

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ
ІГОРЯ СИКОРСЬКОГО»

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МАШИН ТА АПАРАТІВ
ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ



ОСНОВИ ВИГОТОВЛЕННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ

Методичні вказівки до проведення практичних робіт
з курсу «Основи виготовлення, експлуатації та ремонту обладнання»

Київ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» 2017
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СИКОРСЬКОГО»

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МАШИН ТА АПАРАТІВ
ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

ОСНОВИ ВИГОТОВЛЕННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ

Методичні вказівки до проведення практичних робіт
з курсу «Основи виготовлення, експлуатації та ремонту обладнання»

Затверджено
на засіданні кафедри
машин і апаратів
хімічних та нафтопереробних
виробництв
Протокол № 1 від 28.08.17 р.

Київ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» 2017

Основи виготовлення, експлуатації та ремонту обладнання. Методичні вказівки до проведення практичних робіт з курсу «Основи виготовлення, експлуатації та ремонту обладнання» для студентів інженерно-хімічного факультету спеціальності 133 Галузеве машинобудування всіх форм навчання /Укладач: Зайцев С.В. – К., КПІ ім. ІгоряСікорського, 2017. –51 с.

Відповідальний редактор Я.М. Корнієнко, д.т.н., проф.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	4
Мета та завдання практичних робіт	4
1 Методики виконання практичних робіт	4
2 Вимоги до змісту пояснювальної записки	8
3 Перелік завдань на розрахункову роботу	51

ВСТУП

Дисципліна «Основи виготовлення, експлуатації та ремонту обладнання» викладається на кафедрі МАХНВ у 6 семестрі студентам, які навчаються за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

МЕТА І ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Метою проведення практичних робіт є набуття практичних умінь при виконанні розрахунків.

Завданнями проведення практичних робіт є набуття умінь:

- підготовки і представлення заданої інформації для обробки за допомогою персонального комп'ютера (ПК);
- вибір розрахункових схем для розв'язання поставленої задачі;
- вибір необхідних матеріалів;
- представлення результатів в графічному вигляді.

1 МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Практична робота №1

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ВІДПОВІДНО ДО КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ДО РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА, ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ.

(пошук матеріалів з оптимальними властивостями для виготовлення обладнання)

Мета

Підібрати матеріал (сталь) для виготовлення ємкості (обичайки напівсферичного днища), враховуючи характер середовища, а також внутрішній тиск та температуру.

Вихідні дані

$t = -34,7 \dots 180^\circ\text{C}$;

$P = 0,09 (0,9) \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)}$;

розрахунковий термін служби – 10 років.

Методика виконання

1. Із врахуванням заданих параметрів вибрати матеріал для корпусу і днища посудини за відповідним ГОСТ, ДСТУ, (додаток А [1]).
2. Враховуючи швидкість корозії (Таблиця 2.1 [1]) розрахувати дійсну товщину листа заготовки (п.3.1.5) [1].
3. Підібрати параметри заготовки із сортаменту.

4. Визначити вартість заготовки.

Рекомендована література

1. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. – Луганськ.: Видавництво Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2005. – 385 с.
2. Мікульонок І. О. Технологія виготовлення обладнання хімічних виробництв / І. О. Мікульонок. — К. : ІЗМН, 2000. — 282 с.
3. <http://www.ukrtop.info/gost/index.php>
4. <http://chem21.info/info/109993/>

Практична робота №2

Розрахунок розмірів розгортки обичайки.

Мета

Виконати проектний розрахунок розмірів сегментів напівсферичного днища

Вхідні дані

Розміри обичайки – діаметр $D_{вн}$; висота H ,

Вальцювальна машина дозволяє обробляти лист завширшки 2000 мм.

Методика виконання

1. Обрати стандартний внутрішній діаметр обичайки $D_{ст}$ за ГОСТ 9617-76 (в більшу сторону).
2. Обрати стандартну висоту обичайки за ГОСТ 6636-69 по ряду Ra10 (в більшу сторону).
3. Визначити за ГОСТ 5520-79 (таблиця 6) межу плинності сталі за температур 20°C; 200°C 300°C; 350°C, МПа, зробити графік.
4. Визначити за ГОСТ 19903-74 (таблиця 1) фактичну стандартну $S_{ф}$ товщину листа (в більшу сторону)
5. Порахувати орієнтовні розміри заготовки під обичайку: Висота H , ширина $L = \pi \cdot (D + S)$
6. За ГОСТ 19903-74, стор.15 обрати розміри заготовок з шириною листа 2000 мм, та довжиною L
7. Визначити необхідну кількість листів
8. Зробити уточнений розрахунок довжини розгортки листа:

$$L_{ут} = \pi \cdot \left(D_{ст} + S_{ф} + \frac{a}{2} \right) - b_1 + b_2 + c$$

Відносна овальність обичайки не має перевищувати 1%:

$$a = \frac{2(D_{max} - D_{min})}{D_{max} + D_{min}} \cdot 100\%$$

Приймаємо фактичну овальність 0,5%, що збільшує периметр обичайки, та довжину розгортки.

b_1 – зазор під зварювання, визначається ГОСТ 14771-76 за умови виконання зварного з'єднання у інертних газах та суміші з CO_2 електродом, що плавиться. Кромки виконано двома симетричними скосами на обох кромках.

b_2 – припуск на оброблення кромки, за умови різання заготовки киснем визначається за ГОСТ 12169-82, різ відбувається на переносній машині (трактор, кріпиться до листа, ріже на відкритому складі), загальний припуск дорівнює номінальний + допуск $Z_1=Z_0+TD$. Механічна обробка кромки (ручним абразивним інструментом) $Z_2=1,5$ мм. Загальний припуск на обробку дорівнює $b_2=Z_{zar}=Z_1+Z_2$.

$c = k_1 \cdot k_2 \sqrt{\frac{q_H}{S_\phi}}$, де $k_1=0,24$ $k_2=1$ – що відповідає числу проходів

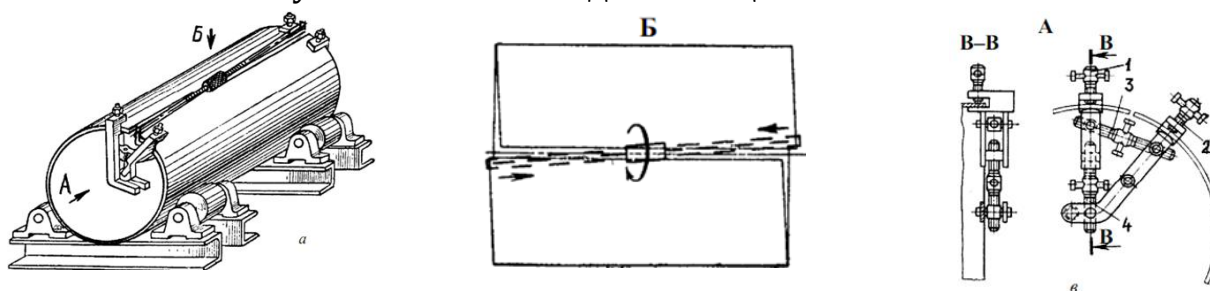
зварювання 3, та котловій сталі (вуглицева) $q_H = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{V \cdot S_\phi}$, де $\eta=0,75$ - ККД

дуги; $I=600A$; $U=34V$; $V=35$ м/год; дріт має $\varnothing 4$ мм. Дані надано технологом зварювального виробництва.

9. Визначити температуру (за графіком зміни межі плинності), за якої можливе вальцювання обичайки з умови використання чотиривалкової листозгинальної машини фірми ФОМП (Італія), марки ЧСР-1020 діаметр верхнього вала 250 мм, бокових 200 мм потужність приводу 18,4 кВт, максимальна ширина листа 2000 мм, товщина за нормальної температури 10 мм.



Рисунок 2.1. Машина для вальцювання обичайок.



1, 2 - затискні гвинти; 3, 4 - регулювальні гвинти

Рисунок 2.2. Варіант складання поздовжнього стику обичайки (а) в осьовому (б) (за допомогою гвинтової стяжки) і радіальному (в) (за допомогою складальних струбцин) напрямках

Рекомендована література

1. Никифоров А.Д. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов для химических производств. Атлас : учеб. пособие для вузов / А. Д. Никифоров, В. А. Беленький, Ю. В. Поплавский. — М. : Машиностроение, 1979. — 280 с.

Практична робота №3

Виготовлення еліптичного днища

Мета

Розрахувати заготовку, температуру формування та основні розміри інструменту, намалювати шаблон для перевірки профілю днища.

Вихідні дані

Внутрішній номінальний діаметр D_n , мм

Висота відбортовки h_1 , мм

Товщина стінки днища S , мм

Максимальне зусилля гідравлічного пресу 800 тон.

Методика виконання

1. Визначити за ГОСТ 6533-78 вагу кришки M , кг

2. Визначити об'єм металу : $V = \frac{M}{7800}$, м³

3. Попередньо прийняти товщину заготовки рівною товщині стінки днища:

$$S_{\text{заг}} = S, \text{ мм}$$

4. Визначити площу перетину заготовки:

$$F_{\text{заг}} = \frac{V \cdot 1000}{S_{\text{заг}}}, \text{ м}^2$$

5. Діаметр заготовки:

$$D_{\text{заг}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{заг}}}{\pi}}, \text{ м}$$

6. Коефіцієнт утягування (ступінь утягування дорівнює загальна висота поділити на діаметр):

$$K = \frac{0,25D_{\text{н}} + h_1}{D_{\text{н}}}$$

7. Якщо $K < 1$ зменшення товщини стінки складає -10%

8. Розраховуємо нову товщину заготовки з урахуванням уточнення та окислення при нагріві (створюється окалина товщина шару 1,5 мм):

$$S_{\text{розрахункове заготовки}} = 1,15 \cdot S_{\text{заготовки}} + 3,0$$

8. За ГОСТ 19903-74 обираємо лист з котлової сталі марки Сталь 20К шириною та товщиною більшими за $D_{\text{заг}}$ та $S_{\text{розрахункове заготовки}}$, довжину листа обираємо довільно: $L, B, S_{\text{факт}}$

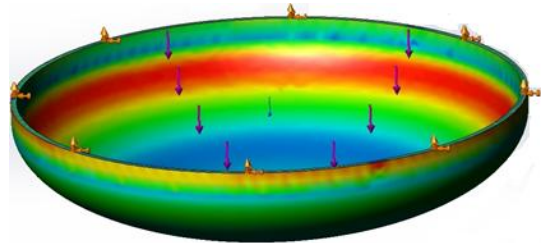
9. Розрахувати максимальну силу штампування (загинання бурта) за температури 20°C:

$$P_{\text{max}} = 1,2\pi D_{\text{н}} S_{\text{факт}} \sigma_{\text{T}} \sin(90^\circ - \varphi), \text{ Н} \quad (D_{\text{н}} \text{ підставляти в метрах})$$

σ_{T} , Па [табл. 4 ГОСТ 5520-79], $\varphi = 68^\circ$ - кут твірної конічної частини матриці (рис)

10. Перевести у тони: $P_{\text{max}} = P_{\text{max}} / (9800)$ [Т]

11. Якщо зусилля станка недостатньо, порахувати мінімально необхідне значення напруження плинності, яке потрібно для формування, та визначити за табл. 6 ГОСТ 5520-79, або таблицею нижче мінімальну температуру листа



Сталь 20К				
Температура, °С	800	900	1000	1100
$\sigma_{0,2}$, МПа	57	32	16	8

12. Товщина краю днища: $S_{\text{краю}} = S \sqrt{\frac{D_{\text{заг}}}{D_{\text{н}}}}, \text{ мм}$

13. Діаметр матриці визначається як діаметр пуансона + товщина краю днища + зазор $0,09 \cdot S$:

$$D_{\text{матр}} = D_{\text{н}} + 2,18 \cdot S_{\text{краю}}, \text{ мм}$$

14. Розрахувати координати 10 точок, що належать внутрішній поверхні днища

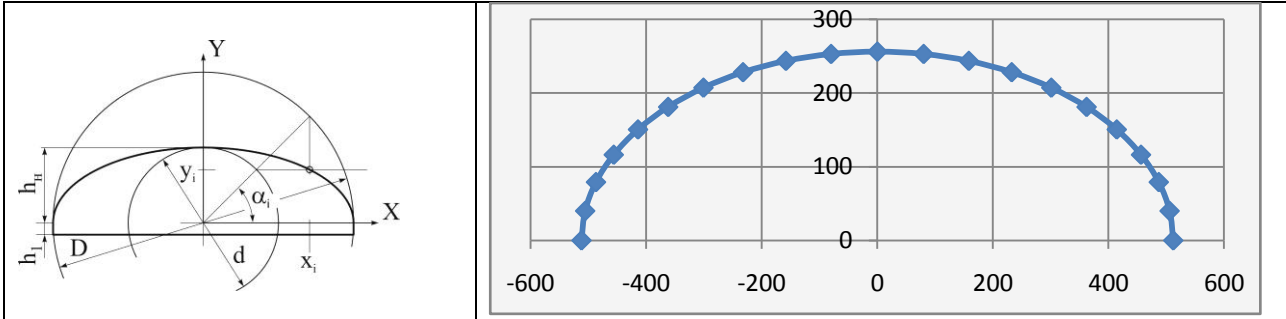
$$x_i = R \cdot \cos(\alpha_i); y_i = r \cdot \sin(\alpha_i) \quad \alpha = \arccos\left(\frac{x}{R}\right);$$

$$y = r \cdot$$

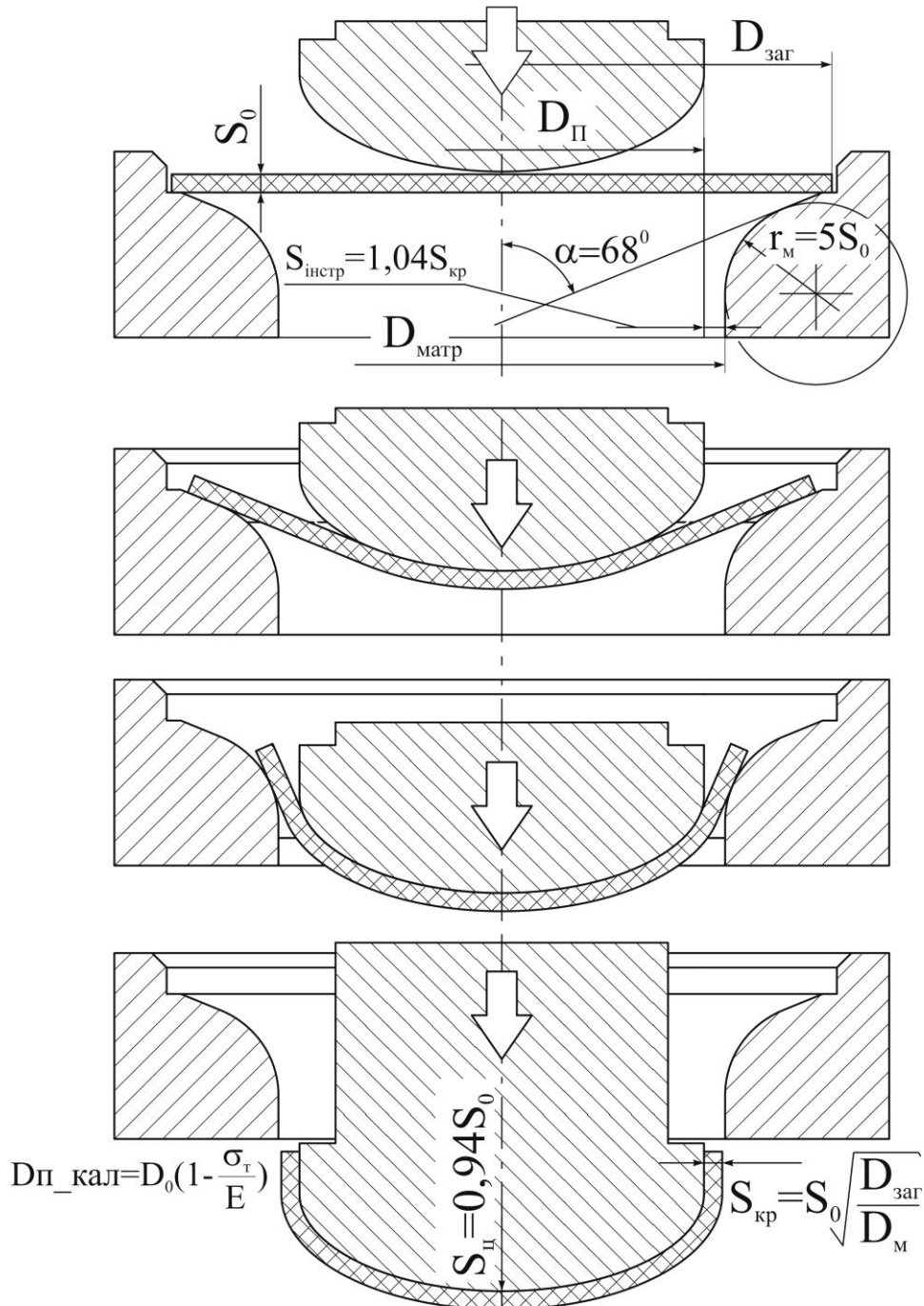
$$\sin\left(\arccos\left(\frac{x}{R}\right)\right); r=R/2$$

$$y = r \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{2x}{r}\right)\right)$$

Приклад:



Штамповка еліптичного днища



Практична робота №4

Підбір типу з'єднання труб з трубними решітками.

Мета

Підбрати тип з'єднання труб з трубними решітками для теплообмінника типу

Вихідні дані

Теплообмінник $\frac{ТНГИ - 1000 - 1,0 - 1,0 - М1 - О}{25 - 6 - 2 - 1/1} У$

Методика виконання

Від 14 до 25 % відмов кожухотрубних теплообмінних апаратів викликано порушенням герметичності з'єднання труб із трубними решітками. Через недостатній ресурс безвідмовної роботи теплообмінних апаратів хімічні та нафтопереробні заводи несуть значні збитки, тому забезпечення високої якості вузла кріплення труб до трубних решіток – одна з найважливіших задач при виготовленні теплообмінних апаратів.

ТИПИ З'ЄДНАНЬ ТРУБ ІЗ ТРУБНИМИ РЕШІТКАМИ

В кожухотрубних теплообмінних апаратах застосовують два типи з'єднань труб із трубними решітками:

- вальцівні;
- комбіновані, які одержують зварюванням труб із трубними решітками з наступним розвальцюванням.

Вальцівні з'єднання

Вальцівне з'єднання повинне бути міцним і герметичним.

Міцність оцінюють зусиллям виривання труби з гнізда (отвору).

Герметичність – максимальним тиском середовища, при якому з'єднання залишається герметичним.

Вальцівні з'єднання застосовують у залежності від товщини трубних решіток з однією чи двома кільцевими канавками, які підвищують міцність вальцювального з'єднання.

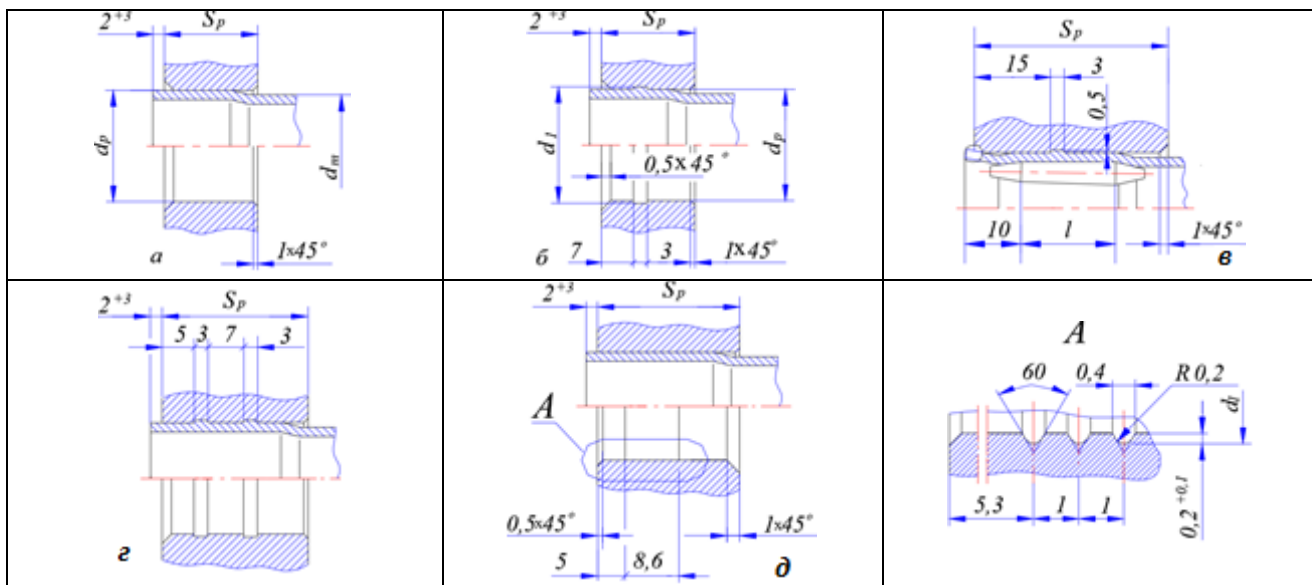


Рисунок 4.1. Основні типи розвальцювань при з'єднанні труб із трубними решітками (а – типу Р1; б – типу Р2; в – типу Р3; г – типу Р4; д – типу Р5)

Р1 застосовується тільки для комбінованих з'єднань труб з трубними решітками при їх товщинах $S_p \geq 20$ мм.

P2 застосовується як для вальцівних, так і для комбінованих з'єднань труб з трубними решітками при їх товщинах $20 \leq S_p < 24$ мм.

P4 - для вальцівних і комбінованих з'єднань при їх товщинах $S_p \geq 24$ мм. Розміри канавок і фасок в отворах під труби приймати як для типу P2.

P5 - тільки для вальцівних з'єднань при товщинах $S_p \geq 20$ мм для середовищ з підвищеною проникаючою здатністю (гази, легкозаймисті рідини).

Вальцівні з'єднання менш трудомісткі і більш ремонтпридатні у порівнянні з комбінованими.

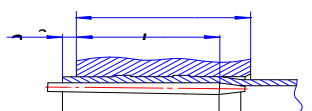


Рисунок 4.2. Довжина розвальцювання l вальцівних з'єднань усіх типів крім типу P3

Таблиця 4.1 – Довжина розвальцювання труб в трубних решітках в міліметрах

Зовнішній діаметр труби d_T	Всі типи розвальцювання крім типу P3				Розвальцювання типу P3	
	Товщина трубних решіток S_p , не менше	Довжина розвальцювання l	Найменша товщина трубних решіток	Найменша довжина розвальцювання l	Товщина трубних решіток S_p , не менше	Довжина розвальцювання
20	24	19	20	12	31	20
25	31	26		15	35	24
38						

Довжина розвальцювання типу P3 визначається по рисунку 4.1в.

Труби повинні бути розвальцьовані в трубних решітках на довжину l , приведена в таблиці 4.1.

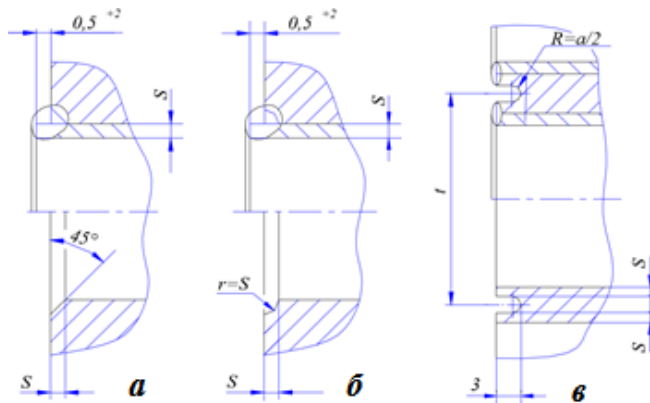
У вальцівних з'єднаннях труби повинні виступати над поверхнею трубних решіток не менш, ніж на 2 мм. Припустиме відхилення величини вильоту труб не повинне бути більш плюс 3 мм.

Комбіновані з'єднання

Типи зварки труб із трубними решітками, застосовувані в комбінованих з'єднаннях, приведені на рисунку 4.3 і вибираються по таблиці 4.5.

При зварюванні по типу С3 (рисунок 4.3в) ширина кільцевої канавки a повинна прийматися відповідно до таблиці 4.2.

У комбінованих з'єднаннях труби повинні виступати над поверхнею трубних решіток не менш, ніж на 2 мм, крім апаратів з розширювачем на кожусі, для яких виступ труби над поверхнею трубної решітки не повинний бути менше 0,5 мм.



a – тип С1; b – тип С2; $в$ – тип С3

Рисунок 4.3. Типи зварки труб із трубними решітками

Припустиме відхилення величини вильоту труб не повинне бути більш плюс 2 мм для типів зварювання С1 і С2 і плюс 0,5 мм для типу С3.

Таблиця 4.2. Ширина канавки для типу зварювання С3

Розмір труби, мм	25×2	38×2
Ширина канавки a , мм	2,5	5,4

Якщо для заданої товщини труби S_T і обраного типу зварки мінімальний розрахунковий розмір перемички $m_{c\ min}$, який визначається по таблиці 4.3, менше або дорівнює мінімальному розміру перемички m_{min} , який визначається по таблиці 4.4, $m_{c\ min} \leq m_{min}$, то застосування цього типу зварювання не допускається.

Таблиця 4.3. Розрахунковий найменший граничний розмір перемички

Тип зварювання	С1	С2	С3
$m_{c\ min}$	$2 S_T$	$2 S_T + 0,5$	$2 S_T + 1,6$

Таблиця 4.4. Діаметри отворів під труби і розміри перемичок між отворами під труби в трубних решітках (мм)

Номинальний зовнішній діаметр труби d_r	Клас точності з'єднання труба-трубні решітки	Найбільший зовнішній діаметр труби dm_{max}	Найменший зовнішній діаметр труби dm_{min}	Номинальний діаметр отвору під трубу d_o	Номинальний розмір перемички $m=t-d_r$	Найменший граничний розмір перемички m_{min} при товщині трубних решіток S_p		
						<20	21÷40	41÷80
20	1	20,10	19,90	20,15	5,85	5,1	5,0	4,9
	2	20,20	19,80	20,25	5,75	5,0	4,9	4,7
	3	20,30	19,70	20,35	5,65	4,8	4,8	4,6
	4	20,45	19,55	20,50	5,50	4,7	4,6	4,5
25	1	25,10	24,90	25,15	6,85	6,1	6,0	5,9
	2	25,20	24,80	25,25	6,75	6,0	5,9	5,7
	3	25,30	24,70	25,35	6,65	5,8	5,8	5,6
	4	25,45	24,55	25,50	6,50	5,7	5,6	5,5
38	1	38,15	37,85	38,20	9,80	9,1	9,0	9,0
	2	38,30	37,70	38,35	9,65	8,8	8,8	8,7
	3	38,40	37,60	38,45	9,55	8,7	8,7	8,6
	4	38,46	37,54	38,60	9,40	8,6	8,5	8,5

3. Вибір класу точності і типу з'єднання труб з трубними решітками

Галузевим стандартом [2] встановлено чотири класи точності з'єднання труб з трубними решітками, які вибираються залежно від призначення теплообмінних апаратів відповідно до групи посудин та апаратів по таблиці 4.5 [3].

Таблиця 4.5. Застосування класів точності і типів з'єднань труб з трубними решітками

Клас точності	Призначення теплообмінних апаратів відповідно до групи посудин та апаратів по стандарту [3]	Тип з'єднання
1	Апарати групи 1, які за розрахунковим тиском і температурою, відповідають групі	C2P4, C1P4 ¹⁾ , P4 ²⁾ , P5 ³⁾

	2	
2	<i>a</i> - апарати групи 1, які за розрахунковим тиском і температурою відповідають групі 3; <i>б</i> - група 2	C1P4, C1P3, C3P4 ⁴⁾ , P4 ²⁾ , P5 ³⁾
3	<i>a</i> - апарати групи 1, які за розрахунковим тиском і температурою відповідають групі 4; <i>б</i> -група 3	P4, P5, C1P3, C1P2, C3P4 ⁴⁾ , C1P1
4	<i>a</i> - апарати групи 4; <i>б</i> - апарати для роботи під вакуумом	P2, P4, C1P1, C3P1
<p>Примітка:</p> <p>1) $P \leq 6,4$ МПа;</p> <p>2) тиск середовища в кожусі $P \leq 8,0$ МПа;</p> <p>3) тиск середовища в трубах $P \leq 16,0$ МПа;</p> <p>4) температура $t \leq 430^\circ\text{C}$.</p> <p>5) те саме, для середовищ з підвищеною проникаючою здатністю: газу, легкозаймисті рідини;</p> <p>6) для сталей з підвищеною схильністю до утворення гарячих тріщин (06ХН28МДТ, 08Х22Н6Т і т.п.).</p>		

Позначення типу з'єднання складається з позначення типу розвальцювання і типу зварки (для комбінованих з'єднань).

Номінальний діаметр отвору під труби в трубних решітках вибирається по таблиці 4.4 залежно від зовнішнього діаметра труби і класу точності з'єднання труби з трубними решітками.

4. Вимоги до матеріалів, які застосовуються для виготовлення труб і трубних решіток.

Сталеві теплообмінні труби повинні відповідати вимогам галузевого стандарту [3]. Граничні розміри зовнішнього діаметра і товщини стінки труб залежно від класу з'єднання труб з трубними решітками приведені відповідно в таблицях 4.4 і 4.6.

Таблиця 4.6 –Граничні відхилення товщини стінки труб

Клас точності з'єднання	1	2	3	4
Граничне відхилення товщини стінки,%	±7,5	±10	±12,5	±15

Сталеві теплообмінні труби, що застосовуються в трубних пучках теплообмінних апаратів, повинні відповідати вимогам галузевого стандарту [3] і відповідним стандартам на сортамент труб, які

вибираються залежно від класу точності з'єднання труб з трубними решітками по таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Сталеві труби, що застосовуються у трубних пучках

Клас точності з'єднання труб з трубними решітками	Позначення стандарту
1	ГОСТ 9567-75, холоднодеформовані ГОСТ 550-75, група А, холоднодеформовані, сталь марок 10 і 20
2	ГОСТ 550-75, група А, холоднодеформовані з легованої сталі ГОСТ 9941-81 високої точності
3	ГОСТ 8734-75 ГОСТ 9941-81 підвищеної точності
4	ГОСТ 9941-81 звичайної точності

Листова сталь і сталеві поковки, котрі застосовуються для виготовлення трубних решіток, повинні відповідати вимогам галузевого стандарту [3].

Механічні властивості матеріалів теплообмінних труб і трубних решіток повинні задовольняти наступним умовам:

$$R_{eT} \leq R_{ep}; \quad \delta_5 \geq 20\%,$$

де R_{eT} , R_{ep} – найменша границя текучості відповідно матеріалу труб і трубних решіток, МПа; δ_5 – відносне подовження матеріалу труб, %.

5. Вимоги до виготовлення

5.1. Підготовка труб і отворів під труби в трубних решітках

Зовнішня поверхня кінців прямих теплообмінних труб (за виключенням труб з корозійностійких сталей), повинна бути зачищена до чистого металу на довжині, рівній подвоєній товщині трубних решіток плюс 20 мм. Довжина зачищення кінців U-подібних труб повинна дорівнювати товщині решіток плюс 20 мм.

Зовнішній діаметр труби після зачищення не повинний бути менш величини $d_{T \min}$ для відповідного класу точності з'єднання (див. таблицю 4).

5.2. Шорсткість поверхонь

Параметр шорсткості R_z (ГОСТ 2789-73) поверхонь трубних отворів і зачищених кінців труб залежно від класу точності і виду з'єднань не повинний перевищувати значень, зазначених у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Значення параметра шорсткості

Клас точності з'єднання труби з трубними решітками		1	2	3	4
R_z , не більше	Вальцювальні з'єднання	12,5	20,0	32,0	40,0
	Комбіновані з'єднання	25,0	40,0	50,0	63,0

5.4. Розвальцювання труб

Інструмент, устаткування і технологія розвальцювання труб вальцювальних і комбінованих з'єднань повинні відповідати вимогам галузевого стандарту [4].

Конусоподібність внутрішньої поверхні труби після розвальцювання не повинна бути більш 0,3 мм на довжині розвальцювання l_B . Гострі краї в місці переходу від розвальцюваної частини труби до нерозвальцюваної, а також відшарування і злуцнення металу на внутрішній поверхні труби не допускаються.

5.5. Зварювання труб

Перед зварюванням труб з трубними решітками кінці труб на довжині по п. 5.1, а також лицьову поверхню решіток і трубні отвори варто очистити до чистого металу від іржі, бруду, змащення і ретельно знежирити.

Діаметральний зазор між трубним решітками і трубою рекомендується не більш 0,3 мм. Для забезпечення цієї вимоги рекомендується конічне розвальцювання труби перед зварюванням до стикання зовнішньої поверхні труби з краєм трубного отвору (рисунок 4.4).

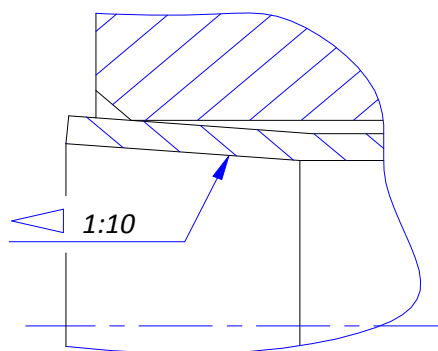


Рисунок 4.4 – Конічне розвальцювання труби перед зварюванням

Зварювання варто робити електродом, що не плавиться або плавиться у середовищі захисних газів на вертикальній площині чи в нижньому положенні. Варіант зварки в нижньому положенні кращий.

Зварювальні матеріали і вимоги до зварних з'єднань повинні відповідати галузевому стандарту [3].

6. Контроль і випробування

6.1 Гідравлічні випробування

Усі теплообмінні труби піддаються гідравлічним випробуванням на підприємстві-виготовлювачі. При відсутності у сертифікатах даних про гідравлічні випробування підприємство-виготовлювач теплообмінних апаратів зобов'язано провести вибіркові гідравлічні випробування відповідно вимогам ГОСТ 3845-75 по 3 % труб від кожної партії, але не менш 5 труб. При одержанні незадовільних результатів хоча б однієї із труб проводять повторні випробування на подвоєній кількості труб, узятих з тієї ж партії.

Результати повторних випробувань є остаточними. При одержанні незадовільних повторних випробувань варто провести гідравлічні випробування усієї партії труб.

6.2 Випробування на герметичність

Підготовка і проведення випробувань повинні проводитися відповідно до нормативного документа [5] з дотриманням вимог безпеки при пневматичних випробуваннях [6].

Чутливість випробування на герметичність повинна відповідати значенням, приведеним у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9. Чутливість випробування на герметичність

Клас точності з'єднання труб з трубною решіткою	Клас герметичності по ОСТ 26-11-14-88	Діапазон течій, що виявляються	
		$\frac{м^3 Па}{с}$	$\frac{см^3}{с}$
1	4	$6,6 \cdot 10^{-8}$ $\div 6,6 \cdot 10^{-7}$	$20 \div 2 \cdot 10^2$
2		$6,6 \cdot 10^{-7} \div$ $6,6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^2 \div$ $2 \cdot 10^3$
3	5	$6,6 \cdot 10^{-6} \div$ $6,6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^3 \div$ $2 \cdot 10^4$
4		$6,6 \cdot 10^{-5}$ $\div 6,6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^4 \div$ $2 \cdot 10^5$

Випробування на герметичність проводять до гідравлічного випробування апарата на міцність пневматичним методом способом "омілювання" при тиску повітря або інертного газу у міжтрубному просторі, який дорівнює $0,3 P_y$, але не менш $0,2$ і не більш $0,5$ МПа.

Випробування на герметичність зварки труб з трубними решітками в комбінованих з'єднаннях варто проводити способом "омілювання" до

виконання розвальцювання при зазначеному вище тиску повітря або інертного газу в міжтрубному просторі.

Гідравлічне випробування герметичності кріплення труб повинне проводитись відповідно до галузевого стандарту [3].

Приклад.

Підібрати тип з'єднання труб з трубними решітками для теплообмінника типу

$$\frac{ТКГИ-1200-0,6-0,6-М26-В}{25-6-2-1/4} У ТУ 26-02-1102-89$$

1. Вихідні дані

Закаталогом

[7] вибираємо основні розміри теплообмінного апарата і його робочі параметри:

- внутрішній діаметр кожуха, мм 1200
- внутрішній діаметр розширювача, мм 1320
- зовнішній діаметр теплообмінної труби, мм 25
- товщина стінки труби, мм 2
- число ходів по трубах 2
- робочий тиск у кожусі, МПа 0,45
- робочий тиск у трубах, МПа 0,35
- температура кожуха, °С 120
- температура труб, °С 200
- товщина трубних решіток, мм 20
- матеріал теплообмінних труб сталь 10Х17Н13М2Т за ГОСТ 9941 - 72;
- матеріал трубної решітки сталь 10Х17Н13М2Т за ГОСТ 5632-72 і
..... ГОСТ 7350 - 77, група А

теплообмінник по трубному простору відповідає групі 1 по ГСТУ 3-17-191-2000

теплообмінник по міжтрубному простору відповідає групі 4 по ГСТУ 3-17-191-2000

2. Вибір типу з'єднання труб з трубними решітками

Тип з'єднання приймаємо по таблиці 5. Якщо апарат відноситься до 1 групи, розрахунковий тиск і температура відповідають 4 групі, тоді клас точності з'єднання труб з трубною решіткою 3, а тип з'єднання С1Р2.

Довжину розвальцювання труби з трубними решітками вибираємо по таблиці 1, $l = 15$ мм.

Діаметри отворів під труби і розміри перемичок між отворами під труби в трубних решітках вибираємо по таблиці 4:

- найбільший зовнішній діаметр труби $d_{max} = 25,30$ мм;
- найменший зовнішній діаметр труби $d_{min} = 24,70$ мм;
- номінальний діаметр отвору під трубу $d_0 = 25,35$ мм;
- номінальний розмір перемички $t = 6,65$ мм;
- найменший граничний розмір перемички $t_{min} = 5,8$ мм.

Розрахунковий найменший граничний розмір перемички вибираємо по таблиці 3:

$$t_{cmin} = 2 S_m = 2 \cdot 2 = 4,0 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умову

$$t_{cmin} \leq t_{min}$$

$$4,0 < 5,8 \text{ мм.}$$

Тип зварювання С1 допускається.

Граничні відхилення товщини стінки труб вибираємо по таблиці 6.

Граничне відхилення товщини стінки труби складає $\pm 12,5\%$.

Сталеві теплообмінні труби повинні відповідати ГОСТ 8734 - 75 і ГОСТ 9941 - 81 підвищеної точності (таблиця 7).

Механічні властивості матеріалів теплообмінних труб і трубних решіток повинні задовольняти наступним умовам:

$$Re_m \leq Re_p;$$

$$\delta_5 \geq 20\%.$$

Границі текучості для матеріалів труб і трубних решіток вибираємо по стандарту [8]:

- для труб $Re_m = 220$ МПа;
 - для трубних решіток $Re_p = 240$ МПа;
- $$220 < 240 \text{ МПа.}$$

Умова виконується.

Відносне подовження становить $\delta_5 = 37\%$ [9]: $37 > 20\%$.

Умова виконується.

Параметр шорсткості поверхні R_z вибираємо по таблиці 8, він не повинен перевищувати величини $R_z = 50,0$.

Чутливість випробування на герметичність визначаємо по таблиці 9:

- клас герметичності - 5;
- діапазон течій, що виявляються, складає понад $6,6 \cdot 10^{-6}$ до $6,6 \cdot 10^{-5}$ включно, $(\text{м}^3 \cdot \text{Па})/\text{с}$; понад $2 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^4$ включно, $\text{см}^3/\text{год}$.

Список літератури

1. Ткаченко Г.П., Бриф В.М. Изготовление и ремонт кожухотрубчатой теплообменной аппаратуры. - М.: Машиностроение, 1980. - 160 с.
2. ОСТ 26-02-1015-85. Крепление труб в трубных решетках.

3. ГСТУ 3-17-191-2000. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови.
4. ОСТ 26-17-01-83. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения стандартные. Технические требования к развальцовке труб с ограничением крутящего момента.
5. ОСТ 26-11-14-88. Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Газовые и жидкостные методы контроля герметичности.
6. РДП 26-52-81. Пневматические испытания оборудования, выпускаемого заводами Минхиммаша. Требования безопасности. Правила
7. ТУ 26-02-1102-89 Теплообменные аппараты с неподвижными трубными решетками, температурным компенсатором и расширителем на кожухе диаметром 1000 и 1200 мм повышенной тепловой эффективности.
8. ОСТ 26 – 17 – 83 Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения стандартные. Технические требования к развальцовке труб с ограничением крутящего момента

Практична робота №5.

Визначити:

1. Діаметр отворів у решітці;
2. Внутрішній діаметр, до якого треба вальцювати труби
3. Розрахувати ступінь вальцювання
4. Обрати інструмент для профілювання (розкатник або канавочник) внутрішньої поверхні отворів;
5. Обрати інструмент та машину для вальцювання;
6. Визначити умови гарантії на машину для вальцювання (інструкція).
7. Визначити можливість використання видіргувача серії «ТВМ».

Розміри отворів визначимо за **ОСТ 26-02-1015-85** «Крепление труб в трубных решетках»:

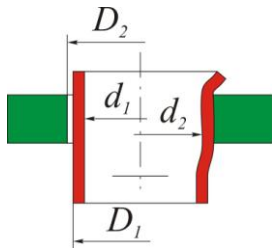
Номинальн ий зовнішній діаметр труби, мм	25	32	38	42	51	57	60	76	83	10 2	10 8	13 3
Зазор за діаметром між трубою та отвором,	3,5 2	3,5 7	3,0 0	2,7 2	2,3 5	2,4 6	2,3 4	2,1 1	2,2 4	2,0 2	2,0 9	2,0 5

Δz , % від діаметру труби											
-----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Для отримання надійного з'єднання труби з трубної ґратами (колектором) необхідно виконати наступну умову: $d_2 = d_1 + \Delta + K \times S$,

де:

d_2 – розрахунковий внутрішній діаметр труби після розвальцьовування;



d_1 – внутрішній діаметр труби до розвальцьовування;

Δ – діаметральний зазор між отвором в трубній решітці D_2 и трубой D_1 , $\Delta = D_2 - D_1 = D_1 \cdot (1 + \Delta z / 100)$, мм;

S – товщина стінки труби;

K – коефіцієнт, що враховує тип теплообмінного апарату:

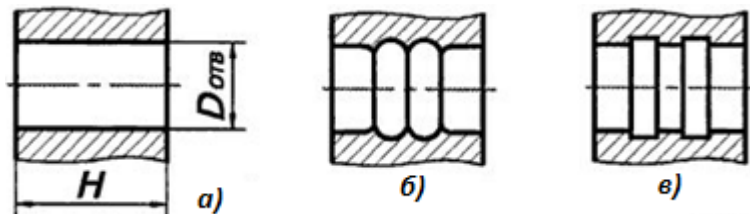
$K = 0,1$ – для конденсаторів, маслоохлоджувачів, водопідігрівачів, випаровувачів, бойлерів і т.і.

$K = 0,2$ – для котлів.

Ступінь розвальцьовування: $H = \frac{(d_2 - d_1) - (D_2 - D_1)}{D_2} \cdot 100\%$. Ступінь

розвальцьовування для котлів низького і середнього тиску приймають рівною 1-1,5%. На Бійському котельному заводі при виготовленні котлів ДКВР беруть ступінь розвальцьовування в межах 1,2-1,8%.

Варіанти профілювання (розкатник б, канавочник в) внутрішньої поверхні отворів



Роскатники кульові серій «РШ», «РШС», «РШР» і «РШМ»

Застосовуються для обробки отворів трубних ґрат і колекторів перед установкою й розвальцьовуванням труб з метою підвищення герметичності й міцності з'єднань. Після обробки кульковим раскатником на поверхні отвору утворюються три кільцеві виступи, які впроваджуються в зовнішню поверхню труби в процесі наступного її розвальцьовування й забезпечують герметичність і міцність з'єднання.

Найбільш ефективно використання кулькових раскатників при ремонті теплообмінних апаратів, тому що формування кільцевих виступів дозволяє: - «закочувати» поздовжні ризики, які утворюються на поверхні отворів трубних ґрат при видаленні старих труб;

- виявляти ті отвори, овальність яких вище припустимої (у цьому випадку кільцеві виступи мають переривчастість по окружності).

Кулькові раскатники серії «РШМ» для обробки отворів від 30 до 83 мм

Моделі: РШМ-30, РШМ-32, РШМ-33, РШМ-38, РШМ-45, РШМ-51, РШМ-57, РШМ-60, РШМ-63 (з можливістю регулювання місця розташування кільцевих виступів)

Рекомендований привід: реверсивні вальцювальні машини.



КАНАВОЧНИКИ

Канавочники серії «КТР» Застосовуються для обробки отворів трубних ґрат перед установкою й розвальцюванням труб з метою підвищення герметичності й міцності з'єднань.

КТР – 16 – 38

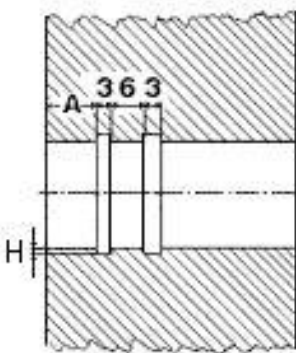


КТР — 51 – 57



Для обробки отворів трубних ґрат канавочник установлюється в шпindelь радіально-свердлильного верстата. Ширина канавок і відстань між ними визначаються формою різця. Глибина "Н" канавок і відстань "А" від зовнішньої поверхні трубних ґрат до першої канавки регулюються в діапазонах, зазначених у таблиці.

модель	ширина канавки, мм	відстань між канавками, мм	А, мм		Н, мм	
			1	2	1	2
КТР-16	3	6	1	12	0,05	1,5
КТР-19	3	6	1	12	0,05	1,5
КТР-20	3	6	1	12	0,05	1,5
КТР-22	3	6	1	12	0,05	1,5
КТР-25	3	6	1	12	0,05	1,5
КТР-30	3	6	1	12	0,05	1,5
КТР-32	3	6	1	12	0,05	1,5
КТР-38	3	6	1	12	0,05	1,5



КТР-51	3	6	5 - 15	0,05 - 1,5
КТР-57	3	6	5 - 15	0,05 - 1,5

ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ РОЗВАЛЬЦЬОВУВАННЯ ТРУБ

	<p><u>Вальцовки серии "Т"</u> с фіксованою глибиною вальцювання (для труб із внутрішнім діаметром від 6 до 11 мм)</p>		<p><u>Вальцовки серии "СТ"</u> с фіксованою глибиною вальцювання (для труб із внутрішнім діаметром від 6 до 11 мм)</p>
	<p><u>Вальцовки серии "РТ"</u> с регулюванням глибини вальцювання (для труб із внутрішнім діаметром від 6 до 11 мм)</p>		<p><u>Вальцовки серии "Р"</u> с регулюванням глибини вальцювання (для труб із внутрішнім діаметром від 12 до 40 мм)</p>
	<p><u>Вальцовки серии "СР"</u> для закріплення труб у товстих трубних ґратах</p>		<p><u>Вальцовки серии "5Р"</u> пятироlikовые для закріплення особотонкостенных труб з нержавіючої сталі й титанових сплавів</p>
	<p><u>Вальцовки серии "К"</u> с фіксованою глибиною вальцювання (для труб із внутрішнім діаметром від 15 до 100 мм)</p>		<p><u>Вальцовки серии "КО"</u> з фіксованою глибиною вальцювання (для труб із внутрішнім діаметром від 15 до 103 мм)</p>
	<p><u>Вальцовки серии "ВК"</u> вальцювання конічні (для труб із внутрішнім діаметром від 6 до 53 мм)</p>		<p><u>Вальцовки серии "РО"</u> ретурбендные крепежно-отбуртовочные з фіксованою глибиною вальцювання (для труб із внутрішнім діаметром від 64 до 143 мм)</p>
	<p><u>Вальцовки серии "РА"</u> с регулюванням глибини вальцювання для закріплення труб у трубних ґратах камер апаратів повітряного охолодження (АВО)</p>		<p><u>Вальцовки серии "СК"</u> для закріплення труб, що мають загнув поблизу трубних ґрат</p>



Вальцовки серии "5СК"

для закріплення труб у сполучних муфтах при монтажі трубопроводів



Вальцовки серии "PBA"

для закріплення труб у трубних ґратах випарних апаратів цукрових заводів

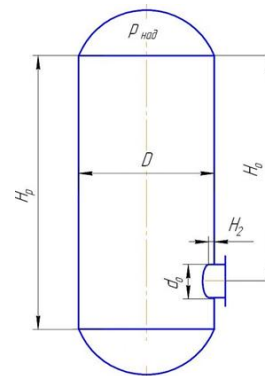
Крім вальцювань у зборі по запити Замовника можуть бути поставлені й змінні комплекти до них. До складу змінного комплекту до вальцювання серії «Д0» входить 1 веретено й комплект роликів.

РВК-152

Розвальцювання труб повинна здійснюватися вальцювальними машинами, оснащеними системою автоматичного контролю крутного моменту. Це забезпечує стабільність якісних показників з'єднань труб із трубними ґратами. Без контролю крутного моменту Застосовується для розвальцювання сталевих труб від 89x6 мм до 152x11 мм в отворах грубних двійників (ретурбендов)

Технічні характеристики РВК-152

- частота обертання шпинделя на неодруженому ході, про/хв - 11
- максимальний крутний момент, кгм - 200,0
- наявність автоматичного контролю крутного моменту - немає
- витрата повітря на неодруженому ході, м³/хв - 1,6
- габаритні розміри, мм - 1150 x 305 x 148
- маса, кг - 26,0



Практична робота №6.

Розрахунок укріплення отворів

Розрахувати діаметр кільця укріплення отвору, що виконаний в закритій циліндричній посудині (рис.8) висотою H_p (попереднє завдання) з надлишковим тиском P_n та повністю заповненого рідиною, якщо відомо: густина рідини, що знаходиться в апараті ρ , отвір знаходиться на глибині H_o від рівня рідини, діаметр отвору d ; довжина штуцера, що входить всередину апарату H_2 , діаметр апарату D (попереднє завдання). Матеріал оболонки, штуцера та інші розміри вказані в таблиці варіантів (табл. 1.).

Накреслити зону укріплення для даного отвору з розрахунковими розмірами.

Варіанти розрахункової роботи

№ Ва	Надлиш тиск, P_n ,	Густина рідини,	Глибина розм. отвору,	Діаметр отвору, d ,	Висота штуцера в	Матеріал штуцера, <i>ст.</i>
---------	-------------------------	--------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------	---------------------------------

р.	МПа	$\rho, \text{кг/м}^3$	$H_o, H_o/H_p$	мм	апараті, H_2 , мл	
1	0,6	1030	0,5	75	5	20
2	0,5	1090	0,6	100	4	45
3	0,75	1075	0,2	129	5	3
4	0,2	1035	0,3	85	3	2
5	0,05	980	0,4	108	5	20X
6	0,01	1025	0,35	152	6	3
7	0,2	975	0,25	122	4	20X
8	0,1	1100	0,4	156	2	5
9	0,05	950	0,45	148	5	5
10	0,2	1080	0,55	180	4	12X18H9T

Укріплення отворів

Суть укріплення отворів полягає в зменшенні концентрації напружень біля отворів. Там додатково розміщується метал для компенсації його послаблення (напруга в оболонці вирівнюється, а її концентрація знижується).

Експлуатація апаратів підтвердила надійність укріплення отворів, оснований на тому, що корпус апарату з вирізом повинен бути таким же міцним, як і апарат без вирізу. Площа матеріалу, яка видаляється при виконанні отвору та вимірюється в головній площині отвору, менша або дорівнює площі матеріалу, що додатково використовується при укріпленні.

Укріплення можна розділити на дві основні групи:

- патрубками, що примикають до корпусу або пропущеними через стінку корпусу;
- укріплюючими кільцями.

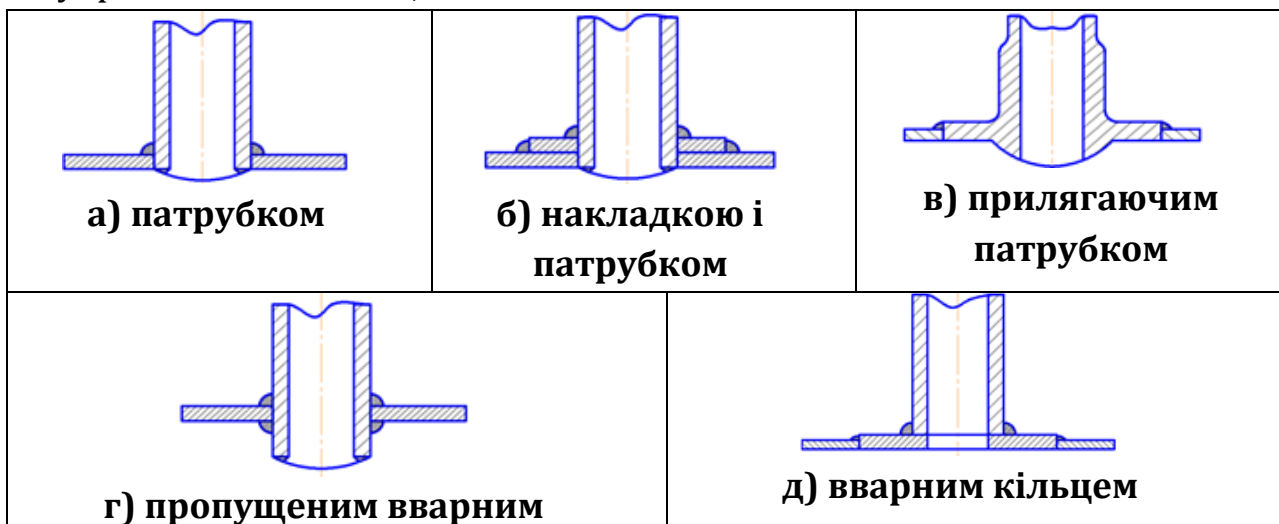
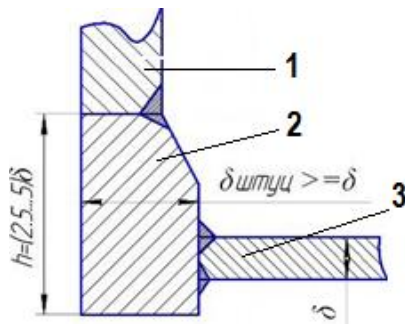


Рис. 1 Конструкції варіантів укріплень

Посилення отвору можна виконати шляхом вварювання товстостінної укріплюючої втулки (рис.2). Конструкція дозволяє розмістити весь надлишковий матеріал в зоні виникнення максимальних напруг, при цьому витрачається невелика кількість матеріалу (з шматка товстої труби), а також мала довжина зварюваних швів.



Товщину стінки втулки приймають рівною товщині листа або трохи більшу. Товщину стінки штуцера не рекомендується робити більше подвійної товщини обичайки за умов зварюємості. Висоту в межах 2,5...5 δ.

Рис. 2. Варіант укріплення отвору

товстостінною втулкою:

1 -трубопровід; 2 - втулка; 3 - обичайка

Самий розповсюджений спосіб укріплення - приварювання укріплюючих кілець (рис.3). Вони виготовляються з того ж матеріалу, тієї ж товщини, що і обичайка і приварюються так, щоб вони працювали разом з обичайкою. З'єднувальні шви повинні бути глибоко проварені і забезпечувати однорідність і гомогенність зварного з'єднання.

При укріпленні отворів накладним кільцем його товщину рекомендується приймати рівною товщині матеріалу обичайки. Кільця можливо розміщувати як всередині, так і ззовні посудини (рис. 3 а, б).

У випадку, коли по розрахунку товщина накладного кільця більша, ніж подвоєна товщина стінки обичайки рекомендується встановлювати накладні кільця зовні та зсередини апарату (рис. 3 в), причому, товщина зовнішнього кільця приймається рівною половині товщини розрахункової товщини накладного кільця, а внутрішнього - половині товщини розрахункової товщини накладного кільця з врахуванням добавки на корозію.

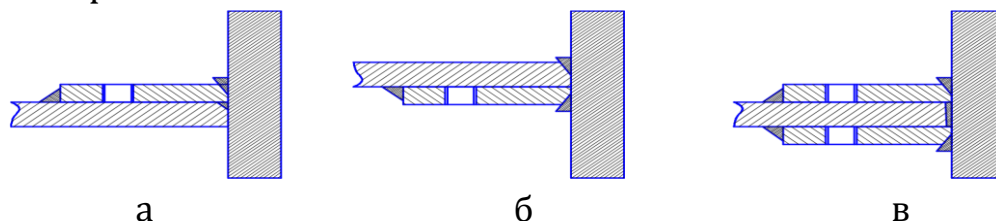


Рис. 3 Варіанти виконання укріплюючих кілець

Отвори, які можливо не укріплювати

Не завжди є необхідність укріплювати всі отвори. Наприклад, у посудинах при невеликих тисках малі отвори можна не укріплювати (отвори під різьбу, під розвальцовку, отвори під патрубки).

Згідно ГОСТ Р 52857.3 – 2007 найбільший діаметр отвору, який можливо не укріплювати може бути розрахований по формулі:

$$d_0 = 0.4 \sqrt{D_p \times (\delta - c)},$$

де D_p - розрахунковий діаметр; δ - товщина стінки; c - прибавка на корозію.

У будь-якому випадку отвір більший 75мм необхідно укріплювати.

Метод укріплення, оснований на виділенні зони укріплення

Використовується геометричний критерій укріплення, що передбачає компенсацію площини поздовжнього перерізу вирізу за допомогою додаткових укріплюючих елементів, які розташовані в зоні укріплення (рис.4). Зоною укріплення отвору вважається прямокутник АБВГ з розмірами:

$$AB = 2,5 \delta_p; BV = 2 d,$$

де δ_p – розрахункова товщина стінки апарату, d – діаметр отвору.

Вважається, що весь матеріал, який знаходиться всередині зони укріплення в вигляді укріплюючого елемента, а також у вигляді товщини стінки посудини і патрубка, що взяті додатково до розрахункового, входять в укріплення стінки посудини біля отвору.

Площа матеріалу яка приходить на частину перерізу, що утворює прибавку на корозію вважається не укріплюючою.

Умова укріплення отворів

Сума площ укріплюючих елементів (укріплюючого кільця і надлишкового матеріалу стінки і патрубка) повинна бути більша або рівна площі видаляемого матеріалу отвором за вирахуванням площі отвору, який можна не укріплювати.

$$\sum F_{укр} \geq F_{вид} - F_0,$$

де $\sum F_{укр}$ - сума площ укріплюючих елементів; $F_{вид}$ - площа стінки, видалена отвором ; F_0 - площа стінки отвору, який не потребує укріплення (abcd).

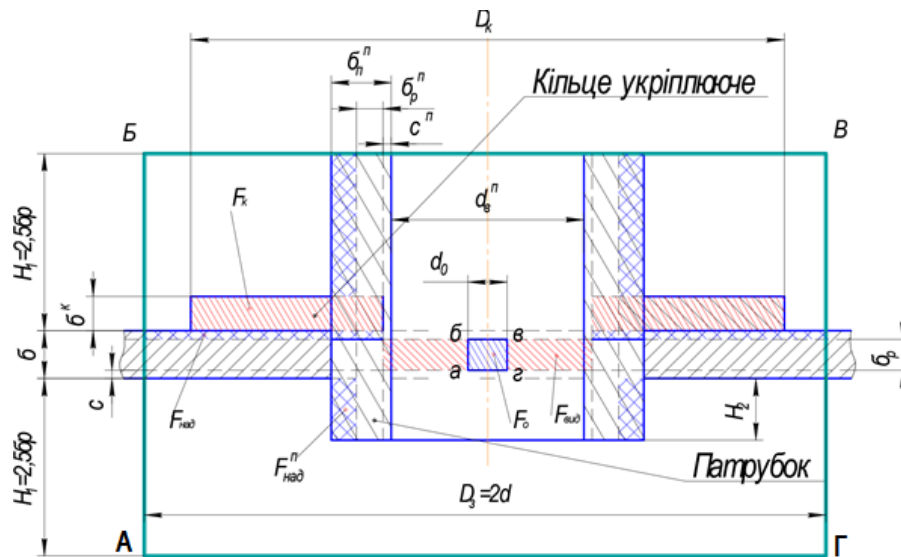


Рис. 4 Укріплення отвору

Знайдемо площу отвору, яку необхідно компенсувати.

Площа, видалена отвором:

$$F_{\text{видал}} = (d_s^n + 2c^n) \times \delta_p,$$

де d_s^n - внутрішній діаметр патрубка; c^n - прибавка на корозію для патрубка; δ_p - розрахункова товщина стінки посудини. Площа отвору, який не потрібно укріплювати:

$$F_0 = F_{\text{абсд}} = d_0 \times \delta_p$$

Звідси площа матеріалу, що видалена отвором, яку потрібно компенсувати:

$$F_{\text{видал}} - F_0 = (d_s^n + 2c^n) \times \delta_p - d_0 \delta_p$$

Видалена площа стінки посудини компенсується:

1. надлишковим матеріалом самої стінки посудини $F_{\text{над}}$;
2. надлишковим матеріалом патрубку ззовні та зсередини оболонки, який вварюється. $F_{\text{над}}^n$;
3. привареним укріплюючим кільцем F_k .

Виразимо згідно рисунку ці площі, що знаходяться в зоні укріплення.

1. Площа надлишкового матеріалу стінки посудини, що знаходиться в зоні укріплення:

$$F_{\text{над}} = (D_{\text{зони}} - (d_s^n + 2c)) \times (\delta - (\delta_p + c))$$

2. Площа надлишкового матеріалу патрубку який вварюється (ззовні та зсередини оболонки, що знаходиться в зоні укріплення)

$$F_{\text{над}}^n = 2 \times (H_1 - \delta_k + H_2) \times (\delta_p^n - (\delta_p^n + c))$$

де 2- коефіцієнт що враховує площу по дві сторони від осі отвору.

3. Площа привареного укріплюючого кільця:

$$F_k = (D_k - (d_s^n + 2c)) \times \delta_k$$

Після знаходження площі видаленого матеріалу, який підлягає компенсації, вона прирівнюється площі матеріалу, яка її компенсує. З цієї умови знаходиться діаметр компенсуючого кільця.

Методика укріплення отворів використовується при розрахунку укріплень вирізів в стінках посудини, які виготовляються з матеріалів, що добре працюють в пластичній стадії при даній температурі, коли немає втомленості матеріалу. Приведені формули справедливі при однакових характеристиках міцності матеріалу укріплюючих елементів і посудини.

Умова укріплення отворів при різних варіантах укріплення

1. Якщо стінка апарата має надлишкову товщину, то при відсутності укріплюючого штуцера і накладного кільця, повинна виконуватись умова: $F_0 \geq F'$,

де F_0 – площа надлишкового матеріалу посудини, яка приймає участь в укріпленні; F' – площа, яка підлягає компенсації (за вирахуванням площі отвору, яка не компенсується)

2. При укріпленні отвору надлишковим матеріалом посудини і штуцером умова укріплення має вигляд:

$$F_0 + F'_1 \geq F'$$

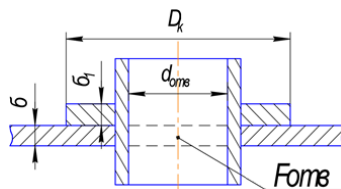
де F'_1 - площа перерізу штуцера, яка приймає участь в укріпленні.

3 Умова укріплення отвору надлишковим матеріалом посудини, штуцером і накладним кільцем:

$$F_0 + F'_1 + F_2 \geq F'$$

де F_2 - площа перерізу укріплюючого накладного кільця.

У практичній діяльності на виробництві буває необхідність укріпити отвір без проведення точного розрахунку. Тоді



використовується наступна спрощена методика укріплення отворів (рис.5).

Рис. 5 До визначення площі укріплюючого кільця

Прирівнюється площа матеріалу, що видалена отвором $F_{отв}$, площі компенсуючого накладного кільця $F_{накл.кільця}$.

$$F_{накл.кільця} = F_{отв}$$

Розраховуються площі по залежностям:

$$F_{отв} = d_{отв} \cdot \pi \cdot \delta \dots \dots \dots F_{накл.кільця} = (D_k - d_{отв}) \cdot \pi \cdot \delta$$

Прирівнявши площі та провівши перетворення, отримаємо:

$$d_{отв} \cdot \pi \cdot \delta = (D_k - d_{отв}) \cdot \pi \cdot \delta \dots \dots \dots d_{отв} \cdot \pi = D_k \cdot \pi - d_{отв} \cdot \pi \dots \dots \dots D_k \cdot \pi = 2 \cdot d_{отв} \cdot \pi$$

$$D_k = 2 \cdot d_{отв}$$

де $d_{отв}$ - діаметр отвору, який необхідно вирізати; δ - товщина обичайки посудини; D_k - діаметр накладного кільця.

Накладне кільце має товщину, що рівна товщині матеріалу оболонки а його діаметр рівний двом діаметрам отвору.

Взаємний вплив отворів на напруження в оболонці

Отвори, що виконуються в стінці апаратів доволі часто виконуються на близькій відстані один від другого. В цьому випадку має взаємний вплив отворів на виникаючі напруження, тому розміщення отворів один відносно іншого не може бути виконано довільно. Їх розміщення регламентується наступними рекомендаціями (рис.6).

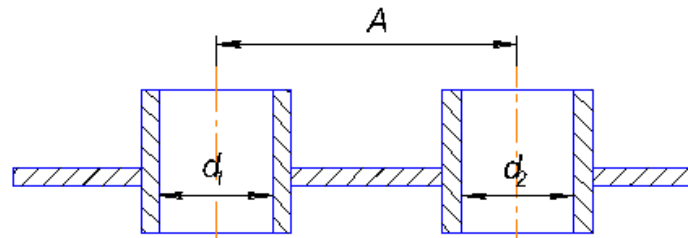


Рис. 6 Схема для розрахунку

Мінімальна допустима відстань між центрами отворів:

1. Для отворів однакових діаметрів: $A \geq 1.4(d + 2c)$
2. Для отворів різного діаметра: $A \geq 1.4 \left(\frac{d_1 + d_2}{2} + 2c \right)$.

Якщо відстань між отворами менше A, то розрахунок укріплення проводиться як для одного умовного отвору діаметром:

$$d_y = A + 1.4 \left(\frac{d_1 + d_2}{2} + 2c \right)$$

де A – відстань між отворами, d_1, d_2 – діаметри отворів.

5. Приклад розрахунку укріплення отворів

Розрахувати діаметр кільця укріплення отвору, що виконаний в закритій циліндричній посудині висотою 12 м з надлишковим тиском $P_H = 0,08 \cdot 10^6$ та повністю заповненого рідиною, якщо відомо: густина рідини, що знаходиться в апараті $\rho = 1070 \text{ кг/м}^3$, отвір знаходиться на глибині 12 м від рівня рідини, діаметр отвору $d = 0,6 \text{ м}$; діаметр апарату $D = 2,7 \text{ м}$.

Оболонка виконана з матеріалу 12ХМ, для якого допустиме напруження $[\sigma] = 145 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Коефіцієнт якості зварного шву - $\gamma = 0,7$.

Розв'язок

Визначимо товщину стінки апарата для сталі 12ХМ за формулою:

$$\delta_p = \frac{(P_n + \rho \cdot g \cdot H_p) \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \gamma - (P_n + \rho \cdot g \cdot H_p)} = \frac{(80000 + 1070 \cdot 9.81 \cdot 12) \cdot 2,7}{2 \cdot 145 \cdot 10^6 \cdot 0,7 - (80000 + 1070 \cdot 9.81 \cdot 12)} = 0,00274 \text{ м,}$$

З прибавкою на корозію товщина стінки $\delta_k = \delta_p + C = 0,00274 + 0,001 = 0,00374$ м, де $C = 1$ мм – добавка на корозію.

Товщину стінки приймаємо по стандарту, беремо найближче більше значення, тоді остаточно $\delta = 0,004$ м.

$$\text{Дійсний коефіцієнт міцності посудини: } k = \frac{\delta_p}{(\delta - C)} = \frac{2,74}{(4 - 1)} = 0,91.$$

Найбільший діаметр отвору виконаний в посудині при якому стінки можна не укріплювати:

$$d_0 = 0,4 \sqrt{D \times (\delta - c)} = 0,4 \sqrt{2,7 \times (0,004 - 0,001)} = 0,036 \text{ м}$$

Тобто, заданий отвір 0,6 м треба укріпляти.

Для патрубку вибираємо сталю безшовну гарячекатану трубу із сталі 20, для якої границя міцності дорівнює 410 МПа, а коефіцієнт запасу міцності 3,8. Тоді допустиме напруження:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{k} = \frac{420}{3,8} = 110 \text{ Мпа}$$

Розрахункова товщина стінки патрубка становить:

$$\delta_p = \frac{(P_n + \rho \cdot g \cdot H_o) \cdot d}{2 \cdot [\sigma] \cdot \gamma - (P_n + \rho \cdot g \cdot H_o)} = \frac{(80000 + 1070 \cdot 9.81 \cdot 12) \cdot 0,6}{2 \cdot 110 \cdot 10^6 \cdot 0,7 - (80000 + 1070 \cdot 9.81 \cdot 12)} = 0,002985 \text{ м,}$$

З прибавкою на корозію товщина стінки $\delta_k = \delta_p + C = 0,002985 + 0,001 = 0,003985$ мм, де $C = 1$ мм – добавка на корозію.

Товщину стінки приймаємо по стандарту, беремо найближче більше значення, тоді остаточно $\delta = 0,004$ м.

Вибираємо для патрубка трубу з зовнішнім діаметром 600 мм, товщиною стінки 4 мм і внутрішнім діаметром 592 мм

Укріплення стінки при отворі зробимо кільцем ззовні посудини. Товщину кільця приймаємо рівною $\delta_k = 4$ мм. Висота частини патрубка, що розміщена всередині апарату нижче внутрішньої твірної обичайки рівна $H_2 = 5$ мм.

Площу перерізу укріплюючих елементів знаходимо за формулою

$$F_3 = (d_s^n + 2 \cdot c - d_0) \cdot \delta_p = (592 + 2 \cdot 1 - 36) \cdot 2,985 = 1656 \text{ мм}^2$$

Діаметр зони укріплення

$$D_3 = 2 \times (d_s^n + 2 \times c) = 2 \times (592 + 2 \times 1) = 1188 \text{ мм}$$

Висота зони укріплення

$$H_1 = 2,5 \times d_p = 2,5 \times 2,74 = 6,85 \text{ мм}$$

Площа перерізу метала, що дійсно приймає участь в укріпленні отвору, буде дорівнювати

$$F_3 = [D_k - (d_s^n + 2 \cdot c)] \cdot \delta_k + [D_3 - (d_s^n + 2 \cdot c)] \cdot [\delta - (\delta_p + c)] + 2 \cdot (H_1 - \delta_k + H_2) \cdot [\delta^n - (\delta_p^n + c)] =$$

$$= [D_k - (592 + 2 \cdot 1)] \cdot 4 + [1188 - (592 + 2 \cdot 1)] \cdot [4 - (2,74 + 1)] + 2 \cdot (6,85 - 4 + 5) \cdot [4 - (2,985 + 1)] =$$

$$= 4D_k - 2376 + 154,44 + 0,235 = 4D_k - 2221,3 \text{ мм}^2$$

Діаметр кільця знаходимо із рівності площ

$$D_k = \frac{(1666 + 2221,3)}{4} = 971 \text{ мм}$$

Приймаємо $D_k = 980$ мм. Конструкція розрахованого укріплення стінки посудини представлена на рис. 7.

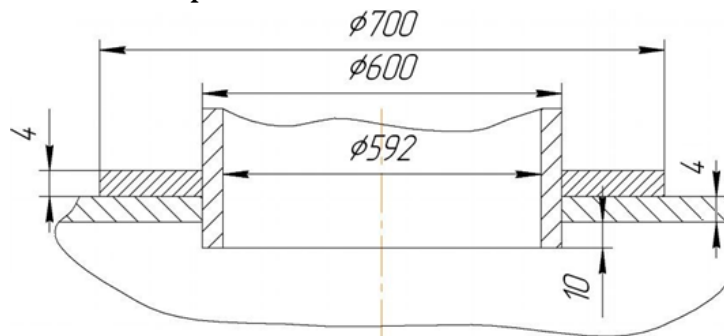


Рис.7 Схема укріплення отвору

Список рекомендованої літератури

1. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. /Справочник. - Л.: Машиностроение, 1970.-752 с.
2. Конструирование и расчет машин химических производств./ Под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. - М.: Машиностроение, 1985.- 406 с.
3. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи / Под общ.ред. М.Ф. Михалева.- Л.: Машиностроение, 1984.- 302 с.
4. Домашнев А.Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. - М.: Машгиз, 1961.- 624 с.

Практична робота №7.

Розрахунок компенсаторів на трубопроводах пари й гарячої води

Розрахувати компенсуючу здатність, лінзового компенсатора і попереднього розтягання компенсатора при монтажі на трубопроводі D_u (мм), довжиною L (м) що працює під тиском P_u (кгс/см²), для роботи при в діапазоні температур t (°C), а температура навколишнього середовища в період встановлення t_y (°C). За результатами розрахунків підібрати стандарті.

№	Ду, мм	L, м	Р _у , кгс/см ² ,	t, °С	t _у , °С
1	125	25	3	+4...+13 0	18
2	150	35	4	+20...+1 40	30
3	200	42	5	- 12...+120	20
4	250	48	6	- 20...+80	15
5	300	52	7	- 15...+100	32
6	350	68	8	+10...+1 80	28
7	400	70	9	- 5...+200	8
8	500	80	10	- 10...+140	12

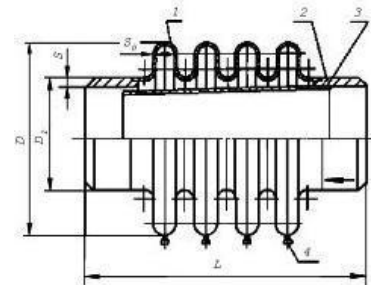
Компенсатори лінзові КЛО

Область застосування лінзових компенсаторів КЛО

Дані компенсатори застосовуються при необхідності компенсації температурних і механічних переміщень трубопроводів діаметром від Ду 100 мм до Ду 3000 мм в умовах неагресивних і малоагресивних середовищ із умовним тиском Р_{уот} 0,1 Мпа до 1,6Мпа (1-16 кгс/див²) при температурі стінки не нижче мінус 70°С до плюс 525°С.

Робота компенсаторів КЛО можлива тільки в осьовому напрямку.

При виготовленні компенсаторів лінзових КЛО, залежно від кліматичних районів будівництва трубопроводів і їх експлуатації, застосовуються сталі Ст3сп5, Ст20, 09Г2С, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т.



Додатково, за бажанням замовника, комплектуються внутрішнім захисним кожухом (склянка або гільза) для захисту лінз або гофр від механічних домішок, що надходять разом з робітничим середовищем через компенсатор, дренажними трубками для зливу конденсату, що утворюється в западинах лінз, а також стяжним обладнанням (стяжками).

Характеристики лінзових компенсаторів

Випускаються діаметром Ду: от 100-3000 мм, тиск Ру: от 0,1-1,6 МПа. Кількість лінз: від 1 до 12 шт. Робоче середовище: вода, пара, неагресивні рідини із робочою температурою від -70 до 525°С. Сталь марок: Ст3, Ст20, 09Г2С, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т. Тип кріплення: фланцеве, зварювання.

Приклад умовного позначення компенсатора з умовним діаметром Ду 700 мм, умовним тиском Ру 0,25 МПа (2,5 кгс/см²), із числом лінз 4, із внутрішньою обичайкою (О), із дренажними трубками (Д) і матеріальним оформленням М1 згідно ТУ 3683-016-00220302-98: КЛО 700-2, ВІД- М1 ТУ 3683-016-00220302-98.

Ду	Число гофр, n	D, мм	D ₁ , мм	S, мм	L, мм	Полная компенсирующая способность, \square ($\pm \square/2$), мм		Жесткость осевая, CQ, ($\pm 30\%$), кН/м	Масса, кг, не больше
						М1, М2, М3, М3-1	М4, М4-1		
100	1	258	108	4	274	5($\pm 2,5$)	6(± 3)	545,3	6,6
	2				345	10(± 5)	12(± 6)	272,7	10,4
	3				416	15($\pm 7,5$)	18(± 9)	181,9	14,4
	4				487	20(± 10)	24(± 12)	136,3	18,4
	6				629	30(± 15)	36(± 18)	90,8	8
	1				274	5($\pm 2,5$)	6(± 3)	638,8	8,3
125	2	283	133	5	345	10(± 5)	12(± 6)	31,4	12,
	3				416	15($\pm 7,5$)	18(± 9)	212,3	17,2
	4				487	20(± 10)	24(± 12)	159,7	21,6
	6				629	30(± 15)	36(± 18)	106,5	30,4
	1				274	5($\pm 2,5$)	6(± 3)	728,3	10,7
	2				345	10(± 5)	12(± 6)	364,2	15,7
150	3	309	159	6	416	15($\pm 7,5$)	18(± 9)	242,8	20,7
	4				487	20(± 10)	24(± 12)	182,1	25,8
	6				629	30(± 15)	36(± 18)	1214	35,9
	1				274	5($\pm 2,5$)	6(± 3)	903,7	14,3
	2				345	10(± 5)	12(± 6)	451,9	20,7
200	3	369	219	6	416	15($\pm 7,5$)	18(± 9)	301,2	26,2
	4				487	20(± 10)	24(± 12)	2259	33,6
	6				629	30(± 15)	36(± 18)	150,6	46,5

	1				274	5(±2,5)	6(±3)	1055,2	18,5
	2				345	10(±5)	12(±6)	527,6	26,2
250	3	423	273	7	416	15(±7,5)	18(±9)	351,2	33,9
	4				487	20(±10)	24(±12)	263,8	41,7
	6				629	30(±15)	36(±18)	175,9	57,2
	1				274	5(±2,5)	6(±3)	1201	23,2
	2				345	10(±5)	12(±6)	600,5	32,1
300	3	475	325	8	416	15(±7,5)	18(±9)	400,3	41
	4				487	20(±10)	24(±12)	300,3	49,9
	6				629	30(±15)	36(±18)	200,2	67,7
	1				374	5(±2,5)	6(±3)	1346,2	36,8
	2				445	10(±5)	12(±6)	673,1	46,9
350	3	527	377	9	516	15(±7,5)	18(±9)	448,7	57
	4				587	20(±10)	24(±12)	336,6	67,1
	6				729	30(±15)	36(±18)	224,4	87,3
	1				374	5(±2,5)	6(±3)	1482,2	44,9
	2				445	10(±5)	12(±6)	741,1	56,
400	3	576	426	10	516	15(±7,5)	18(±9)	494,1	67,2
	4				587	20(±10)	24(±12)	370,6	78,3
	6				729	30(±15)	36(±18)	247	1005
	1				374	5(±2,5)	6(±3)	1804,3	55,8
	2				445	10(±5)	12(±6)	902,2	69,4
500	3	680	53	10	516	15(±7,5)	18(±9)	601,4	83,1
	4				587	20(±10)	24(±12)	451,1	96,7
	6				729	30(±15)	36(±18)	300,7	124
	1				374	5(±2,5)	6(±3)	2089,1	68,2
	2				445	10(±5)	12(±6)	1044,6	85,2
600	3	780	630	10	516	15(±7,5)	18(±9)	696,4	102,3
	4				587	20(±10)	24(±12)	522,3	119,4
	6				729	30(±15)	36(±18)	348,2	154

Кожна ділянка трубопроводу між нерухливими опорами повинен бути розрахований на компенсацію теплових подовжень, яка може здійснюватися за рахунок самокомпенсації або шляхом установки [компенсаторів](#). Застосування чавунних чепцевих компенсаторів не дозволяється. При неможливості обмежитися самокомпенсацією

(наприклад, на зовсім прямих ділянках значної довжини) на трубопроводах установлюються П-Образні, лінзові, хвилясті й інші компенсатори.

У тих випадках, коли проектом передбачається продувка пором або гарячою водою здатність, що компенсує, трубопроводів повинна бути розрахована на ці умови.

Не допускається установка лінзових, чепцевих і хвилястих компенсаторів на трубопроводах з умовним тиском понад 10,0 МПа (100 кгс/см²).

П-подібні компенсатори повинні бути встановлені горизонтально з дотриманням необхідного загального ухилу. У вигляді виключення (при обмеженій площі) їх можна розміщати вертикально петлею нагору або вниз із відповідним дренажним пристроєм у нижчій частині.

П-подібні компенсатори перед монтажем повинні бути встановлені на трубопроводах разом з розпірними пристосуваннями, які видаляють після закріплення трубопроводів на нерухливих опорах.

Лінзові компенсатори осьові, а також лінзові компенсатори шарнірні застосовуються для трубопроводів відповідно до ТД.

При встановленні лінзових компенсаторів із внутрішньою склянкою на горизонтальних трубопроводах з кожної сторони компенсатора повинні бути передбачені напрямні опори на відстані не більш 1,5 Ду компенсатора.

При монтажі трубопроводів пристрої, що компенсують, повинні бути попередньо розтягнуті або стиснуті. Величина попередньої розтяжки (стиску), що компенсує пристрою вказується в проектній документації й у паспорті на трубопровід. Величина розтяжки може змінюватися на величину виправлення, що враховує температуру при монтажі.

Компенсатори, що підлягають установці на трубопроводах пари й гарячої води, повинні підтверджуватися свідченнями.

На паропроводах із внутрішнім діаметром 150 мм і більш і температурою пари 300°C і вище повинні бути встановлені покажчики переміщень для контролю над розширенням паропроводів і спостереження за правильністю роботи опорно-підвісної системи. Місця установки покажчиків і розрахункові значення переміщень по них повинні бути зазначені в проекті паропроводу. До покажчиків переміщень повинен бути вільний доступ. У необхідних випадках слід улаштувати майданчика й сходів.

Переваги й недоліки сальникових компенсаторів

Сальниковий компенсатор являє собою приблизно наступне: два сталеві патрубки, різні по діаметру, встановлюються один в інший, а між ними, по колу, покладене сальникова набивка із грундбуксою для герметизації системи й підтримки співвісності конструкції. Сальникові компенсатори, встановлені в трубопровідну систему, дозволяють за допомогою вільного переміщення патрубків відносно один одного компенсувати зміну довжини трубопроводів через перепади температури продукту, що транспортується або навколишнього середовища.

Недоліки сальникових компенсаторів:

Основним недоліком сальникових компенсаторів є необхідність їх регулярного обслуговування через те, що сальникова набивка (як ущільнювач) виробляється й злежується, що приводить до появи течі.

Наслідки:

- неможливість використання компенсаторів із сальниковим набиванням при транспортуванні горючих, токсичних або агресивних середовищ;
- при підземному прокладанні трубопроводу для встановлення сальникових компенсаторів необхідне влаштування спеціальних камер для доступу обслуговуючого персоналу;
- додаткові витрати на обслуговуючий персонал.

Сальникові компенсатори не дешева продукція, витрачається значна кількість сталі, ущільнюючі матеріали, а тому при розробці проектів трубопроводів віддають перевагу П або Z-подібним компенсаторам, які на порядок дешевше й простіше.

Переваги.

1. Більша компенсаційна здатність (лідер серед компенсаторів).

Однобічний сальниковий компенсатор легко вбере на себе 200 мм осьового зсуву. Подовженим або двостороннім конструкціям конкурентів немає.

2. Малі розміри. На відміну від П-П- або Z-подібних компенсаторів, не вимагають додаткового простору, тому що діаметром вони майже збігаються з діаметром трубопроводу.



Установка сальникових компенсаторів

Компенсатори перед установкою в трубопровід проходять огляд якості. Найчастіше компенсатори навіть розбирають, перевіряють правильність укладання набивання, відсутність невидимих зовні дефектів конструкції. Потім компенсатори розтягують або стискають на проектну величину, щоб добитися максимального використання їх властивостей. Величина стискання або розтягування сальникового компенсатора вказується в проекті.

Факт розтягування або стискання обов'язково фіксується відповідним актом. У ньому відбивається будівельна довжина до й після розтягування/стискання.

Важливим моментом є співвісність трубопроводу. Перекуси неприпустимі, адже можуть привести до заїдання рухливої частини компенсатора, ушкодженню ущільнення. Напрямні опори трубопроводів повинні щільно прилягати до труб, підтримуючи чітку співвісність і при цьому не робити серйозних осьових зусиль при переміщенні трубопроводу.

Необхідно залишити зазор між корпусом компенсатора й кільцями на патрубку на випадок зниження температури повітря. Передбачається можливий зрив опор, адже патрубок може вирвати з корпусу і для запобігання на рухливу частину труби наварюють ободок, який не повинен заважати роботі компенсатора.

Тканинні компенсатори.



Тканинні компенсатори випускаються круглої або квадратної форми. Неметалева компенсатори відрізняються більшою надійністю конструкції, переносять високі температури (до 1200°C), можливістю використання в хімічно агресивних середовищах. Вони поширені для газоподібних середовищ.

Переваги:

1. Високі компенсаційні показники (осьова, зсувна, кутова). Здатність до переміщень у декількох напрямках одночасно, поглинаючи значні переміщення.

2. Низька твердість матеріалів і їх незначна вага, не передають розпирних зусиль на тверді елементи конструкцій, наприклад на опори газоходів.

3. Антивібраційні властивості зберігають ізоляцію, зварювальні з'єднання, а висока здатність еластомерів і тканин до поглинання коливань дозволяють запобігти



передчасному зношуванню всієї системи через вібрацію й знизити рівень шуму.

4. Хімічна стійкість газощільних шарів досягається використанням спеціальних тканин із фторопластовим покриттям, додаткового ламінування фторопластовими плівками (досягається хімічна стійкість до окислів сірки, які з конденсатом води - сірчану кислоту).

5. Низька вартість транспортування, монтажу і заміни.

6. Тканевые компенсатори придатні для тимчасового ремонту, що дозволить їм виконувати свої функції на час виготовлення й доставки нового компенсатора.

Розрахунки необхідної здатності, що компенсує, компенсатора здатність, що компенсує, компенсатора дорівнює величині лінійного розширення (подовження) ділянки трубопроводу між двох нерухливих опор. У свою чергу, величина лінійного розширення залежить від значення перепаду температур, довжини ділянки трубопроводу й характеристик матеріалу трубопроводу. Значення температурного розширення трубопроводу ΔL може бути визначене за допомогою наступної формули:

$$\Delta L = a \cdot l \cdot \Delta t \text{ (мм)}$$

де: L — довжина трубопроводу, м; Δt - різниця між температурою при монтажі й робочою температурою трубопроводу, °C; a — коефіцієнт лінійного розширення матеріалу трубопроводу, мм/(мх°С).

Орієнтовні значення коефіцієнта лінійного розширення a труби з вуглецевої сталі для різниці температур Δt

$t, ^\circ\text{C}$	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500
a , мм/(м·°C)	0,011	0,012	0,013	0,0135	0,0139

Для оцінки впливу матеріалу труб на значення коефіцієнта лінійного розширення наведена наступна таблиця.

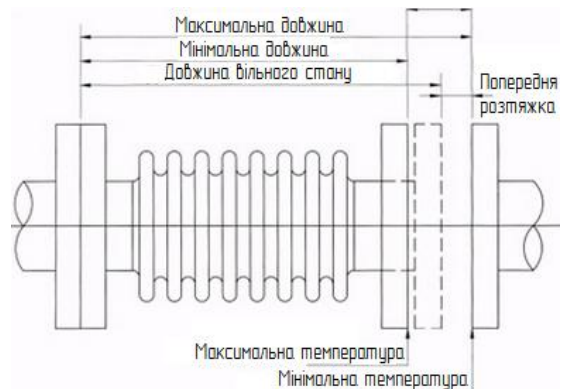
Коефіцієнт лінійного розширення a матеріалу труб (від 0°С до 100°С):

Матеріал	Коеф. лінійного розширення a у діапазоні температур від 0°С до 100°С
Вуглецева сталь/оцинкована сталь	0,0110
Нержавіюча сталь	0,0165
Мідь	0,0166
Металопластик	0,0250
Полівінілхлорид	0,0620

Поліпропілен	0,1500
Поліетилен	0,1800

Розрахунки попереднього розтягання компенсатора при монтажі

Величина переміщення компенсаторів (здатність компенсації), виражається комбінацією позитивних і негативних числових значень (\pm). Негативне (-) значення позначає припустиме стискання, позитивне (+) - його припустиме розтягання. Сума абсолютних величин таких значень являє собою повний зсув компенсатора. Переважно компенсатори працюють на стискання, компенсуючи температурне розширення трубопроводів, рідше (охолоджені середовища й криогенні продукти) - на розтягання.



Попереднє розтягування при монтажі потрібне для раціонального використання повного зсуву компенсатора залежно від характеру роботи трубопроводу, умов монтажу й запобігання виникнення нештатних умов.

Пікові значення розширення трубопроводу залежать від мінімальної й максимальної температур його експлуатації. Наприклад, мінімальна температура роботи трубопроводу $t_{\min}=0^{\circ}\text{C}$ и максимальна $t_{\max}=100^{\circ}\text{C}$., різниця температур $\Delta t = 100^{\circ}\text{C}$. При довжині трубопроводу L рівної 90 м, максимальне значення його подовження трубопроводу ΔL складе 100 мм. Якщо використовуються компенсатори зі зсувом ± 50 мм, тобто з повним зсувом 100 мм., а температура навколишнього середовища на етапі їх монтажу $t_y=20^{\circ}\text{C}$. Характер роботи компенсатора:

- при 0°C - компенсатор буде розтягнутий на 50 мм;
- при 100°C - компенсатор буде стиснутий на 50 мм;
- при 50°C - компенсатор буде перебуває у вільному стані;
- при 20°C - компенсатор буде розтягнутий на 30 мм.

Отже, попередня розтяжка на величину 30 мм при монтажі ($t_y=20^{\circ}\text{C}$) забезпечить ефективну його роботу. Коли температура підніметься від 20°C до 50°C при введенні в експлуатацію трубопроводу, компенсатор повернеться у вільне (ненапружений) стан. При підвищенні температури трубопроводу від 50°C до 100°C , зсув компенсатора щодо вільного стан у бік стискання складе розрахункові 50 мм.

Визначення значення попереднього розтягання

Прийmemo довжину трубопроводу рівну 33 метрам, максимальну/мінімальну робочу температуру $+150^{\circ}\text{C} / -20^{\circ}\text{C}$ відповідно.

При такій різниці температур коефіцієнт лінійного розширення α складе $0,012 \text{ мм/м}^\circ\text{С}$.

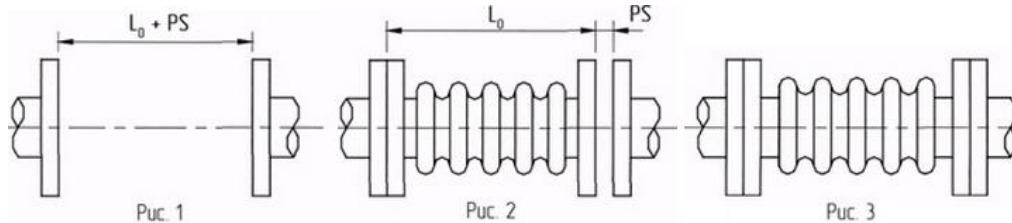
Максимальне подовження трубопроводу може бути розраховане в такий спосіб:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta t = 0,012 \cdot 33 \cdot 170 = 67 \text{ мм}$$

Значення попереднього розтягання PS визначається по формулі:

$$PS = (\Delta L / 2) - \Delta L(t_y - t_{\min}) / (t_{\max} - t_{\min})$$

Таким чином, у процесі монтажу компенсатора його необхідно встановити з попереднім розтяганням PS рівним 18 мм .



На рис. 1 показана відстань необхідна для монтажу компенсатора в лінію трубопроводу, обумовлене як сума значень довжини компенсатора l_0 у вільному стані й попереднього розтягання PS .

На рис. 2 показано, що при монтажі, з однієї сторони компенсатор фіксується фланцем або приварюється.

Далі, як показано на рис. 3, до іншого закінчення компенсатора прикладається зусилля для розтяжки його на величину PS , і подальшого закріплення до трубопроводу за допомогою фланця або зварювання.

Практична робота №8

Підбір запобіжного клапана.

Запобіжний клапан – трубопровідна арматура, призначена для захисту від механічного руйнування обладнання і трубопроводів надлишковим тиском, шляхом автоматичного випуску надлишку рідкого, паро- чи газоподібного середовища з систем і посудин з тиском, що перевищив встановлене значення. Клапан також повинен забезпечувати припинення скидання середовища при відновленні робочого тиску. Запобіжний клапан є арматурою прямої дії, що працює безпосередньо від робочого середовища.

Небезпечний надлишковий тиск може виникнути в системі як в результаті сторонніх чинників (неправильна робота обладнання, передача тепла від сторонніх джерел, неправильно зібрана тепломеханічна схема і т.д.), так і в результаті внутрішніх фізичних процесів,



Кисневий запобіжний клапан.

зумовлених певною вихідною подією, не передбаченою при нормальній експлуатації. Запобіжні клапани встановлюються скрізь, де це може статися, але особливо вони важливі в сфері експлуатації промислових об'єктів, що працюють під тиском.

Існують і інші види запобіжної арматури, але клапани є найпоширенішими через простоту своєї конструкції, легкості налаштування, розмаїття видів, розмірів і конструктивних виконань.

Технічні терміни

Термін "запобіжний клапан" повинен бути обмежений використанням середовищ (стислива рідина, газ, пара).

У нафтопереробній, нафтохімічній та хімічній промисловості, переробці природного газу і галузях енергетики термін "запобіжний клапан" пов'язаний з клапаном зниження тиску



Запобіжні клапани ND250

(pressure relief valve – PRV), клапаном збереження тиску (pressure safety valve – PSV) і власне запобіжним клапаном. Слід зазначити, що більшість людей вважають їх однаковими.

- Запобіжний клапан (relief valve – RV): автоматична система, яка приводиться в дію статичним тиском в заповнених рідиною ємностях; відкривається пропорційно зі зростанням тиску.
- Запобіжний клапан (safety valve – SV): автоматична система, яка знімає статичний тиск газу. Такі клапани зазвичай відкриваються повністю, що супроводжується уривчастим звуком.
- Запобіжний клапан (safety relief valve – SRV): автоматична система, яка позбавляє від надлишкового статичного тиску газу чи рідини.
- Керований запобіжний клапан (pilot-operated safety relief valve – POSRV): автоматична система, яка працює від віддаленої команди, що пов'язана із статичним тиском.
- Запобіжний клапан низького тиску (low pressure safety valve – LPSV): автоматична система, яка знімає статичний тиск газу. Використовується, коли різниця між тиском середовища і атмосферним тиском досить мала.
- Запобіжний клапан вакуумного тиску (vacuum pressure safety valve – VPSV): автоматична система, яка знімає статичний тиск газу. Використовується, коли перепад тиску між робочим і навколишнім середовищем малий, негативний і близький до атмосферного тиску.

- Запобіжний клапан низького та вакуумного тиску (low and vacuum pressure safety valve – LVPSV): автоматична система, яка знімає статичний тиск газу; значення робочого тиску низьке, негативне чи позитивне і близьке до атмосферного.

Принцип дії

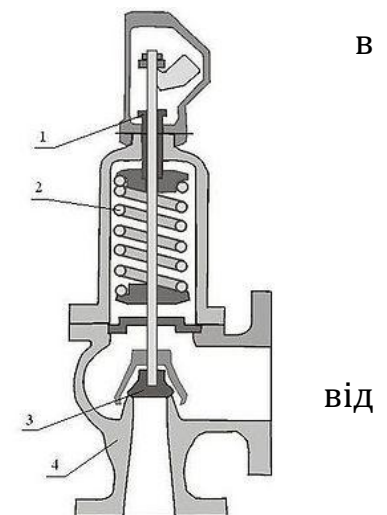
На пояснюючому малюнку ліворуч – креслення типового пружинного клапана прямої дії. На його прикладі розглянемо типову конструкцію. Обов'язковими компонентами конструкції запобіжного клапана прямої дії є запірний орган і задатчик, що забезпечує силовий вплив на чутливий елемент, пов'язаний із запірним органом клапана.

За допомогою задатчика клапан налаштовується таким чином, щоб зусилля на золотнику забезпечувало його притиснення до сідла запірного органу і перешкоджало пропусканню робочого середовища. В даному випадку налаштування здійснюють спеціальним гвинтом.

Коли запобіжний клапан закритий, на його чутливий елемент впливає сила від робочого тиску системи, яка прагне відкрити клапан і сила від задатчика, що перешкоджає відкриттю. З виникненням збурень у системі, що викликають підвищення тиску понад значення робочого, зменшується величина сили притиснення золотника до сідла. У той момент, коли ця сила стане рівною нулю, настає рівновага активних сил впливу тиску в системі і задатчика на чутливий елемент клапана. Запірний орган починає відкриватися, і, якщо тиск в системі не перестане зростати, відбувається скидання робочого середовища через клапан.

Зі зниженням тиску в системі, яка захищається, що викликане скиданням середовища, зникають збурюючі впливи. Запірний орган клапана під дією зусилля від задатчика закривається.

Тиск закриття в ряді випадків виявляється на 10-15% нижчим робочого тиску. Це пов'язано з тим, що для створення герметичності запірного органу після спрацьовування потрібне зусилля значно більше, ніж те, якого було достатньо для підтримки герметичності клапана перед відкриттям. Це пояснюється необхідністю подолати при посадці силу зчеплення молекул середовища, що проходить через щілину між



Будова запобіжного клапана: 1 - гвинт; 2 - пружина; 3 - золотник; 4 - корпус.

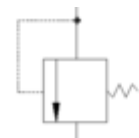
поверхнями ущільнювачів золотника і сідла. Також зниження тиску сприяє запізнюванню закриття запірного органу, що пов'язане з впливом на нього динамічних зусиль від потоку середовища, і наявність сил тертя, що вимагають додаткового зусилля для його повного закриття.

Класифікація запобіжних клапанів

Існує широкий спектр запобіжних клапанів, що мають безліч різних застосувань в різних галузях. Крім того, національні стандарти встановлюють багато видів запобіжних клапанів.

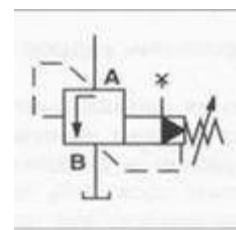
За принципом дії:

- клапани прямої дії – зазвичай саме ці пристрої мають на увазі, коли використовують словосполучення запобіжний клапан. Вони відкриваються безпосередньо під дією тиску робочого середовища;



Схематичне позначення клапана прямої дії.

- клапани непрямої дії – клапани, керовані шляхом використання стороннього джерела тиску або електроенергії. Загальноприйнята назва таких пристроїв імпульсні запобіжні пристрої.



За способом випуску робочого середовища:

- відкритої дії (випуск в атмосферу);
- закритої дії (скидання в іншу систему).

За видом затвору:

- мембранні;
- тарільчасті;
- поршневі.

Схематичне позначення клапана непрямої дії

За характером підйому замикаючого органу:

- клапани пропорційної дії (використовуються на нестискуваних середовищах);
- клапани двопозиційної дії.

За кількістю сідел (тарілок):

- одинарні;
- подвійні.

За видом корпусу:

- прямоточні;
- прохідні;
- кутові.

По виду навантаження на золотник:

- вантажні або важільно-вантажні;
- пружинні;

- важільно-пружинні;
- магніто-пружинні.

По висоті підйому (пропускній здатності) замикаючого органу:

- малопідйомні;
- середньопідйомні;
- повнопідйомні.
- Малопідйомними називаються запобіжні клапани, у яких висота підйому замикаючого елемента (золотника, тарілки) не перевищує $1/20$ діаметра сідла; повнопідйомні - клапани, у яких висота підйому складає $1/4$ діаметра сідла і більше. Існують також клапани з висотою підйому тарілки від $1/20$ до $1/4$, їх зазвичай називають середньопідйомними. У малопідйомних і середньопідйомних клапанах підйом золотника над сідлом залежить від тиску середовища, тому умовно їх називають клапанами пропорційної дії, хоча підйом не пропорційний тиску робочого середовища. Такі клапани використовуються, як правило, для рідин, коли не потрібна велика пропускна здатність. У повнопідйомних клапанах відкриття відбувається відразу на повний хід тарілки, тому їх називають клапанами двопозиційної дії. Такі клапани високопродуктивні і застосовуються як на рідких, так і на газоподібних середовищах.
- Два основних типи захисту, що зустрічаються в промисловості це – термічний захист та захист потоку.
- Для водокільцевого обладнання застосовують теплові запобіжні клапани, які, як правило, характеризуються відносно невеликим розміром, що забезпечує захист від надлишкового тиску, викликаного тепловим розширенням. У цьому випадку невеликі клапани доцільніші тому, що більшість рідин практично нестисливі і відносно невелика кількість рідини, що виводиться через запобіжний клапан буде спричиняти істотне зниження тиску.
- Захист потоку характеризується запобіжними клапанами значно більших розмірів, ніж клапани теплового захисту. Вони, як правило, розраховані на використання в ситуаціях, коли значна кількість газу або великих об'ємів рідини повинні бути швидко випущені з метою захисту цілісності обладнання або трубопроводу. Цей захист може альтернативно бути досягнутий шляхом встановлення системи захисту цілісності високого тиску.

Відмінності в конструкціях

Запобіжні клапани, як правило, мають кутовий корпус, але можуть мати й прохідний. Незалежно від цього клапани встановлюються вертикально так, щоб при закриванні шток опускався вниз.

Більшість запобіжних клапанів виготовляються з одним сідлом у корпусі, але зустрічаються конструкції і з двома сідлами, встановленими паралельно.

Найбільші відмінності в конструкціях запобіжних клапанів полягають у видах навантаження на золотник.

Пружинні клапани

У них тиску середовища на золотник протидіє сила стиснення пружини. Один і той самий пружинний клапан може бути використаний для різних меж налаштування тиску спрацьовування шляхом комплектації різними пружинами. Багато клапанів виготовляються із спеціальним механізмом (важелем, грибок і т.ін.) ручного підриву для контрольної продувки клапана. Це робиться з метою перевірки працездатності клапана, так як під час експлуатації можуть виникнути різні проблеми, наприклад прикипання, примерзання, прилипання золотника до сідла. Однак у деяких виробництвах в умовах агресивних і токсичних середовищ, високих температур і тисків, контрольне продування може бути дуже небезпечним, тому для таких клапанів можливість ручного продування не передбачається і навіть забороняється.



Пружинний клапан.

Найчастіше пружини при спрацьовуванні піддаються впливу робочого середовища, яке скидається з трубопроводу або ємності. Для захисту від слабкоагресивних середовищ для пружин застосовують спеціальні покриття. Ущільнення по штоку в таких клапанах відсутнє. У випадках роботи з агресивними середовищами в хімічних і деяких інших установках пружину ізолюють від робочого середовища за допомогою ущільнення по штоку сальниковим пристроєм, сільфоном або еластичною мембраною. Сільфонні ущільнення застосовуються також у тих випадках, коли витік середовища в атмосферу не допускається, наприклад на АЕС.

Важільно-вантажні клапани

У таких клапанах зусиллю від тиску робочого середовища на золотник протидіє сила ваги вантажу, що передається через важіль на шток клапана. Налаштування таких клапанів на тиск відкриття

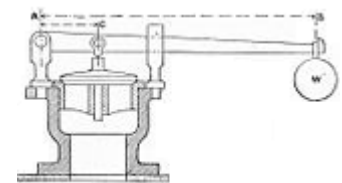


Схема важільного клапана.

проводиться фіксацією вантажу певної маси на плечі важеля. Важелі також використовують для ручного продування клапана. Такі пристрої заборонено використовувати на пересувних апаратах.

Для герметизації сідел великих діаметрів потрібні значні маси вантажів на довгих важелях, що може викликати сильну вібрацію пристрою. В цих випадках застосовуються корпуси, всередині яких перетин скидання середовища утворено двома паралельно розташованими сідлами, які перекриваються двома золотниками за допомогою двох важелів з вантажами. Таким чином, в одному корпусі монтується два паралельно працюючих затвори, що дозволяє зменшити масу вантажу і довжину важеля, забезпечуючи нормальну роботу клапана.

Магніто-пружинні клапани

У цих пристроях використовується електромагнітний привід, тобто вони не є арматурою прямої дії. Електромагніти можуть забезпечувати додаткове притискання золотника до сідла; в цьому випадку при досягненні тиску спрацьовування по сигналу від датчиків електромагніт відключається і тиску середовища протидіє лише пружина, клапан починає працювати як звичайний пружинний. Також електромагніт може створювати зусилля відкриття, тобто протидіяти пружині і примусово відкривати клапан. Існують клапани, в яких електромагнітний привід здійснює і додаткове притискання, і зусилля відкриття. В цьому випадку пружина служить для підстраховки на випадок припинення електроживлення. При знеструмленні такі пристрої починають працювати як пружинні клапани прямої дії.

Магніто-пружинні клапани найчастіше застосовуються в складних імпульсних запобіжних пристроях як керуючі або імпульсні елементи.

Технічні вимоги до запобіжних клапанів

Головною і найбільш відповідальною вимогою, яка ставиться до запобіжних клапанів, є висока надійність, що включає в себе:

- безвідмовне і своєчасне відкриття клапана при заданому перевищенні робочого тиску в системі;
- забезпечення клапаном необхідної пропускної здатності у відкритому положенні;
- здійснення своєчасної зворотної посадки (закриття) з необхідним ступенем герметичності при заданій величині падіння тиску в системі після аварійного спрацьовування і збереження встановленого рівня герметичності при подальшому зростанні тиску до величини робочого;

- забезпечення стабільності роботи, тобто збереження протягом усього терміну експлуатації і заданого числа циклів спрацьовування параметрів налаштування, і необхідного рівня герметичності запірного органу при робочому тиску.

Запобіжні клапани підлягають періодичній перевірці в спеціалізованій організації або випробуванню в дії. Всі клапани повинні бути випробувані на міцність, щільність, а також герметичність сальникових з'єднань і ущільнювальних поверхонь.

Розрахунок

Задачею розрахунку запобіжних клапанів є визначення їх пропускної здатності, типу і кількості клапанів, підбір пружини до них, а також визначення динамічних зусиль, що виникають при спрацьовуванні. Необхідними даними для розрахунку запобіжних клапанів є:

- місце встановлення клапана;
- необхідна пропускна здатність;
- надлишковий тиск в посудині чи трубопроводі;
- розрахунковий тиск;
- температура середовища перед клапаном;
- максимальний надлишковий тиск за клапаном;
- фазовий стан і склад робочого середовища.

Площа прохідного перерізу запобіжного клапана

В залежності від робочого середовища, площу перерізу запобіжного клапана розраховують:

$$\text{для газу: } F = \frac{G}{3,16 \cdot B \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{P_1 + 0,1} \cdot \rho_1}$$

$$\text{і для рідини: } F = \frac{G}{5,03 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{P_1 + P_2} \cdot \rho_2},$$

де P_1 – максимальний надлишковий тиск перед запобіжним клапаном, що рівний тиску повного відкриття клапана;

P_2 - максимальний надлишковий тиск за запобіжним клапаном;

ρ_1 – густина реального газу перед клапаном при параметрах P_1 і T_1 ;

T_1 - температура середовища перед клапаном при тиску P_1 ;

α_1 – коефіцієнт витрати, що залежить від площі газоподібних середовищ;

α_2 - коефіцієнт витрати, що залежить від площі рідких середовищ.

Коефіцієнт витрати запобіжних клапанів для газоподібних середовищ або рідких середовищ приймається відповідно до технічних умов на клапани.

ρ_2 – густина рідини перед клапаном при параметрах P_1 і T_1 ;

B - коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості газів при робочих параметрах, обчислюється за формулами:

$$B = 1,59 \cdot \sqrt{\frac{K}{K+1}} \cdot \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{1}{K-1}} \text{ при } \beta \leq \beta_{\text{кр}}$$

$$B = 1,59 \cdot \sqrt{\left(\frac{P_2+0,1}{P_1+0,1}\right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{P_2+0,1}{P_1+0,1}\right)^{\frac{K+1}{K}}} \text{ при } \beta > \beta_{\text{кр}}$$

де K - показник адиабати;

β - відношення абсолютних тисків до і після клапана:

$$\beta = \frac{P_2+0,1}{P_1+0,1}$$

$\beta_{\text{кр}}$ - критичне відношення тисків, що обчислюється за формулою:

$$\beta_{\text{кр}} = \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{1}{K-1}}$$

Для апаратів при запасі від переповнення рідини менше 5 хв. площа прохідного перерізу визначається за сумою перерізів для скидання окремо газів і рідини.

Для апаратів при запасі від переповнення рідини більше 5 хв. площа прохідного перерізу визначається по перетину скидання газу.

Практична робота №9

Підбір арматури

Мета Підібрати необхідну арматуру для апарату

Вихідні дані

Теплообмінник $\frac{\text{ТНГИ} - 1000 - 1,0 - 1,0 - \text{М1} - \text{О}}{25 - 6 - 2 - 1/1} \text{У}$

Методика виконання

За умовними діаметром і тиском штуцерів та речовиною в апараті підібрати за діючими каталогами необхідну трубопровідну арматуру.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв / І. О. Мікульонок. — К. : НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2010. - 412 с.
2. ГСТУ 3-17-191-2000 Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови.
3. ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. - К.: Держнаглядохоронпраці,

1998. – 343 с.

4. Рахмилевич З. З. Справочник механика химических и нефтехимических производств / З. З. Рахмилевич, И. М. Радзин, С. А. Фарамазов. - М. : Химия, 1985. - 592 с.
5. Мікульонок І. О. Конструювання фланцевих з'єднань сталевих посудин та апаратів : навч. посібник / І. О. Мікульонок. — К. : ІЗМН, 1997. — 152 с.
6. Монтаж нарізних з'єднань : метод. вказівки / уклад. І. О. Мікульонок. — Київ, НТУУ «КПІ», 2005. — 40 с.
7. <http://www.ukrtop.info/gost/index.php>
8. <http://chem21.info/info/109993/>

2 Перелік завдань на розрахункову роботу

Вихідні дані на практичні роботи видає викладач.