



УКРАЇНА

(19) UA (11) 85422 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
F17C 1/00  
G01N 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

### (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ КОМБІНОВАНИХ БАЛОНІВ

1

(21) а200700389  
(22) 15.01.2007  
(24) 26.01.2009  
(46) 26.01.2009, Бюл.№ 2, 2009 р.  
(72) МІЛЕШКІН МИХАЙЛО БОРИСОВИЧ, UA, БІБ-  
ЛІК ІРИНА ВАЛЕНТИНІВНА, UA  
(73) ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, UA  
(56) RU 2210697, F17C 1/06, 20.08.2003  
SU 1821671, G01N 3/00, 15.06.1993  
UA 66703 A, G01N 3/00, 15.05.2004  
SU 1295271, G01N 3/00, 07.03.1987  
SU 1838714, F17C 1/00, 30.08.1993  
SU 1214976, F17C 1/02, 28.02.1986  
(57) Спосіб визначення міцності комбінованих ба-  
лонів, який включає навантаження до руйнування  
зразків матеріалів, що складають комбінований  
балон, з визначенням механічних характеристик,  
який **відрізняється** тим, що для зовнішньої обо-

2

лонки з заданою сукупністю шарів, що складають-  
ся з масивів структурних елементів, кожному з  
яких відповідає значення граничної деформації, в  
залежності від схеми навантаження й орієнтації  
шарів в оболонці, встановлюють крок навантажен-  
ня з визначенням збільшення деформацій вздовж і  
поперек волокон, встановлюють новий крок наван-  
таження з урахуванням характеристик металевих  
лейнера - модуля пружності, товщини, об'ємної  
частки в складі комбінованого балона, на кожному  
кроці навантаження визначають кількість зруйно-  
ваних елементів, при повному руйнуванні, при-  
наймні одного шару, змінюють збільшення дефор-  
мацій на крок навантаження і повторюють  
навантаження, а міцність комбінованого балона  
визначають по кількості кроків навантаження до  
повного руйнування зовнішньої оболонки з полі-  
мерного композиційного матеріалу.

Винахід належить до галузі машинобудування,  
хімічної, нафтохімічної, авіаційної та автомобіль-  
ної промисловості і може бути використаний при  
виготовленні, експлуатації, збереженні і транспор-  
туванні 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 характе-  
ристик.

Міцність виробів при заданій довговічності ви-  
значають шляхом випробовування зразків матері-  
алу на статичне розтягання та ударну в'язкість з  
реєстрацією границі міцності, середніх значень  
відносного подовження та відносного звуження  
зразків.

Низька точність визначення міцності матеріа-  
лів обумовлена складністю розрахункового методу  
з одержанням кореляційних співвідношень.

Найбільш близьким по сукупності ознак є спо-  
сіб визначення міцності балонів [Пат. РФ №  
2210697, F17C1/06, 2005], що включає наванта-  
ження балона з одержанням механічних характе-  
ристик.

Спосіб полягає у визначенні збільшення зов-  
нішнього діаметра циліндричної частини метало-  
пластикового балона під дією внутрішнього тиску з  
урахуванням деформації повзучості, що виклика-  
ють зниження коефіцієнту запасу міцності і руйну-  
вання пластикової оболонки. Причому, у розраху-  
нкову модель напружено-деформованого стану  
циліндричних оболонок з армованих волокон за-  
кладені міцнісні і пружні характеристики матеріа-  
лів, отримані експериментально.

Недолік відомого способу полягає в низькій  
надійності визначення міцності металопластиково-  
го балона у зв'язку з великою похибкою вимірів  
зовнішнього діаметра його циліндричної частини.

(13) C2

(11) 85422

(19) UA

Відомий спосіб призначений тільки для контролю працездатності великогабаритних металопластикових балонів, для безпечної експлуатації і транспортування яких потрібні спеціальні пристрої.

В основу винаходу поставлена задача 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 - металевого лейнера, а також урахування впливу металевого лейнера на механічну поведінку та механізм руйнування 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 винаходом, 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 металевого 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.

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 ступенем точності.

Відмінні ознаки винаходу 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 міцнісню 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  $\Delta\epsilon_x$  і  $\Delta\epsilon_y$  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  $\Delta\epsilon_x$  і  $\Delta\epsilon_y$  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  $\alpha$ ,  $\beta$  - для спіральних шарів оболонки. Причому напрямки 1 і  $\alpha$  збігаються з напрямом волокон у відповідних шарах.

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

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

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;

$\mu_{12}$  і  $\mu_{21}$  - коефіцієнти Пуассона;

$\varphi$  - кут намотування спіральних шарів (кут між напрямками 1 і  $\alpha$ ).

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

$$\begin{aligned}\Delta \sigma_1 &= \frac{r \Delta P}{\delta_\Sigma}, \\ \Delta \sigma_2 &= \frac{r \Delta P}{2 \delta_\Sigma},\end{aligned}\quad (2)$$

де  $r$  - радіус оболонки;

$\delta_\Sigma$  - сумарна товщина оболонки.

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

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

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

$\delta_\Sigma$  - 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, здійснюються 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 140 мм, що складається з чотирьох шарів (двох кільцевих і двох спіральних) товщиною 1,0 мм, з кутом намотування спіральних шарів  $45^\circ$  при наявності внутрішнього шара - сталевго лейнера з границею міцності матеріалу  $115 \text{ кг/мм}^2$ , відносним подовженням при розриві 12 %, і товщиною стінки 2,3 мм.

Шари оболонки задавали масивами з 10 000 структурних елементів (100x100), кожному з яких присвоювалося значення деформації руйнування, отриманих при руйнуючих випробуваннях зразків матеріалів шарів оболонки.

Крок навантаження оболонки відповідав внутрішньому тиску 0,5 МПа. 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:

$E_x = 56 \text{ ГПа}$ ,  $E_y = 8,4 \text{ ГПа}$ .

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 79 МПа). 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 79 МПа.

