

ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ ім. М. С. ЖУКОВСЬКОГО

На правах рукопису

СЛОВОДЖК Олексій Петрович

УДК 621.98.044

ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ГАЗОВИБУХОВОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОВЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛІТАЛЬНИХ
АПАРАТІВ ЗАМКНУТОГО КОНТУРУ ВЕЛИКОГО ВИДОВЖЕННЯ

Спеціальність 05.07.04 - Технологія виробництва
літальних апаратів

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук



Харків 1994



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському авіаційному інституті ім. М. С. Жуковського на кафедрі технології металів та авіаційного матеріалознавства.

Науковий керівник - академік АН України, професор,
докт. техн. наук Ворисевич В. К.

Офіційні опоненти: професор, докт. техн. наук
Мовшович А. Я.
доцент, канд. техн. наук
Циганов В. П.

Ведуче підприємство - Харківське авіаційне виробниче
об'єднання

Захист дисертації відбудеться "14" жовтня 1994
р. о 14 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої ради
по присудженню вчених ступенів (шифр Д 053.14.02) за спеціальністю 05.07.04 - Технологія виробництва літальних апаратів у Харківському авіаційному інституті ім. М. С. Жуковського за адресою:
310070, г. Харків-70, вул. Чкалова, 17.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського авіаційного інституту.

Автореферат разісланий "6" Вересня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
доцент, кандидат технічних наук *Корнілов* Р. Л. Корнілов

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1. Актуальність теми

Для нових поколінь сучасної авіакосмічної техніки, що характеризується високою енергонасиченістю, питомою потужністю, підвищеними температурами та агресивністю робочих середовищ, простежується стійка тенденція до зростання в конструкціях долі деталей замкнутого контуру, в тому числі великого видовження, таких, як елементи повітрепроводів систем протиізенення та кондиціювання літаків, трубопроводів газотурбінних і ракетних двигунів, теплообмінних пристроїв. При цьому питання забезпечення високого ресурсу трубопроводів стало визначним при їх розробці та виготовленні. З ростом габаритів комерційних літальних апаратів вимоги високої надійності призвели до збільшення долі деталей великого видовження, зниженню сумарної довжини зварних швів. Крім того, вимога зниження маси диктує застосування особливотонкостінних деталей із посиленнями у навантажених місцях або багат шарових конструкцій.

В той же час традиційні технології не завжди забезпечують потрібний рівень якості деталей замкнутого контуру, особливо великого видовження. Можливим рішенням проблеми є застосування імпульсних технологій і, зокрема, газовибухових.

Особливості газового енергоносія дозволяють легко формувати заряд всередині заготовки, управляти його параметрами і використовувати здатність газової детонації розповсюджуватись по таких каналах, виділяючи енергію, потрібну для деформування, безпосередньо біля стінки заготовки. Аналіз відомих газовибухових методів штамповки показав, що подібна технологічна схема не розглядалась, а тому потребує вивчення.

Таке специфічне джерело навантаження, як хвиля детонації, що біжить по газовій суміші всередині заготовки із порівняно

невисокими швидкостями, формує локальну зону деформування, відмінну від тих, що спостерігаються в інших імпульсних технологіях, наприклад, при штамповці БВР, коли швидкість детонації дорівнює швидкості звуку у металі. Тому необхідно дослідити вплив такої схеми формостворення на кінцеву геометрію заготовки.

Аналіз відомих даних по газовому вибуху виявив їх розрізненість і неповноту, що потребує побудови адекватних моделей процесів та дослідження за їх допомогою факторів, що впливають на формування зовнішнього навантаження і визначають роботу технологічного обладнання.

В свою чергу, досвід експлуатації газовибухових установок на підприємствах авіаційної та авіадвигунобудівної промисловості показав необхідність пошуку методів і шляхів вдосконалення вже існуючих технологічних процесів та обладнання, а також оптимального проектування знов створюваних.

Таким чином, недостатня вивченість розглянутих вище питань, з однієї сторони і зростаючі вимоги до якості деталей, з другої, зумовили необхідність проведення цієї роботи.

1.2. Ціль і задачі досліджень

Ціллю роботи є дослідження процесу формостворення деталей трубопроводів літальних апаратів замкнутого контуру великого видовження енергією газової детонаційної хвилі, що розповсюджується по порожнині заготовки і розробка на цій базі практичних рішень для виробництва.

Для досягнення поставленої у роботі цілі необхідно рішити такі задачі.

1. Дослідити особливості процесу деформування деталей замкнутого контуру великого видовження типу елементів авіаційних повітрепроводів і теплообмінників при навантаженні детонаційною хвилею, що розповсюджується у порожнині заготовки.

2. Встановити закономірності формування поля зовнішнього

навантаження в стаціонарній одномірній детонаційній хвилі і можливі способи підвищення ефективності процесу.

3. Дослідити заходи, що дозволятимуть здійснити управління параметрами технологічних процесів, дати конструктивні і технологічні рішення, що відповідають вимогам авіаційного виробництва та рекомендації по їх розробці.

4. Впровадити одержані результати у вигляді технологічних процесів і обладнання на підприємствах галузі.

1.3. Наукова новизна

Розроблена та досліджена нова схема технологічних процесів виготовлення довгомірних деталей замкнутого контуру літака і двигуна, яка базується на прямій дії детонаційної хвилі на трубчасту заготовку, встановлені залежності кінцевої форми одержуваних деталей від виду зовнішнього навантаження.

Теоретично та експериментально досліджені невивчені раніше процеси формостворення осесиметричної тонкостінної заготовки великого видовження хвилею детонації, що біжить порожниною заготовки.

За допомогою створеної комплексної моделі газової детонації вивчений процес формування зовнішнього навантаження при газодетонаційній штамповці, виявлені залежності початкових і кінцевих параметрів, розраховані найважливіші геометричні характеристики заготовок, оснастки і вузлів обладнання.

Встановлено, що потужним фактором управління амплітудно-часовими параметрами зовнішнього навантаження, поряд з початковим тиском газової суміші, служить її хімічний склад. При цьому склад суміші повинен розраховуватись при проектуванні і точно витримуватись при реалізації технологічних процесів.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень

газовибухової штамповки деталей трубопровідних систем літаків та двигунів створено цілий ряд принципово нових методик для інженерних розрахунків параметрів технологічних процесів і обладнання, досить простих, але й точних.

Розробки мають світову новизну, захищені авторськими свідоцтвами СРСР, Росії, НДР, Болгарії.

1.4. Практична значимість роботи

Результати проведених теоретичних, розрахункових та експериментальних досліджень дозволяють проектувати та здійснювати нові технологічні процеси виготовлення таких деталей, як довгомірні елементи повітрепроводів літаків та двигунів, в тому числі багатопарові і з локальним рел'єфом, патрубки з відводами, кінцеві та посилені елементи авіаційної трубопроводної арматури, рівні трубчасті теплообмінники літальних апаратів.

Розроблені моделі формування зовнішнього навантаження і деформування трубчастої заготовки великого видовження дають можливість розраховувати основні параметри технологічних процесів, що скорочує об'єми дослідного технологічного відпрацювання і суттєво знижує витрати на підготовку виробництва.

Результати, що стосуються джерела зовнішнього навантаження - газової детонації, встановлюють залежності, які визначають можливості ефективного управління полем навантаження не тільки в процесах газовибухової штамповки плоских та трубчастих заготовок деталей літальних апаратів, але можуть використовуватись для проектування і вдосконалення газовибухових технологій ущільнення матеріалів, виготовлення ливарних форм, зачистки заготовок тощо.

Розроблені схеми, конструкції і методики настроювання систем сумішестворювання і інших вузлів газодетонаційного обладнання, що відповідає вимогам авіаційного виробництва (дрібні партії деталей, часті переналадки і т.і.).

1.5. На захист вносяться:

- принципово нові технологічні процеси виготовлення деталей літальних апаратів замкнутого контуру великого видовження і конструктивні рішення відповідного обладнання;
- методика розрахунку формостворення деталі замкнутого контуру детонаційною хвилею, що розповсюджується по газовій суміші у порожнині заготовки;
- методика визначення параметрів зовнішнього навантаження і критичних геометричних розмірів газовибухового обладнання;
- інженерні методики розрахунків основних параметрів технологічних процесів і зовнішнього навантаження;
- рекомендації по вибору схем, проектуванню, тарировці та настройці систем сумішестворювання і запалення технологічного обладнання, що відповідають вимогам авіаційного виробництва.

1.6. Практична реалізація роботи

Результати роботи були використані при розробці установки для одержання дліномірних елементів повітрепроводів системи протизледеніння літака, посилених багат шарових кінцевиків труб і трубчастих теплообмінників літальних апаратів. Виготовлені деталі повітрепроводів систем протизледеніння і кондиціонування транспортних літаків АН, патрубки двигунів, а також складні бортові теплообмінники літальних апаратів. Зацікавленість даною технологією виявили підприємства "ОРЕОЛ-43", АНТК ім. О. К. Антонова, "Мотор-СІЧ", Полтавський КНДВ УкрНДІгаз.

Результати і висновки роботи знайшли використання при модернізації та вдосконаленні серійних установок газової штамповки типу УИШ, а також іншого газового обладнання у виробництві літальних апаратів на "ОРЕОЛ-43". Модернізація різних вузлів і систем установок проведена на 9 підприємствах України та Білорусії. Проведені заходи дозволили підвищити якість деталей, зробити роботу обладнання більш надійною та безпечною.

Розроблені методики і дані досліджень були використані при розробці інших типів газовибухового обладнання - машини імпульсного формування та газового пресу ПГ-20, впровадженого на заводі будівельної техніки в м. Главниця (Болгарія).

1.7. Апробація роботи

Матеріали дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на науково-технічних семінарах кафедри технології металів та авіаційного матеріалознавства в Проблемній лабораторії по використанню імпульсних джерел енергії у промисловості Харківського авіаційного інституту (1988-1993 рр), на Всесоюзній конференції по використанню імпульсних джерел енергії в промисловості у м. Харкові (1990 р) та на X симпозиумі по горінню і вибуху у м. Черноголовка (1992 р). Розроблені технології та зразки деталей експонувались на міжнародних виставках у Пловдиві (1989), Сингапурі (1990), Гавані (1990), ВДНГ (1989-1990) і відмічені медалями цих виставок.

1.8. Публікації

За матеріалами дисертації опубліковано 17 робіт, із яких 8 друкованих, 1 на правах рукопису, 8 авторських свідоцтв.

1.9. Об'єм і структура роботи

Робота, що реферується загальним об'ємом 175 стор. складається із введіння, 4 розділів, загальних висновків та прикладок. Робота містить 7 таблиць, 101 ілюстрацію, список літератури із 196 найменувань і 14 прикладок.

2. ЗМІСТ РОБОТИ

У введенні обґрунтована актуальність вибраного напрямку досліджень. Вказуються тенденції розширення використання деталей замкнутого контуру у конструкціях авіакосмічної техніки і труднощі їх формостворення. Формулюється новизна і практична значимість роботи.

У першому розділі роботи показані об'єктивні причини, що

приводять до зростання доли деталей замкнутого контуру у конструкціях літальних апаратів. На основі відомих оцінок проведена класифікація таких деталей за конструктивно-технологічними ознаками і аналізуються методи їх виготовлення.

Такий підхід дозволив виявити цілий ряд деталей, котрі одержують з недостатньою якістю, із великими затратами, або не одержують принципово за допомогою традиційних технологій (мал. 1). В цю групу входять, головним чином, деталі авіаційних трубопровідних систем великого видовження, з елементами місцевого рел'єфу, що потребують штампо-збірних операцій, багатопарові конструкції.

Встановлення границь застосування багатьох статичних та імпульсних технологій виділило газовибуховий метод, як найбільш перспективний для виготовлення вказаної номенклатури. Однак, відомі схеми газової штамповки не завжди забезпечують зростаючі вимоги до якості деталей.

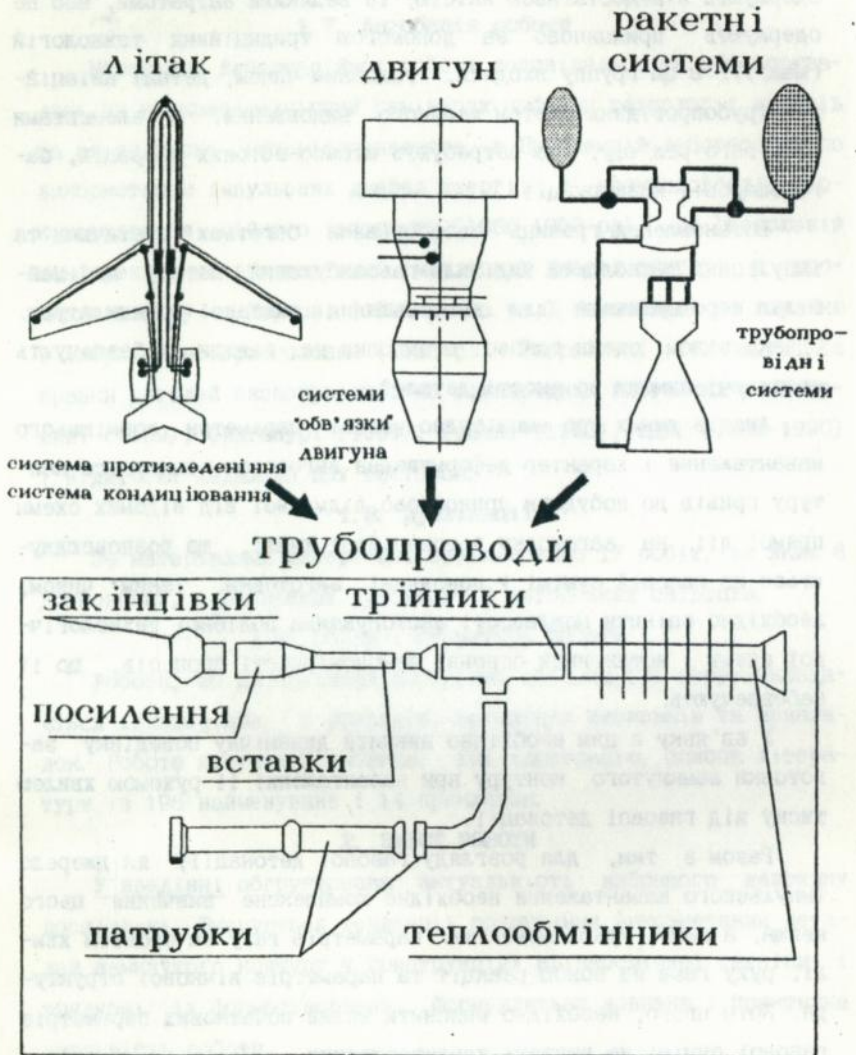
Аналіз даних про амплітудно-часові параметри зовнішнього навантаження і характер деформування заготовок замкнутого контуру привів до побудови принципово відмінної від відомих схеми прямої дії на заготовку детонаційної хвилі, що розповсюджується по газовій суміші у порожнині заготовки. Таким чином, необхідно оцінити можливості застосування подібної технологічної схеми і встановити основні закономірності процесів, що її забезпечують.

У зв'язку з цим необхідно вивчити динамічну поведінку заготовки замкнутого контуру при навантаженні її рухомою хвилею тиску від газової детонації.

Разом з тим, для розгляду газової детонації, як джерела імпульсного навантаження необхідне комплексне вивчення цього явища, а саме, трьох моментів: параметрів газу за фронтом хвилі, руху газу за зоною реакції та параметрів вічкової структури. Крім цього, необхідно вяснити вплив початкових параметрів газової суміші на вказані характеристики.

Далі, використовуючи відомі рішення, визначаються шляхи

Деталі замкнутого контуру у трубопровідних системах



Мал. 1

досліджень, формулюється ціль роботи і задачі, рішення яких необхідно для досягнення поставленої цілі.

У другому розділі роботи моделювались два основних процеси, що забезпечують одержання деталі замкнутого контуру детонаційною хвилею, що біжить у порожнині заготовки: процес формування зовнішнього навантаження та процес деформування трубчастої заготовки.

Більшість деталей авіаційних трубопровідних систем є осесиметричними, як щодо геометрії, так і щодо прикладення імпульсної силової дії. Тому процес деформування трубчастої заготовки досліджували, використовуючи багатопараметричну модель багат шарової оболонки, в якій товщина матеріалу представлена сукупністю k шарів, розділених матеріалом із безкінечною жорсткістю на асув.

В такій постановці рух виділеного елемента заготовки (мал. 2) описується такими рівняннями:

$$\partial(N_3 X_1 \cos X_3) / \partial X_5 - \partial(Q_3 X_1 \sin X_3) / \partial X_5 - M_4 = m X_1 \ddot{X}_1 - P_1,$$

$$\partial(N_3 X_1 \sin X_3) / \partial X_5 + \partial(Q_3 X_1 \cos X_3) / \partial X_5 = m X_1 \ddot{X}_2 - P_2,$$

$$\partial(M_3 X_1) / \partial X_5 - M_4 \cos X_3 = Q_3 X_1.$$

Задача вирішувалась методом прямої прогонки.

Фізичну модель процесу, що включає співвідношення між напруженнями і деформаціями, будували, виходячи із таких припущень:

- матеріал заготовки підлягає упруго-пластичній моделі, має можливість деформаційно та кінематично зміцнюватись;

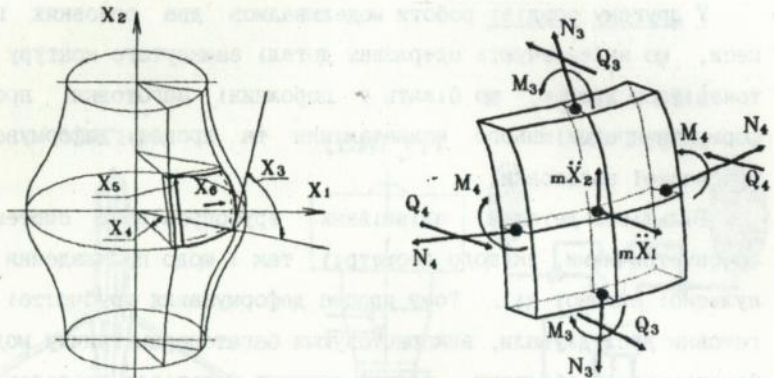
- в упругій зоні матеріал підкоряється у загальному закону Гука;

- співвідношення між прирощеннями деформацій описується залежностями Прандтля-Рейса;

- за зоною активного навантаження має місце упруге розвантаження;

- втрати на гістерезис в упругій області відсутні.

Розрахунковий елемент заготовки



Мал. 2

Таким чином, компоненти тензора напруг в будь-який момент часу визначались за відомими із розрахунку руху елемента заготовки компонентами тензора деформацій і характеристиками матеріалу. При цьому деформаційне та кінематичне зміцнення матеріалу описувалося рівняннями

$$\begin{aligned} \sigma_s^{mn} &= A + B \varepsilon_i^{mn} , \\ \sigma_s^{mn} &= \sigma_s^{mn} (1 + (\varepsilon_i^{mn} / D_\varepsilon)^{1/m}) , \end{aligned}$$

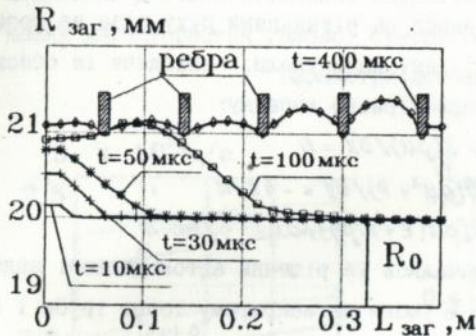
де A , B , D_ε та m - коефіцієнти.

Плоский напружений стан матеріалу заготовки, що реалізується з-за його малої товщини, дозволяє дещо спростити вид рівнянь і геометричних співвідношень та використовувати сітки розбивання меншої розмірності.

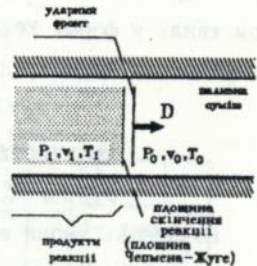
Побудована модель дає можливість аналізувати динамічну поведінку заготовки, беручи до уваги специфіку навантаження і одержувати кінцеві прогини і загальну картину деформування (мал. 3), чисельно моделювати ті чи інші технологічні процеси.

Картина деформування
теплообмінника

Структура детонаційної
хвилі



Мал. 3



Мал. 4

Модель зовнішнього навантаження будувалась із використанням комплексного підходу до явища газової детонації.

Так, пікові параметри детонації (параметри Чепмена-Жуге) визначали, базуючись на моделі стаціонарної одновірної детонаційної хвилі Зельдовича (мал. 4):

$$\begin{aligned} v_0(D - u_1) &= v_1 D, \\ P_1 + (D - u_1)^2 / v_1 &= P_0 + D^2 / v_0, \\ I_1 + (D - u_1)^2 / 2 &= I_0 + D^2 / 2, \\ D - u_1 &= c. \end{aligned}$$

Від подібних відомих рішень розроблений підхід відрізняється розширеним складом продуктів реакції і розрахунком їх термодинамічних параметрів і рівноважного складу за уточненими формулами:

$$\begin{aligned} K_i &= \prod_i P_i^{\nu_i} / \prod_m P_m^{\nu_m}, \\ \{P\}_i &= (T_i P_0 v_0 / T_0 v_1 \sum_j m_j) \xi_i \nu_j m_j \end{aligned}$$

де K_i - константи рівноваги реакцій дисоціації, $\{P\}_i$ - умовні тиски атомарних компонентів.

В модель включене також автоматичне врахування/неврахування дисоціації за відповідними температурними умовами.

Розрахунок розширення продуктів реакції, що переносять до 90% енергії хвилі, проводився за рівняннями руху газу за фронтом хвилі у формі Ейлера, які записували, виходячи із осесиметричності задачі, для одномірного випадку:

$$\begin{aligned} \rho r / \partial t + \partial(\rho u) / \partial x &= 0 \\ \partial(\rho u) / \partial t + \partial(\rho u^2 + P) / \partial x &= -4\tau / d \\ \partial(\rho E) / \partial t + \partial[\rho u(E + P/\rho)] / \partial x &= -4q / d \end{aligned}$$

Початкові умови визначались із рішення автомоделної задачі, а граничними умовами є умови на закритому торці труби і на фронті хвилі.

Відмінами запропонованого підходу є розрахунок складу продуктів для кожного вічка сітки, що підвищує точність обліку втрат на дисоціацію.

Параметри багатофронтної структури детонації, які дають можливість розрахувати так звані критичні параметри каналів заготовок, оснастки та обладнання, визначались із застосуванням кінетичного підходу до розрахунку вічкової структури. При цьому, на відміну від відомих робіт, ланцюг елементарних реакцій не визначався, а ефективна енергія активації E_a загальної реакції знаходилась за сумарним тепловим ефектом Q у вигляді

$$E_a = A + BQ$$

де A , B - коефіцієнти, що залежать від палива і окислювача.

Тепловий ефект реакції Q знаходився за визначенням складом продуктів реакції за законом Геса

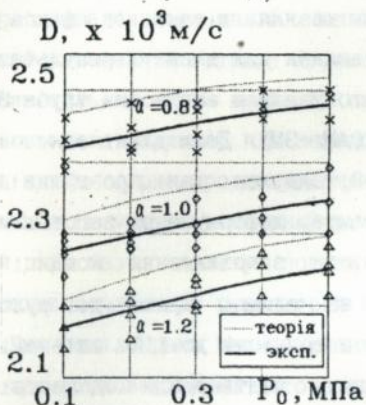
$$Q = \sum_i m_i H_{pi} - \sum_j n_j H_{Tj}$$

де H_{pi} - теплоти створення продуктів реакції, m_i - кількість молей кожного, H_{Tj} - теплоти створення компонентів вихідної суміші, n_j - кількість молей даного компоненту.

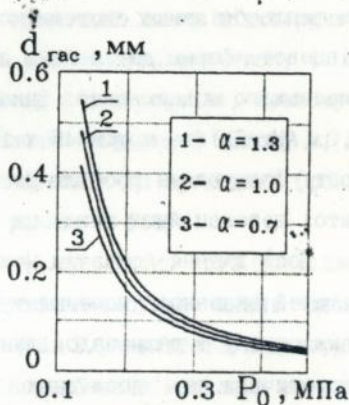
За такою моделлю чисельно досліджені процеси формування

зовнішнього навантаження, а також знайдені параметри детонації і деякі розміри обладнання, що використовується для газової штамповки деталей літальних апаратів, в залежності від початкових характеристик газової суміші (мал. 5).

Параметри детонації



а) швидкість детонації



б) діаметр гасіння

Мал. 5

Розроблена модель може бути використана для розрахунків зовнішнього навантаження в інших газодинамічних технологіях.

В третьому розділі наведені методики, зміст та результати експериментальних досліджень, ціллю яких була перевірка математичних моделей, виявлення можливостей схеми процесу виготовлення довгомірних деталей літальних апаратів.

В ході експериментів реєструвались такі величини:

- кінцева форма трубчастих заготовок після процесу формостворення;
- швидкість розповсюдження детонації у трубчастому каналі;
- тиск в детонаційній хвилі.

Для рішення поставленої задачі був виготовлений, зібраний і налагоджений експериментальний технологічний комплекс на ба-

зі установки УДГУ-011, змонтовані та відтарирувані п'єзоелектричні датчики тиску, зібраний і налагоджений вимірювальний комплекс.

Експерименти з перевірки можливостей запропонованої схеми одержання деталей замкнутого контуру великого видовження полягали у штампівці модельних деталей - елементу повітрепровода та теплообмінника системи кондиціювання літака із фіксацією кінцевої форми деталей та порівняння цих даних з результатами чисельного моделювання. Використовувалися заготовки труба 55 x 2,0 (АМг-6М) та труба 45 x 1,5 (АМг-3М). Досліджені закономірності формування профілю деталей, одержані дані про вплив відбитої детонаційної хвилі на характер деформування заготовки.

Дослідження показували можливість виготовлення кондиційних деталей вказаної номенклатури за схемою прямої дії рухомої хвилі тиску і дали задовільне, в точності до 11% співпадіння теоретичних та дослідних даних, підтвердили адекватність застосованих моделей.

При експериментальному вивченні зовнішнього навантаження була досліджена залежність швидкості детонації від початкового тиску і складу вихідної суміші. Швидкість вимірювалась хронографічним методом у камері, що моделювала канал заготовки.

Встановлено, що залежність цього параметру від початкового тиску незначна і при $P_0 > 0,2$ МПа можливість управління часовими характеристиками навантаження дає зміна складу суміші (діапазон зміни швидкості до 14% при зміні α від 0,8 до 1,2 при одному й тому ж значенні P_0).

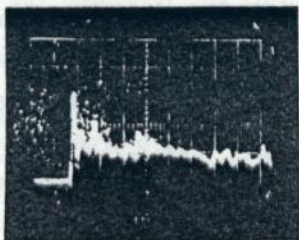
Порівняння результатів дослідів із теоретичними даними показує деяке завищення (до 5%) значень обчисленої швидкості детонації, що порівняно із точністю вимірювання, однак регулярний характер відхилень скоріше свідчить про погрішність моделей, пов'язану, вочевидь, із неврахуванням процесів іоніза-

ції та випромінювання із зони реакції.

Піковий тиск детонації досліджувався також в залежності від початкового тиску та складу суміші у діапазоні найбільш часто використовуваних значень цих параметрів ($0,1 < P_0 < 0,5$ МПа, $0,8 < \alpha < 1,2$).

Вид типової осцилограми запису тиску у вимірвальній камері наведений на мал. 6. Аналіз одержаних даних підтвердив лінійну залежність тиску детонації від початкового тиску і виявив сильний вплив на даний параметр складу суміші, причому навіть дещо більший, ніж передбачалося теорією. В цілому ж, теорія дає вірне представлення про процесів, що проходять (розходження результатів коливається в рамках 7-10%).

На базі аналізу повних профілей тиску був досліджений вплив початкових параметрів на питомий імпульс хвилі детонації. Вид осцилограми запису тиску при розповсюдженні детонації передбачене моделями зростання питомого імпульсу при зниженні



Мал. 6

регулювання параметрів технологічних процесів газодетонаційної штамповки.

У четвертому розділі викладені питання, пов'язані із розробкою технологічних процесів виготовлення деталей літальних апаратів замкнутого контуру великого тиску. Додатково розглянуто питання експлуатації обладнання для здійснення таких процесів.

α .

Таким чином, в експериментах підтверджена роботоздатність розробленої технологічної схеми, одержані модельні деталі, встановлена правильність побудованих моделей і встановлений ще один фактор

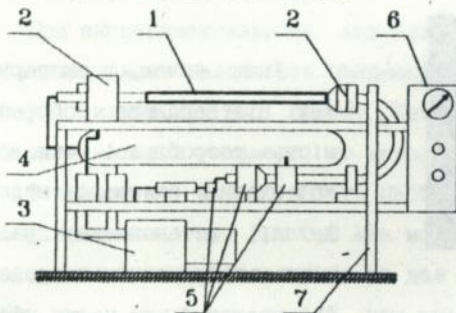
Наведені типові техпроцеси виготовлення елементів авіаційних трубопроводів великого видовження, дані приклади отримання багат шарових конструкцій, вказані технічні характеристики виробів.

Особливо виділені процеси виготовлення елементів бортових теплообмінників літальних апаратів. Показано, що результатом використання розробленої технологічної схеми є підвищення якості таких виробів, зниження затрат ручної праці, підвищення продуктивності.

Обґрунтована можливість застосування запропонованого методу для виготовлення інших деталей замкнутого контуру, дані границі і умови його використання в таких випадках.

Із врахуванням результатів проведених досліджень для здійснення запропонованого методу розроблена дослідно-промислова установка (мал. 7), обчислені її технологічні і конструктивні параметри. Спроектвана пневмогазова схема, до-

Схема установки



1-заготовка; 2-вузли кріплення; 3-вакуумнасос; 4-вакуум-реси-вер; 5-агрегати газо-вої схеми; 6-агрегати електросхеми; 7-сило-вий каркас.

Мал. 7

зуче - змішувальний пристрій, вузли запалення і забезпечення детонаційного режиму.

Таке обладнання дозволяє виготовляти за схемою прямої дії хвилі детонації широку номенклатуру деталей замкнутого контуру діаметром від 20 до 150 мм, довжиною 500-2500 мм.

Представлена методика спрощеного розрахунку процесу виготовлення подібних деталей, наведений розрахунок параметрів технологічного процесу виготовлення теплообмінника. Також представлений ряд матеріалів по спрощених інженерних розрахунках параметрів зовнішнього навантаження, одержаних на базі чисельного моделювання і уточнених у експериментах. Наводяться побудовані нами номограми визначення швидкості і тиску детонації, рівняння для розрахунку інших пікових параметрів хвилі, а також апроксимаційна формула, що описує профіль тиску за зоною реакції виду

де A , B , C - коефіцієнти, значення яких встановлені в залежності від початкових параметрів суміші.

Для АНТК ім. О.К.Антонова виготовлені дослідні деталі трубопроводів системи противледеніння літака, а для підприємства "Мотор-СІЧ" - елементи системи відбору повітря від компресора двигуна. На підприємстві "ОРЕОЛ-43" випробувані виготовлені за розробленою технологією складні бортові теплообмінники літальних апаратів. За висновками спеціалістів цих підприємств, виготовлені вироби мають високі експлуатаційні якості.

Результати досліджень використані для розробки заходів, що підвищують ефективність і ККД існуючих технологічних процесів штамповки авіаційних деталей замкнутого контуру. Були вдосконалені деякі системи і вузли серійного обладнання, впроваджені методики настроювання і тарювання, що дозволило підвищити надійність і безпечність роботи технологічного обладнання на підприємствах по виробництву літальних апаратів.

Розроблені технологічні процеси виготовлення елементів авіаційних повітрепроводів дозволили удосконалити процес виготовлення металевих гільз протезів нижніх кінцівок. Аналіз даних моделювання і експериментів дав можливість за рахунок

управління початковим складом суміші підвищити енергозбережливість установки УІШ-03 і одержувати на Донецькому ЕПОП кондиційні деталі, що не виготовлялися раніше. Крім того, модернізовані вузли дозування, змішування і запалення установок серії УІШ на 8 підприємствах, що експлуатують таке обладнання.

Дані рекомендації щодо вибору схем та проектування дозуючих - змішувальних вузлів газовибухових установок. Наведені методи і виконаний розрахунок дросельного елемента системи дозування, дані приклади спроектованих нами змішувальних пристроїв і вказані області їх застосування.

На базі виконаної роботи сформульовані напрямки перспективних досліджень, вказані шляхи подальшого вдосконалення технологічних процесів і обладнання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведені теоретичні і експериментальні дослідження дозволили розробити принципово нову технологічну схему виготовлення деталей трубопроводів літальних апаратів замкнутого контуру великого видовження (типу патрубків з локальним рел'єфом та посиленнями, кінцівок трубопроводів, багат шарових елементів, теплообмінників та ін.), засновану на прямій, тобто без передаючих середовищ дії газової детонації на трубчасту заготовку.

2. Запропонована технологічна схема, що заключається у розповсюдженні детонаційної хвилі по газовому заряду, розміщеному у порожнині заготовки, та деформуванні останньої виникаючим імпульсом тиску, підвищує ККД процесу, розширює номенклатуру деталей, дозволяє підвищити надійність авіаційних трубопроводів за рахунок виготовлення деталей з місцевим рел'єфом та кінцевими елементами із цільної заготовки, без використання зварки.

3. Прийнята модель динамічної поведінки заготовки замкну-

того контуру дозволила розраховувати процес формостворення розгляданого класу деталей у специфічних умовах газодетонаційного навантаження із урахуванням динамічного зміщення матеріалу. Чисельне моделювання таких процесів дозволяє вивчати кінематику заготовки, визначати її напружено-деформований стан та форму в любий момент часу.

4. Створена модель розповсюдження детонаційної хвилі у газовій суміші, окрім параметрів зовнішнього навантаження, дозволяє визначати ряд критичних геометричних розмірів технологічних каналів, що створює основу для надійного проектування і удосконалення технологічних процесів, вузлів і систем газобухових установок.

Розроблена модель дала можливість вивчити основні залежності процесів виділення та перетворення енергії у детонаційній хвилі і встановити найбільш значимі фактори управління зовнішнім навантаженням.

5. Запропонована математична модель динамічної поведінки заготовки замкнутого контуру під дією навантаження від детонаційної хвилі знаходиться у добрій відповідності з результатами експериментальних досліджень, при цьому максимальні відхилення величин остаточних деформацій не перевищують 12%, а одержання в експериментах модельних деталей підтверджує обґрунтованість та ефективність запропонованої схеми штамповки для вказаної групи деталей авіаційних трубопровідних систем.

6. Чисельні та експериментальні дослідження джерела зовнішнього навантаження дали добру відповідність результатів (в межах 10%), дозволили визначити основними управляючими факторами початковий тиск та склад вихідної суміші. Таким чином, з'являється можливість плавно, у діапазоні 20%, варіювати сумарний імпульс хвилі при одному й тому ж початковому тиску, змінюючи вихідний склад газового заряду.

7. Створені прості та ефективні методики визначення параметрів процесу деформування, зовнішнього навантаження та обладнання дають можливість швидко розрахувати технологічний процес, встановити границі його здійснення.

8. На базі виконаних теоретико-експериментальних досліджень створена установка для виготовлення деталей трубопроводів літальних апаратів замкнутого контуру великого видовження. Створені дозуюче - змішувальні вузли для рівноманітного газовибухового обладнання забезпечують більш точне і надійне дозування, а також можливості швидкої переналадки в умовах частої зміни деталей у авіаційних виробництвах.

9. Удосконалені за результатами виконаних досліджень технологічний процес та обладнання для виготовлення деталей замкнутого контуру індивідуальної форми дозволили отримувати кондиційні деталі, які виготовлялися за типовим технологічним процесом із низьким рівнем якості. Таким чином, показана можливість використання результатів для розробки і вдосконалення всіх технологічних застосувань газової детонації.

10. Результати роботи впроваджені у виробництво авіаційних двигунів на підприємстві "Мотор-СІЧ", літальних апаратів на "ОРЕОЛ-43", а також на 9 протезно-ортопедичних підприємствах України та Білорусії, на Полтавському КНДВ УкрНДІгава, на Заводі будівельної техніки (м.Главиниця, Волгарія).

Основний зміст роботи викладено у таких публікаціях:

1. Вовк В.Т., Слободюк А.П. Методика расчета параметров газовой детонации, техпроцессов и энергоузлов газовой детонационной аппаратуры. - В кн.: Тезисы докладов X Всесоюзного симпозиума по

- горению и взрыву. - Черногоровка, ИХФ АН СССР, 1990, с.93-96.
2. Слободюк А.П., Бушманов Н.С. Управление параметрами внешней нагрузки при газодетонационной штамповке. - В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Использование импульсных источников энергии". - Харьков: ХАИ, 1990, с. 98.
 3. Вовк В.Т., Слободюк А.П. Расчет параметров газодетонационных установок на базе ячеистой модели детонации. - В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Использование импульсных источников энергии". - Харьков: ХАИ, 1990, с. 94.
 4. Важина Е.Н., Вовк В.Т., Бушманов Н.С., Слободюк А.П. Методика тарировки и контроля настройки смесительных узлов газодетонационных установок типа УИШ-03. Статья деп. в УкРИНТЭИ, # 711-Ук92, 1992, -25с.
 5. Важина Е.Н., Бушманов Н.С., Черняну Г.И., Щетинина Л.Г., Чекржов О.Д., Слободюк А.П. Изготовление приемных гильз протезов стоп методом импульсной штамповки. - "Протезирование и протезостроение", 1990, вип. 90, с.119.
 6. Вовк В.Т., Софронов А.Г., Слободюк А.П. Исследование тепловой нагрузки заготовки при воздействии газового взрыва. - В сб.: "Импульсная обработка металлов давлением". - Харьков, ХАИ, 1989, с.48.
 7. Софронов А.Г., Вовк В.Т., Бакаев С.Н., Кузьменко Д.Г., Слободюк А.П. Способ детонационно-газовой штамповки. А.с. # 1365473 (СССР).
 8. Софронов А.Г., Кузьменко Д.Г., Слободюк А.П., Бакаев С.Н. Способ детонационно-газовой штамповки. А.с. # 1543670 (СССР).
 9. Вовк В.Т., Бакаев С.Н., Слободюк А.П., Кузьменко Д.Г., Бушманов Н.С. Способ импульсной обработки материалов давлением. А.с. # 1646122 (СРСР).

10. Слободюк А.П. и др. Смеситель ежекторный газовый для установок газопаровой обработки материалов. А.с. # 1827890 (СРСР).
11. Вовк В.Т., Вакаев С.Н., Слободюк А.П. и др. Устройство смешительное для детонационно-газовой штамповки. А.с. # 11533101 (СРСР).
12. Слободюк А.П., Кузьменко Д.Г., Софронов А.Г. Система газоподдачи и дозирования компонентов газодетонационного пресса. А.с. # 83232/тт (Болгарія).
13. Вовк В.Т., Вакаев С.Н., Борисевич В.К., Слободюк А.П. и др. Устройство для импульсной обработки материалов. А.с. # 89486 (Болгарія).

Відповідальний за випуск - вед.н.с. к.т.н. Вовк В.Т.

Підписано до друку 24.06.94. Формат 60 x 84 1/16.
Ум.д.л. 1,0. Заказ 117. Тир. 70.

Виготовлено на роталпринті у типографії ХДАУ



Ab 30.370

Ab 30.870