



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **24194** (13) **U**
(51) МПК (2006)
G01N 3/00
F17C 1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ КОМБІНОВАНИХ БАЛОНІВ

1

(21) u200700324
(22) 15.01.2007
(24) 25.06.2007
(46) 25.06.2007, Бюл. № 9, 2007 р.
(72) Мілешкін Михайло Борисович, Біблік Ірина Валентинівна
(73) ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ ІМ. А.М. ПІДГОРНОГО НАН УКРАЇНИ
(57) Спосіб визначення міцності комбінованих балонів, який включає навантаження до руйнування зразків матеріалів, що складають комбінований балон, з визначенням механічних характеристик, який **відрізняється** тим, що зовнішню оболонку задають сукупністю шарів, що складаються з масивів структурних елементів, кожному з яких відповідає значення граничної деформації, в залеж-

2

ності від схеми навантаження й орієнтації шарів в оболонці встановлюють крок навантаження з визначенням збільшення деформацій уздовж і поперек волокон, встановлюють новий крок навантаження з урахуванням характеристик металевий лейнера - модуля пружності, товщини, об'ємної частки в складі комбінованого балона, на кожному кроці навантаження визначають кількість зруйнованих елементів, при повному руйнуванні принаймні одного шару, змінюють збільшення деформацій на крок навантаження і повторюють навантаження, а міцність комбінованого балона визначають по кількості кроків навантаження до повного руйнування зовнішньої оболонки з полімерного композиційного матеріалу.

Корисна модель належить до галузі машинобудування, хімічної, нафтохімічної, авіаційної та автомобільної промисловості і може бути використана при виготовленні, експлуатації, збереженні і транспортуванні балонів для рідин і газів під тиском.

Відомий спосіб визначення міцності балонів [Пат. РФ №1821671, G01N3/00, 1993, БИ №22], який включає навантаження до руйнування зразків матеріалу з визначенням механічних характеристик.

Міцність виробів при заданій довговічності визначають шляхом випробовування зразків матеріалу на статичне розтягання та ударну в'язкість з реєстрацією границі міцності, середніх значень відносного подовження та відносного звуження зразків.

Низька точність визначення міцності матеріалів обумовлена складністю розрахункового методу з одержанням кореляційних співвідношень.

Найбільш близьким по сукупності ознак є спосіб визначення міцності балонів [Пат. РФ №2210697, F17C1/06, 2005], що включає навантаження балона з одержанням механічних характеристик.

Спосіб полягає у визначенні збільшення зов-

нішнього діаметра циліндричної частини метало-пластикового балона під дією внутрішнього тиску з урахуванням деформацій повзучості, що викликають зниження коефіцієнту запасу міцності і руйнування пластикової оболонки. Причому, у розрахункову модель напружено-деформованого стану циліндричних оболонок з армованих волокон закладені міцнісні і пружні характеристики матеріалів, отримані експериментально.

Недолік відомого способу полягає в низькій надійності визначення міцності металопластикового балона у зв'язку з великою похибкою вимірів зовнішнього діаметра його циліндричної частини. Відомий спосіб призначений тільки для контролю працездатності великогабаритних металопластикових балонів, для безпечної експлуатації і транспортування яких потрібні спеціальні пристрої.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу визначення міцності комбінованих балонів шляхом урахування фізико-механічних характеристик матеріалів, що складають балон, виконаний у вигляді зовнішньої оболонки з полімерного композиційного матеріалу і внутрішньої герметизуючої оболонки - металевий лейнера, а також урахування впливу металевий лейнера на механічну поведінку та механізм руй-

(13) **U**
(11) **24194**
(19) **UA**

нування оболонки з полімерного композиційного матеріалу, за рахунок чого досягнуто підвищення точності визначення міцності й експлуатаційної надійності комбінованих балонів.

Поставлена задача досягається тим, що в способі визначення міцності комбінованих балонів, який включає навантаження до руйнування зразків матеріалів, що складають комбінований балон, з визначенням механічних характеристик, згідно з корисною моделлю, зовнішню оболонку задають сукупністю шарів, що складаються з масивів структурних елементів, кожному з яких відповідає значення граничної деформації, в залежності від схеми навантаження й орієнтації шарів в оболонці встановлюють крок навантаження з визначенням збільшення деформацій уздовж і поперек волокон, встановлюють новий крок навантаження з урахуванням характеристик металевих лейнерів - модуля пружності, товщини, об'ємної частки в складі комбінованого балона, на кожному кроці навантаження визначають кількість зруйнованих елементів, при повному руйнуванні, принаймні, одного шару, змінюють збільшення деформацій на крок навантаження і повторюють навантаження, а міцність комбінованого балона визначають по кількості кроків навантаження до повного руйнування зовнішньої оболонки з полімерного композиційного матеріалу.

Навантажують зразки матеріалів, що складають комбінований балон, до руйнування з визначенням їх механічних характеристик, визначають середні граничні деформації уздовж і поперек волокон у зразках з полімерного композиційного матеріалу для завдання закону нормального розподілу граничних деформацій структурним елементам.

Задають оболонку з полімерного композиційного матеріалу сукупністю шарів, що складаються з масивів структурних елементів, кожному з яких відповідає значення граничної деформації, для обліку розсіювання значень граничних деформацій уздовж і поперек волокон у кожному шарі оболонки в моделі матеріалу.

Визначають крок навантаження і збільшення деформацій уздовж і поперек волокон у шарах оболонки в залежності від схеми навантаження й орієнтації шарів в оболонці для більш повного урахування особливостей механізму руйнування оболонки з полімерного композиційного матеріалу.

При повному руйнуванні, принаймні одного шару, збільшення деформацій на крок навантаження змінюють і продовжують навантаження з урахуванням збільшення деформацій на крок навантаження в зв'язку зі зміною пружних характеристик оболонки з полімерного композиційного матеріалу та її товщини.

Визначають міцність комбінованого балона по кількості кроків навантаження до повного руйнування зовнішньої оболонки з полімерного композиційного матеріалу для визначення руйнівного навантаження комбінованого балона з максимальним можливим ступенем точності.

Відмінні ознаки корисної моделі істотні, необхідні і достатні для досягнення технічного результату - обліку механізму руйнування в залежності

від внутрішньої структури матеріалу і його напружено-деформованого стану у виробі та у сукупності з ознаками обмежувальної частини дозволяють підвищити точність визначення міцності й експлуатаційної надійності комбінованих балонів.

На фігурі зображена залежність змінення числа зруйнованих структурних елементів (N) від тиску (P) в склопластиковій оболонці з урахуванням сталого лейнера.

Навіть тонкий металевий лейнер, виготовлений зі сплаву з високим модулем пружності, вносить зміни як у міцнісну надійність комбінованого балона, так і в його подальшу поведінку при малоцикловому навантаженні.

Спосіб визначення міцності балонів з металевим лейнером полягає в оцінці характеристик процесу руйнування оболонки з полімерного композиційного матеріалу.

Зовнішню оболонку з полімерного композиційного матеріалу уявляють сукупністю масивів структурних елементів, кожному з яких відповідає значення граничної деформації. Виходячи з моделей форми і навантаження, вибирають величину кроку навантаження, що враховує зміну граничних деформацій структурних елементів при зміні навантажувального фактора, (наприклад, величини навантаження при статичному навантаженні, часу і характеру впливу навантаження при циклічному навантаженні та тощо) на визначену величину.

Залежність між кроком навантаження і відповідною йому деформацією в різних шарах зовнішньої оболонки з полімерного композиційного матеріалу уздовж і поперек волокон визначають експериментально чи розрахунковим шляхом. Для цього вибирають систему координат щодо визначеної орієнтації шарів виробу, наприклад кільцевих у циліндричній частині оболонки, уздовж і поперек волокон. У залежності від кроку деформації $\Delta \varepsilon_x$ і $\Delta \varepsilon_y$ визначають відповідні їм збільшення напружень $\Delta \sigma_x$ і $\Delta \sigma_y$, а потім і крок навантаження. Для шарів виробу іншої орієнтації, наприклад спіральних у циліндричній частині оболонки, також визначають збільшення деформацій $\Delta \varepsilon_x$ і $\Delta \varepsilon_y$ уздовж і поперек волокон відповідно до кожного кроку навантаження.

Для визначення кроку навантаження приймемо такі системи координат: - систему координат 1, 2 - для кільцевих шарів і систему координат α, β - для спіральних шарів оболонки. Причому напрямки 1 і α збігаються з напрямом волокон у відповідних шарах.

Так, при зміні тиску в оболонці (без лейнера) на величину ΔP зміни деформацій у шарах можуть бути описані такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon_1 &= \frac{\Delta \sigma_1}{E_1} - \mu_{21} \frac{\Delta \sigma_2}{E_2} \\ \Delta \varepsilon_2 &= \frac{\Delta \sigma_2}{E_2} - \mu_{12} \frac{\Delta \sigma_1}{E_1} \\ \Delta \varepsilon_\alpha &= \Delta \varepsilon_1 \cos^2 \varphi + \Delta \varepsilon_2 \sin^2 \varphi \\ \Delta \varepsilon_\beta &= \Delta \varepsilon_1 \cos^2 \varphi + \Delta \varepsilon_2 \sin^2 \varphi\end{aligned}\quad (1)$$

де $\Delta\sigma_1$ і $\Delta\sigma_2$ - зміни напружень в оболонці в окружному й осьовому напрямках відповідно;

E_1 і E_2 - модулі пружності пакета в осях кільцевих шарів;

μ_{12} і μ_{21} - коефіцієнти Пуассона;

φ - кут намотування спіральних шарів (кут між напрямками 1 і α).

Зміни напружень $\Delta\sigma_1$ і $\Delta\sigma_2$ визначаються із співвідношень:

$$\Delta\sigma_1 = \frac{r\Delta P}{\delta_\Sigma},$$

$$\Delta\sigma_2 = \frac{r\Delta P}{2\delta_\Sigma}, \quad (2)$$

де r - радіус оболонки;

δ_Σ - сумарна товщина оболонки.

При розрахунку оболонок з металевим лейнером у співвідношеннях (1) значення $\Delta\sigma_1$ і $\Delta\sigma_2$ визначалися таким чином:

$$\Delta\sigma_1 = \frac{r\Delta P}{\delta_\Sigma} = \Delta\varepsilon(E_L V_L + E_1 V_k) \quad (3)$$

де $\Delta\sigma_1$ - зміна напруги в комбінованому балоні в окружному напрямі;

δ_Σ - сумарна товщина комбінованого балона;

E_L - модуль пружності металевго лейнера;

V_L - об'ємна частка металевго лейнера в комбінованому балоні;

V_k - об'ємна частка полімерного композиційного матеріалу в комбінованому балоні.

Тоді зміна спільної деформації двошарового балона з полімерного композиційного матеріалу і металевго зовнішньої оболонки в окружному напрямі $\Delta\varepsilon$:

$$\Delta\varepsilon = \frac{r\Delta P}{\delta_\Sigma(E_L V_L + E_1 V_k)} \quad (4)$$

а зміна напруження в оболонці з полімерного композиційного матеріалу в окружному напрямі:

$$\Delta\sigma_1 = \Delta\varepsilon E_1 V_k = \frac{r\Delta P E_1 V_k}{\delta_\Sigma(E_L V_L + E_1 V_k)} \quad (5)$$

і в осьовому напрямку:

$$\Delta\sigma_2 = \Delta\varepsilon E_2 V_k = \frac{r\Delta P E_2 V_k}{2\delta_\Sigma(E_L V_L + E_2 V_k)} \quad (6)$$

Підставляючи значення $\Delta\sigma_1$ і $\Delta\sigma_2$ із співвідношень (5) і (6) у співвідношення (1) отримуємо зміни деформацій в окружному й осьовому напрямках у кільцевих і спіральних шарах оболонки з полімерного композиційного матеріалу з урахуванням металевго лейнера.

При цьому, у випадку руйнування хоча б одного шару, здійснюють перерахування залежності крок навантаження - крок деформації, а крок навантаження залишають незмінним. Оскільки при руйнуванні хоча б одного шару змінюються модулі

пружності і товщина матеріалу виробу за рахунок зруйнованого шару, подальше навантаження продовжують з урахуванням зміненої залежності крок навантаження - крок деформації.

Оболонку з полімерного композиційного матеріалу і комбінований балон у цілому вважають зруйнованим, якщо будуть зруйновані всі шари оболонки однієї орієнтації. Величиною навантаження, що відповідає цьому моменту, і визначається міцність комбінованого балона. Звичайно для практичних цілей прийнято використовувати значення руйнівного навантаження, що визначають як суму кроків навантаження до повного руйнування оболонки з полімерного композиційного матеріалу.

Приклад

По способу визначення міцності комбінованих балонів визначали міцність зовнішньої склопластикової оболонки радіусом 140мм, що складається з чотирьох шарів (двох кільцевих і двох спіральних) товщиною 1,0мм, з кутом намотування спіральних шарів 45° при наявності внутрішнього шара - сталевго лейнера з границею міцності матеріалу 115кг/мм², відносним подовженням при розриві 12%, і товщиною стінки 2,3мм.

Шари оболонки задавали масивами з 10 000 структурних елементів (100х100), кожному з яких присвоювалося значення деформації руйнування, отриманих при руйнуючих випробуваннях зразків матеріалів шарів оболонки.

Крок навантаження оболонки відповідав внутрішньому тиску 0,5МПа. Для визначення залежності між кроком навантаження і відповідною йому деформацією в шарах виробу уздовж і поперек волокон обрана система координат відносно кільцевих шарів оболонки уздовж і поперек волокон. У цій системі координат модулі пружності оболонки складали:

$E_x = 56$ ГПа, $E_y = 8,4$ ГПа.

Значення збільшень деформацій на обраний крок навантаження складали:

у кільцевих шарах - $\Delta\varepsilon_x = 0,000352$, $\Delta\varepsilon_y = 0,000082$;

у спіральних шарах - $\Delta\varepsilon_1 = 0,000217$, $\Delta\varepsilon_2 = 0,000217$.

На кожному кроці навантаження визначалося число зруйнованих структурних елементів (N). Результати розрахунку приведено на фігурі.

Спіральні шари склопластикової оболонки зруйнувалися на 158-му кроці навантаження (при тиску 79МПа). Оскільки, оболонку з полімерного композиційного матеріалу (і комбінований балон) вважають зруйнованими, якщо будуть зруйновані всі шари однієї орієнтації, величина навантаження, що відповідає цьому стану визначає міцність комбінованого балона. Таким чином, міцність комбінованого балона із зовнішньою склопластиковою оболонкою складає 79МПа.

