стан матеріалу.

Найбільш істотною з перелічених ознак є перша, решту певною мірою можна розглядати як її наслідки. Зміцнення, деформаційне і швидкісне (рисунок 3.10), має великий вплив на механізм деформування; зокрема, воно сприяє вирівнюванню деформацій, стійкому протіканню процесу.

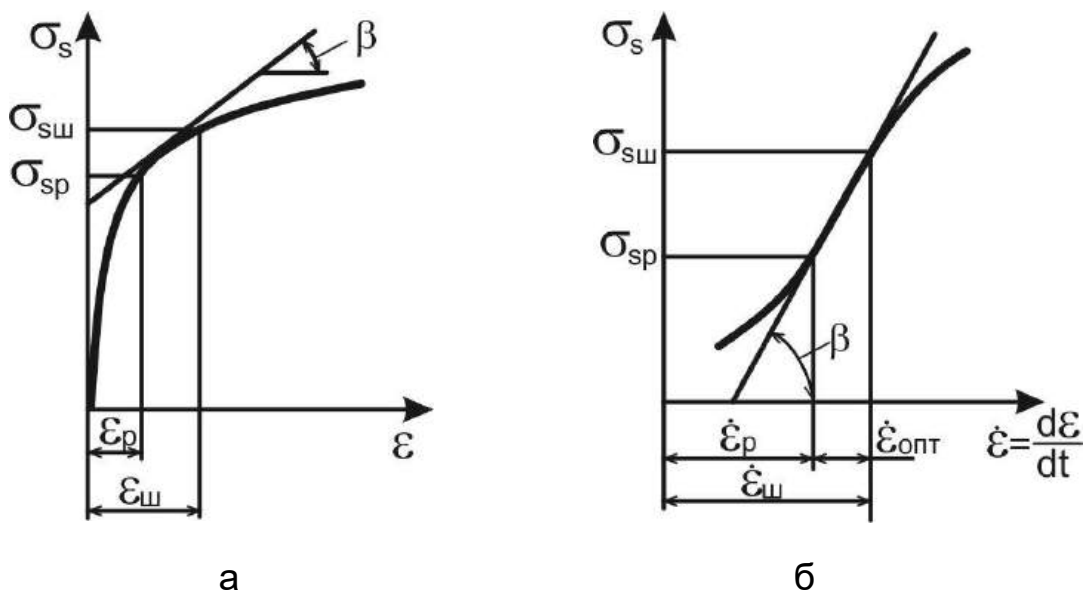


Рисунок 3.10 – Діаграми, що ілюструють зміцнення металу в процесі пластичного деформування: а – деформаційне; б – швидкісне

Не може бути досягнуто значних деформацій у результаті позитивного впливу деформаційного зміцнення, бо інтенсивність його зі збільшенням деформації знижується і не може стримувати локалізацію деформації (рисунок 3.10, а). При деформації з нагріванням превалюють знеміцнювальні процеси; зміцнення металу або незначне, або взагалі відсутнє. Однак тут як стабілізуючий фактор виступає швидкісне зміцнення (рисунок 3.10, б).

Найбільшу ефективність може забезпечити той діапазон швидкостей деформацій, в якому кут β нахилу є дотичним (див. рисунок 3.10, б) до кривої зміцнення, що характеризує інтенсивність швидкісного зміцнення, і має найбільше значення. Для деяких металів цей діапазон є досить вузьким і лежить в області малих швидкостей деформацій.

На противагу деформаційному зміцненню швидкісне зміцнення слабо залежить від величини деформації, що дає можливість при розтягуванні отримувати надзвичайно високий ступінь рівномірної деформації.

Надпластичність виявляється в певних температурно-швидкісних умовах деформування металів, що відрізняються особливою структурою. Залежно від структури вихідного матеріалу розрізняють два види надпластичності: металів і сплавів з особливо дрібним рівновісним зерном, стійким щодо зростання при температурі деформації, і поліморфних металів і сплавів при деформуванні їх в процесі фазових перетворень, коли вихідний розмір зерна значення не має.

Останнім часом набувають поширення процеси штампування в стані структурної надпластичності (перший вид), тому наведені нижче особливості належать саме до цих процесів.

Температурний інтервал структурної надпластичності досить широкий, відрізняється для різних матеріалів. Він може знаходитися в межах від температури початку рекристалізації ($0,4 t_{пл}$) до температур, близьких до температури плавлення. Нижня межа інтервалу обумовлена важливою роллю дифузійних процесів в механізмі деформації наддрібнозернистих матеріалів. Верхня межа відповідає температурі початку об'єднаної рекристалізації. Однак, хоч би якою була температура надпластичності, вона має підтримуватися постійною за об'ємом деформованого об'єкта протягом усього періоду деформації, щоб забезпечити рівномірну течію металу. Тому структурну надпластичність іноді називають ізотермічною.

Для переважної більшості металів і сплавів оптимальний інтервал швидкостей деформації, що відповідає структурній надпластичності, становить $10^{-2} \dots 10^{-5}$ 1/с, тобто знаходиться в проміжку між швидкостями високошвидкісної повзучості і швидкостями деформації, які використовуються в традиційних процесах штампування.

Ряд особливостей, що характеризують поведінку матеріалів в стані надпластичності, з одного боку, – надзвичайно велика деформаційна здатність, малий опір деформації, незначний вплив надпластичної деформації на мікроструктуру, висока релаксаційна здатність забезпечують можливість значного підвищення ефективності процесів надпластичного формоутворення деталей і якості готових виробів. З іншого боку, малі швидкості деформації та підтримання їх на рівні, що відповідає стану надпластичності, необхідність підготовки структури заготовок і регламентованого температурного режиму деформації істотно ускладнюють і здорожують технологічну підготовку виробництва, знижують продуктивність процесів і в результаті обмежують використання надпластичності у виробництві.

Зіставлення зазначених переваг і обмежень, а також узагальнення наявного досвіду застосування надпластичності в процесах штампування

приводять до необхідності вибору найбільш бажаних варіантів використання цієї технології, які забезпечили б максимальний ефект.

Штампування малопластичних і труднодеформівних сталей і сплавів на основі нікелю, титану, тугоплавких металів, які відрізняються, як правило, високою вартістю, характеризується великою трудомісткістю і багатоопераційністю. Тому збільшення деформаційної здатності в стані надпластичності цих матеріалів дозволить істотно збільшити деформацію за один технологічний перехід і перейти до малоопераційної технології, що значною мірою компенсує зменшення продуктивності за рахунок малих швидкостей деформації.

Використання ефекту надпластичності в листовому штампуванні дозволяє проводити процеси без застосування пресів. Необхідні зусилля деформування можна створювати вакуумуванням порожнини матриці і невеликим надлишковим тиском на заготовку.

При формоутворенні деталей тиском газового середовища підтримання постійної швидкості деформації відповідно до режиму надпластичності досягається постійним регулюванням тиску формівного газу при протіканні процесу. Попередньо здійснюється розрахунок кривої навантаження – залежність тиску формування від часу. В основу методики розрахунку має бути покладено принцип забезпечення контрольованої швидкості деформації заготовки, яка отримує максимальну ступінь деформації.

Реалізація можливостей надпластичності в операціях листового штампування при певних градієнтах деформацій, напружень, тисків, швидкостей деформацій спричиняє великі перепади товщини деталей, оскільки деформація відбувається виключно за рахунок потоншення вільної частини заготовки без переміщення фланця, і ступені деформації мають дуже великі значення.

Цей недолік може бути частково усунуто регулюванням поля температур (у допустимому інтервалі), поля тисків, попередньою підготовкою структури заготовки. Заслуговує на увагу і спосіб реверсивного формування, при якому листова заготовка спочатку випинається в порожнину, протилежну порожнині матриці, на висоту, більшу, ніж потребує її форма. Потім тиск подається в протилежну порожнину для формування заготовки в матрицю і отримання остаточної форми.

Для успішного здійснення надпластичного деформування важливе значення набуває схема навантаження, яка має забезпечувати рівномірність поля напружень. Для аналізу можливостей різних схем навантаження було створено установку для виготовлення деталей складних форм габаритними розмірами 500x500 мм [1]. Установка працює при надмірному тиску до 0,6 МПа за технологічними схемами, показаними на рисунку 3.11.

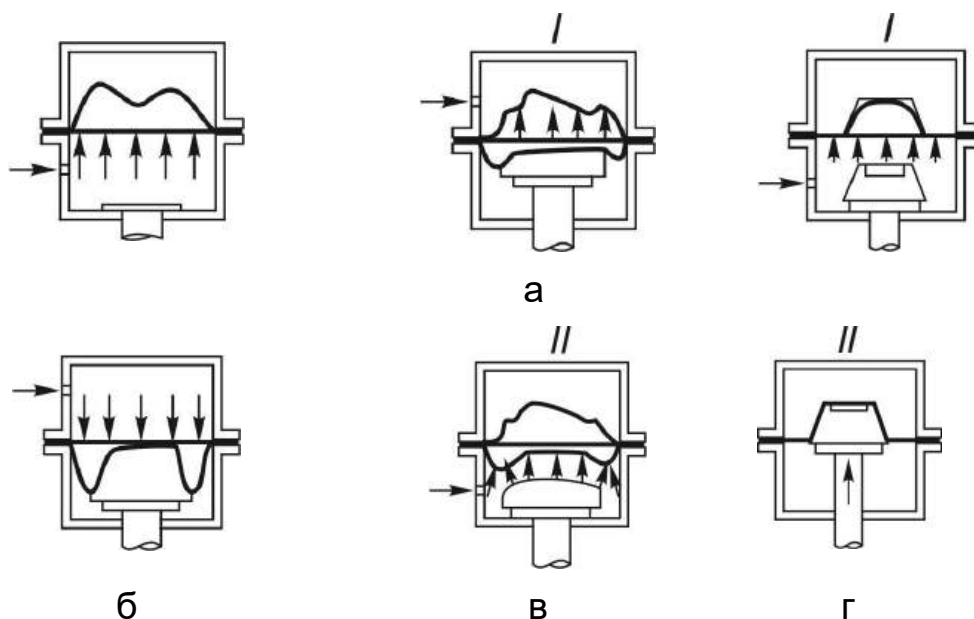


Рисунок 3.11 – Технологічні схеми формоутворення в режимах надпластичності: а – вільне видування в матрицю; б – вільне обтягування по пуансону; в – реверсивне видування з набором матеріалу за дві стадії; г – комбіноване штампування за дві стадії

Для виготовлення великогабаритних листових деталей типу підкріпної стінки, обшивок з титанових сплавів підвищеної міцності (BT20 та ін.) застосовується метод газовакуумного штампування [4]. Відповідно до цього методу технологічний пакет з двох герметично зварених по периметру заготовок з внутрішнім розташуванням листової матриці і вакуумованою внутрішньою порожниною заготовок завантажується в робочий простір електричної печі (рисунок 3.12), яка обладнана спеціальним контейнером з нейтральним середовищем (аргоном).

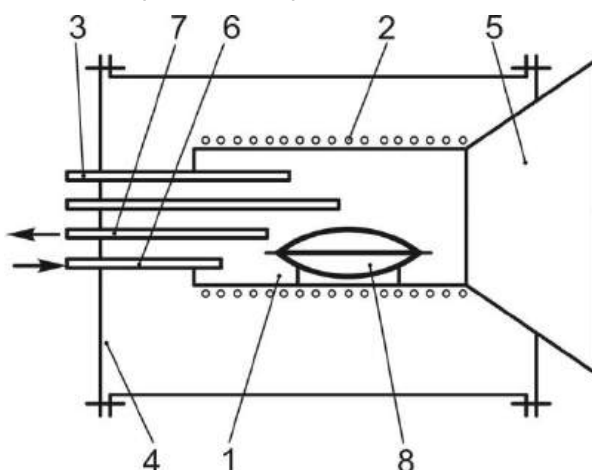


Рисунок 3.12 – Принципова схема компресійної печі: 1 – камера; 2 – нагрівач; 3 – термopари; 4 – корпус; 5 – кришка; 6 – канал для подавання аргону; 7 – канал системи вакуумування; 8 – заготовка з матрицею

Деформування здійснюється в заданих температурно-швидкісних режимах, які відповідають стану надпластичності. Процес штампування

може бути реалізовано за однією з технологічних схем: деформівним зусиллям може бути атмосферний тиск (газовакуумне штампування) або надлишковий тиск (газовакуумне компресійне штампування).

Для штампування використовується полегшена листова матриця з жароміцної сталі типу ВЖ-101, матеріаломісткість і трудомісткість виготовлення якої майже в 100 разів нижче, ніж монолітного оснащення, що застосовується зазвичай для гарячого штампування.

Дуже мала металомісткість листового оснащення порівняно з монолітною дозволяє різко скоротити цикл нагрівання і охолодження листової матриці. Наявність захисних контейнерів зменшує градієнт температур при охолодженні й дозволяє здійснювати охолодження на повітрі технологічних пакетів безпосередньо під впливом робочих температур штампування. Облицювання внутрішніх поверхонь контейнера листами зі сплавів титану сприяють отриманню деталей з максимальною чистотою поверхні. Після штампування вироби не потребують травлення. Для попередження дифузійного зрощування матеріалу заготовки з матрицею створюють розділовий шар, наносять мастило. Як розділовий шар можна використовувати нітрид бору, який є стійким до температури 1000° С.

Методом газовакуумного штампування виготовляють великогабаритні титанові деталі зі складним рельєфом. Тривалість процесу формоутворення залежить від складності рельєфу, величини деформівних тисків.

Інтенсивність процесу зі збільшенням робочих тисків значно зростає. Це збільшує продуктивність і розширює можливості процесу щодо жорсткості виробу, що формується, рельєфу, товщини листових деталей, марок матеріалів. У цьому випадку режими штампування конкретних деталей мають відповідати температурно-швидкісному інтервалу надпластичності.

3.3.6 Формоутворення в режимі надпластичності і дифузійного зварювання

У даному випадку надпластичне формування титану використовується разом з дифузійним зварюванням, що являє собою з'єднання деталей під тиском при певній температурі, причому з'єднання відбувається без розплавлення матеріалу і застосування припаїв. В титанових сплавах обидва процеси протікають при ідентичних умовах щодо температури і тиску, що обумовлює їх об'єднання. Розроблений і запатентований фахівцями фірми "Rockwell" (США) процес [2], який об'єднує надпластичне формування і дифузійне зварювання, дає можливість не тільки формувати складні металеві конструкції з листових матеріалів, але і з'єднувати їх у компоненти силової схеми, виконуючи одночасно посилення, окантування, приєднання кріпильних вузлів.

На рисунку 3.13 показано схему застосування надпластичного формування і дифузійного зварювання при виготовленні складального вузла літака.

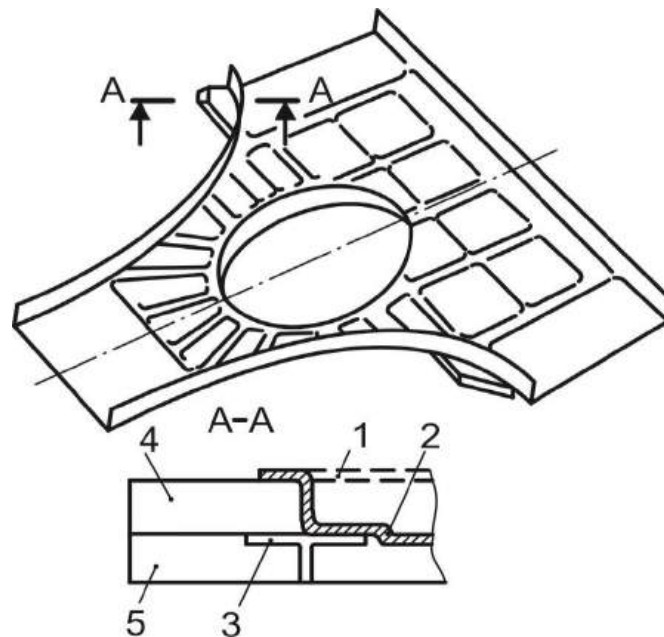


Рисунок 3.13 – Схема застосування надпластичного формування і дифузійного зварювання: 1 – листова заготовка; 2 – відформована діафрагма; 3 – попередньо встановлені деталі; 4 – матриця; 5 – вставка

При цьому положення попередньо встановлених деталей 3 визначає вставка 5, виконана відповідно до геометричних параметрів формованого вузла. Листова заготовка 1 і діафрагми 2 встановлюються на матрицю 4. Нагрівання оснащення здійснюється за допомогою керамічних нагрівальних елементів. Тиск, необхідний для формування діафрагми і дифузійного зварювання її з деталями 3, створюється аргоном. Температурно-швидкісні умови формоутворення мають відповідати режимам надпластичності конкретного матеріалу.

Найбільший ефект від застосування методу надпластичного формоутворення і дифузійного зварювання може бути отримано при виготовленні складних багатошарових конструкцій типу обшивок з різною конфігурацією підкріпних елементів. Такі великогабаритні вузли можуть бути отримані за допомогою тиску аргону, створюваного між листами, попередньо дифузійно зварюваними. Надпластичний матеріал буде входити в западини матриці, утворюючи необхідну форму підкріпного гофра. Метод формування з розширенням металу потребує застосування розділового шару, який не допускав би протікання дифузійних процесів там, де це не потрібно. Формування з розширенням дозволяє отримати хороші результати, оскільки тиск газу розподіляється рівномірно і надійно здійснюється прилягання матеріалу до матриці. Формування і зварювання відбуваються при надпластичному стані матеріалу, тому роботи з підганяння сполучених поверхонь для рівномірного прилягання при зварюванні не потрібні.

Технологічний процес виготовлення великогабаритного вузла з титанових сплавів складається з ряду послідовно виконуваних типових операцій (рисунок 3.14).

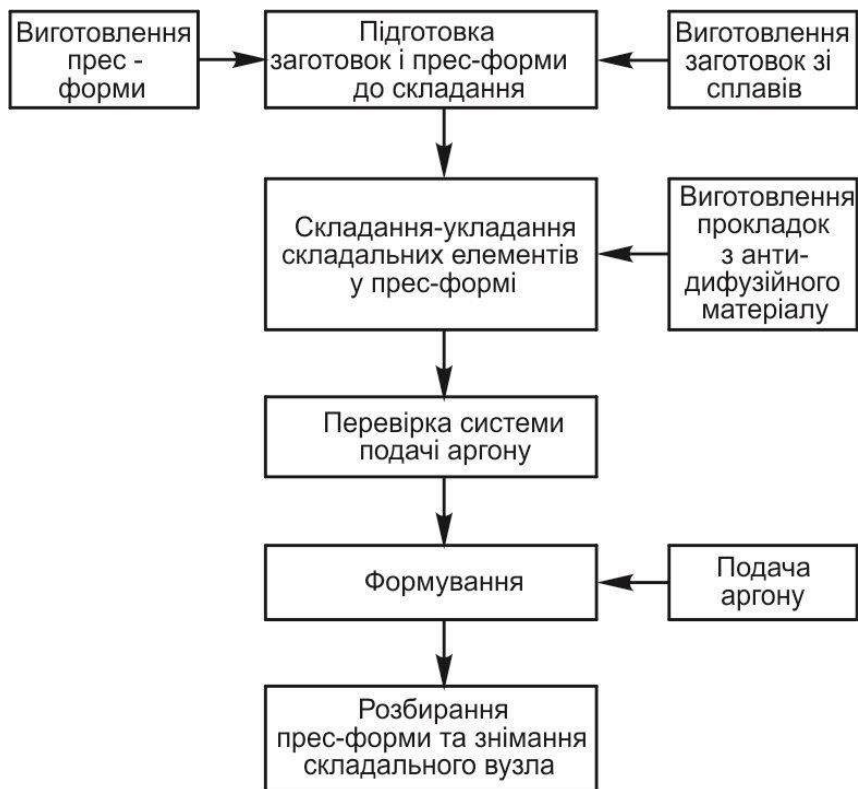


Рисунок 3.14 – Схема типового технологічного процесу виготовлення великогабаритного титанового вузла в стані надпластичності

Результатом удосконалення методу надпластичного формування і дифузійного зварювання є метод послідовного застосування тиску і розширення (рисунок 3.15).

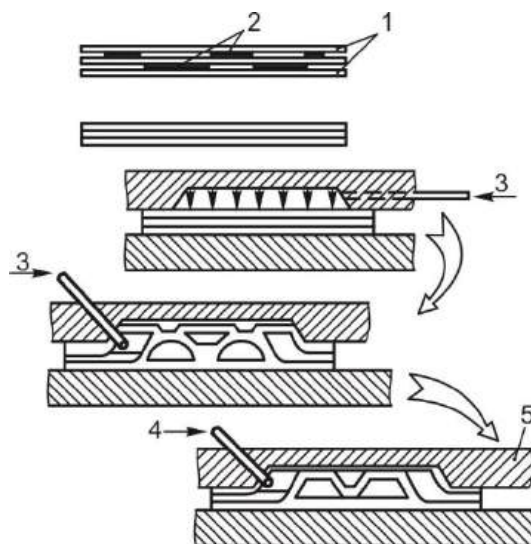


Рисунок 3.15 – Схема виготовлення титанового вузла з внутрішніми порожнинами методом формування послідовного застосування тиску і розширення: 1 – листові заготовки; 2 – антидифузійні прокладки; 3, 4 – аргон під тиском; 5 – прес-форма

У цьому випадку використовують три листові заготовки 1, між якими в необхідних місцях установлюють розділові антидифузійні прокладки. Про-

цес протікає в прес-формі 5 і складається з однієї операції. Спочатку тиск аргону подається в верхню порожнину прес-форми для забезпечення дифузійного зварювання листів. Після закінчення процесу зварювання тиск з порожнини стравлюється, тиск аргону створюється між звареними листами і починається процес формоутворення вузла. При цьому конфігурація внутрішніх порожнин визначається розмірами листа і схемою розташування антидифузійних прокладок. Газ у зону порожнин подається при температурі дифузійного зварювання.

Результати досліджень світових фірм у цьому напрямку на сьогодні реалізовані в основному в авіабудуванні. Розроблено технології виготовлення методом надпластичного формування і дифузійного зварювання ряду конструкцій з титанових сплавів: двошарових панелей у вигляді плоского листа, підкріпленого жорстким листом з відформованими на ньому рифтами; три- і чотиришарових гофрованих панелей; тришарових теплозахисних панелей із заповнювачем та інших складних вузлів, які найчастіше неможливо виготовити іншими відомими способами.

Викликає також інтерес технологія виробництва тонкостінних кульових балонів методом надпластичного формування і дифузійного зварювання (рисунок 3.16).

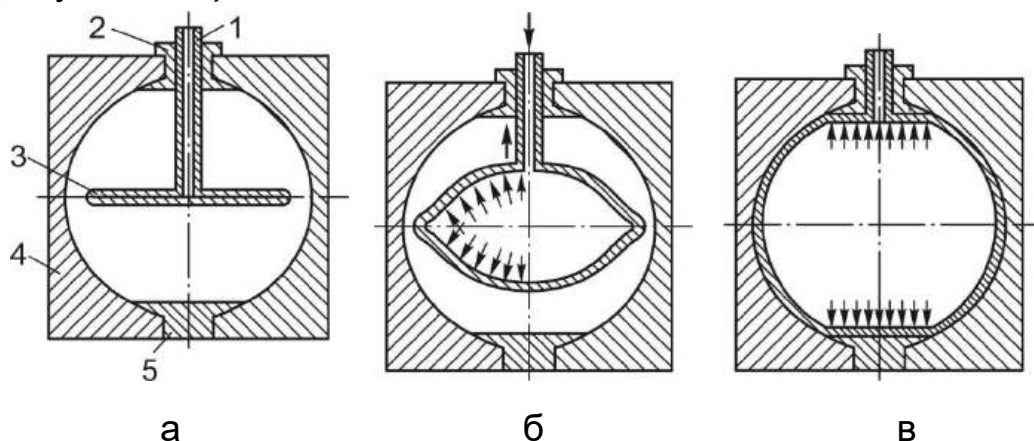


Рисунок 3.16 – Схема виготовлення шарових балонів: а – установка заготовки в оснащення; б – формування заготовки; в – дифузійне приварювання штуцера і фланця; 1 – труба подачі газу; 2 – штуцер; 3 – дискова заготовка; 4 – оснащення; 5 – фланець

Ця технологія передбачає формування кулі з порожнистої заготовки, попередньо виготовленої дифузійним зварюванням по периметру і вміщеної в оснащення, а також приварення фланця і штуцера, розміщених в оснащенні, дифузійним зварюванням. За цією технологією виготовляють кульові балони з титанового сплаву ВТ6ч. При цьому підвищується точність геометричних розмірів балонів і міцність зварних з'єднань порівняно з традиційною технологією виробництва таких балонів методом зварювання плавленням з двох відштампованих півсфер.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кривов, Г. А. Технология самолетостроительного производства [Текст] / Г. А. Кривов. – Киев: КВИЦ, 1997. – 459 с.
2. Крысин, В. Н. Технологическая подготовка авиационного производства [Текст] / В. Н. Крысин. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
3. Горбунов, М. Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов [Текст]: учебник для вузов / М. Н. Горбунов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
4. Производство самолетов стальной конструкции [Текст] / под ред. Р. А. Белякова. – М.: Воениздат, 1982. – 416 с.
5. Попов, Е. А. Технология и автоматизация листовой штамповки [Текст] / Е. А. Попов. – М.: МГТУ, 2008. – 480 с.
6. Морголенко, А. С. Раскрой листового материала при изготовлении деталей в заготовительных цехах авиазаводов [Текст]: учеб. пособие / А. С. Морголенко. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьков. авиац. ин-т", 2001. – 59 с.
7. Гайдачук, В. Е. Анализ эффективности технологии лазерной резки листовых деталей из алюминиевых сплавов в авиационном производстве [Текст] / В. Е. Гайдачук, А. И. Костенко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(62). – Харьков, 2010. – С. 20 – 37.
8. Технологія виробництва літальних апаратів із композиційних матеріалів [Текст]: підруч. / С. А. Бичков, О. В. Гайдачук, В. Є. Гайдачук та ін. Київ: ІСДО, 1995. – 376 с.
9. Технология производства лопастей вертолетов и авиационных конструкций из ПКМ [Текст] / Б. Н. Слюсарь, М. Б. Флек, Е. С. Гольберг и др. – Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН, 2013. – 230 с.
10. Двейрин, А. З. Сотовые конструкции в самолетах АНТК им. Антонова [Текст] / А. З. Двейрин, В. С. Петропольский // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 2009 г. – С. 98 – 104.
11. Барынин, В. А. Современные технологии неразрушающего контроля конструкций из полимерных композиционных материалов [Текст] / В. А. Барынин, О. Н. Будадин, А. А. Кульков. – М.: Спектр, 2013. – 242 с.
12. Технологія виготовлення деталей ЛА з видаленням припуску [Текст]: підруч. / В. С. Кривцов, В. Т. Сікульський, Ю. В. Д'яченко та ін. – Харків: Нац. аэрокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2010. – 224 с.
13. Long, A. C. Composites forming technologies [Text] / A. C. Long. – CRC Press, 2007. – 328 p.
14. Kelsey, D. Atherton 6 Awesome Aircraft From The 2013 Paris Air Show [Электронный ресурс] / D. Kelsey. – Режим доступа: <http://www.popsci.com/>.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ СТІЛЬНИКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	4
1.1 Конструктивно-технологічні особливості металевих стільникових конструкцій.....	4
1.2 Технологія виготовлення металевих стільникових конструкцій.....	6
1.2.1 Технологія знежирення фольги.....	7
1.2.2 Технологія виготовлення стільникових пакетів.....	8
1.2.3 Розтягування стільникового пакета.....	10
1.2.4 Фрезерування торців стільникового блока.....	12
1.2.5 Знежирення стільникового блока, нанесення клею на торці стільників.....	14
1.3 Підготовка обшивок стільникового заповнювача до склеювання.....	16
1.4 Складання хвостового відсіку лопаті вертольота.....	18
2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ СТІЛЬНИКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	21
2.1 Конструктивно-технологічні особливості неметалевих стільникових конструкцій.....	21
2.2 Технологія виготовлення стільникових конструкцій з ПКМ.....	23
2.2.1 Виготовлення полімерного стільникового заповнювача.....	24
2.2.2 Автоклавне формування обшивок з ПКМ.....	26
2.3 Виготовлення хвостового відсіку лопаті з ПКМ.....	29
2.3.1 Формування хвостового відсіку лопаті.....	30
2.4 Особливості процесу оброблення різанням ПКМ.....	32
2.5 Контроль якості виготовлення виробів з ПКМ.....	35
3. ОСОБЛИВОСТІ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ТРУДНОДЕФОРМІВНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	38
3.1 Основні характеристики високоміцних нержавіючих сталей і титанових сплавів.....	38
3.2. Розкроювання листового матеріалу.....	39
3.2.1 Лазерне розкроювання.....	42
3.2.2 Гідроабразивне різання.....	50
3.3 Формоутворення листових деталей із труднодеформівних матеріалів з нагрівом.....	55
3.3.1 Динамічне штампування на молотах із радіаційним нагрівом.....	56
3.3.2 Штампування із суміщенням.....	57
3.3.3 Формоутворення з термофіксацією.....	59
3.3.4 Ізотермічне штампування.....	60
3.3.5 Формоутворення в стані надпластичності.....	61
3.3.6 Формоутворення в режимі надпластичності й дифузійного зварювання.....	66
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	70

Навчальне видання

Коллеров Вячеслав Вікторович
Д'яченко Юрій Веніамінович
Сікульський Валерій Терентійович
Морголенко Анатолій Сергійович
Воронько Ірина Олексіївна
Гарін Вадим Олегович

**СПЕЦІАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ
І ОСНАЩЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Редактор В. М. Коваль

Зв. план, 2017

Підписано до видання 19.10.2017

Ум. друк. арк. 4. Обл.-вид. арк. 4,5. Електронний ресурс

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої
продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001