

ЗМІСТ

Передмова	4
Лабораторна робота № 1	5
Вивчення елементів конструкцій сучасних вакуумних систем	5
Лабораторна робота № 2	21
Прилади для вимірювання форвакууму, високого та надвисокого вакууму	21
Лабораторна робота № 3	44
Вивчення конструкції форвакуумного механічного насоса та одержання форвакууму	44
Лабораторна робота № 4	71
Вивчення конструкції адсорбційного насоса та одержання безмасляного форвакууму	71
Лабораторна робота № 5	96
Вивчення конструкції паромасляного дифузійного насоса та одержання високого вакууму	96
Лабораторна робота № 6	130
Вивчення конструкції магніторозрядного насоса та одержання безмасляного високого вакууму	130
Лабораторна робота № 7	151
Вивчення конструкції орбітронного гетерно-іонного насоса та одержання безмасляного високого вакууму	151
Лабораторна робота № 8	176
Визначення складу залишкової атмосфери вакуумної установки за допомогою мас-спектрометра МХ7304А	176
Лабораторна робота № 9	196
Прилади і методи пошуку негерметичностей вакуумних систем	196
Лабораторна робота № 10	219
Вивчення конструкції та одержання високого вакууму в промисловій вакуумній установці ВУП-5	219
Довідковий розділ	229
Література	230

ПЕРЕДМОВА

Задум цього посібника виник у авторів після того, як у СумДПУ ім. А.С.Макаренка при підтримці ВАТ „Selmi” та Інституту прикладної фізики НАНУ була створена сучасна навчальна лабораторія вакуумної техніки для практичного супроводу лекційного курсу „Фізичні основи вакуумної техніки”, що викладається при підготовці майбутніх фахівців з напрямку 6.040203. Фізика.

Практикум містить 10 лабораторних робіт, які, на нашу думку, дозволять студентам не тільки одержати практичні навички використання різноманітного сучасного вакуумного обладнання при проведенні експериментальних фізичних досліджень, а й глибше зрозуміти та засвоїти фізичні ідеї, покладені в основу його роботи. Адже вся історія розвитку вакуумної техніки (починаючи з перших розробок Геде і до наших днів) надзвичайно яскраво демонструє практичну реалізацію цілої низки фізичних відкриттів, а також досягнень сучасного матеріалознавства, фізики і техніки низьких температур, фізики і хімії поверхні тощо.

Значний об’єм посібника присвячений теоретичним питанням фізики роботи вакуумного обладнання (різних типів насосів, манометричних перетворювачів тощо), що дозволяє проводити лабораторні заняття навіть у тому випадку, коли їм ще не передують відповідний лекційний курс.

Крім традиційних „класичних” лабораторних робіт з вивчення механічних та дифузійних насосів, автори пропонують кілька власних робіт з техніки безмасляного вакууму (“Адсорбційні насоси”, “Орбітронний насос” тощо), а також лабораторну роботу з вивчення складу залишкової атмосфери з використанням сучасного мас-спектрометра MX7304A з комп’ютерним управлінням.

Вважаємо, що посібник буде корисним не тільки для студентів фізичних та фізико-технічних спеціальностей, а й для інженерно-технічних працівників, які у своїй практичній діяльності використовують сучасне вакуумне обладнання.

З огляду на те, що практикум є першим україномовним навчальним посібником фізичних основ вакуумної техніки, автори будуть вдячні за всі побажання, спрямовані на покращення його змісту.

Автори

Вивчення елементів конструкцій сучасних вакуумних систем

Мета роботи: ознайомитися з основними конструктивними елементами сучасних вакуумних систем.

Обладнання: вакуумпроводи (сильфони, гумові і пластмасові вакуумні шланги), нерозбірні з'єднання, розбірні з'єднання з різними ущільнювальними елементами (гумові, фторопластові, мідні та алюмінієві прокладки різної форми), оглядові віконця, скляні і керамічні струмовводи, вакуумні затвори та вентилі в розібраному стані.

Теоретичний матеріал

Сучасні вакуумні установки і системи (особливо надвисоковакуумні) у своїй переважній більшості є досить специфічними і складними. У них знайшли своє втілення новітні досягнення матеріалознавства, конструювання, технологій виготовлення деталей та вузлів, контролю якості тощо.

Основними конструктивними елементами та вузлами вакуумних установок є трубопроводи, нерозбірні (нерознімні) з'єднання, розбірні (рознімні) з'єднання, затвори, вентилі, натікачі, електричні вакуумні вводи, пристрої для передавання рухів у вакуумний об'єкт, оглядові вікна тощо.

Трубопроводи (у вакуумній техніці їх часто називають вакуумними проводами або вакуумпроводами) з'єднують елементи вакуумних систем. Вони повинні мати необхідну провідність і достатню механічну міцність, бути хімічно стійкими, мати малу газопроникність і незначне газовиділення з внутрішніх поверхонь.

Вакуумпроводи бувають жорсткими і гнучкими. Жорсткі вакуумпроводи виготовляються з металевих (як правило, зі спеціальних сортів нержавіючої сталі) труб різного перерізу і форми. Експериментальні вакуумні установки часто виготовляються зі спеціальних сортів скла.

Гнучкі вакуумпроводи виготовляються із сільфонів (гнучких металевих тонкостінних труб) та гумових або пластмасових шлангів. Для того, щоб вони не сплющувалися під дією сили атмосферного тиску повітря, сільфони мають спеціальну гофровану форму (рис. 1.1) з ребрами жорсткості, а товщина стінок шлангів має дорівнювати внутрішньому діаметру трубопроводу для гумових і одній чверті внутрішнього діаметра для поліетиленових трубопроводів.

З'єднання окремих трубопроводів та їх частин може бути як нерозбірним, так і розбірним.

Нерозбірні з'єднання виготовляють зварюванням і паянням. Найпоширенішим методом зварювання є електродугове зварювання в захисному (аргоновому) середовищі. У такий спосіб з'єднуються деталі зі звичайних та нержавіючих сталей, якщо товщина деталей становить 0,1–5 мм. На рис. 1.2 наведені приклади конструкторського вирішення вузлів, які з'єднуються зварюванням.

Специфічними особливостями такого зварювання є:

- суцільність (герметичність) зварних швів;
- недопустимість двосторонніх швів;
- накладання зварювального шва на поверхні, що повернена вбік вакууму;
- недопустимість утворення «карманів», повернених убік вакууму.

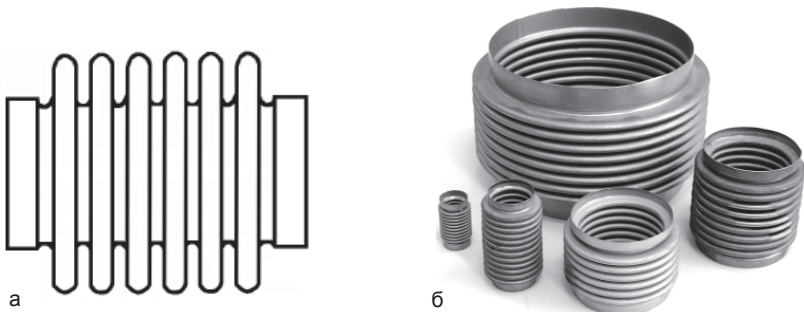


Рис. 1.1. Схематичне зображення(а) та зовнішній вигляд (б) різних сільфонів

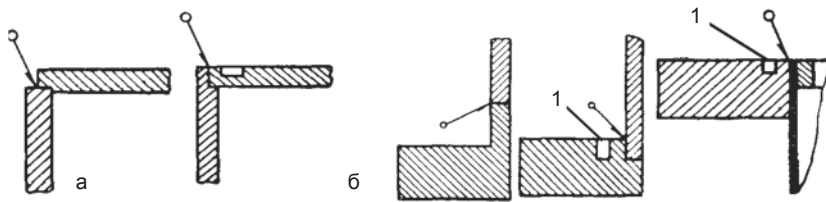


Рис. 1.2. Конструкції зварних вузлів вакуумних установок:
 а – зварювання однакових за товщиною деталей; б – зварювання деталей різних за товщиною; 1 – розвантажувальна канавка

Особливо відповідальні вузли зварюють за допомогою потужного електронного променя у спеціальних вакуумних електронно – променевих зварювальних установках. Електронно-променевим зварюванням можна з’єднувати й деталі з різнорідних металів – сталі та міді тощо.

З’єднання вузлів за допомогою паяння виконується за умови незначних силових і температурних навантажень на ці вузли. Перевагою паяння порівняно зі зварюванням є значно нижча температура розігрівання з’єднувальних деталей. Крім цього, паянням можна з’єднувати деталі, які не можна зварити, наприклад: сталь і латунь, мідь і нікель тощо.

Вимоги до вакуумних швів при паянні аналогічні вимогам до зварних швів.

Паяння здійснюється за допомогою м’яких або твердих припоїв залежно від експлуатаційних температурних і міцнісних вимог до конкретного вузла.

М’які припої (ПОС) складаються з олова та свинцю з незначними домішками міді. Діапазон температури плавлення таких припоїв становить 180–250 °С (залежно від концентрації компонент), їх міцність невелика. Робоча температура вузлів не повинна перевищувати 120 °С.

Тверді припої (ПСр) складаються зі срібла та міді. Температура їх плавлення лежить у діапазоні 650–800 °С (залежно від концентрації компонент). Шви, паяні твердими припоями, витримують нагрівання до 300 °С і мають значну міцність.

Нерозбірною (паянням) можуть бути з'єднані трубопроводи з деяких металів і скла. При близьких значеннях термічних коефіцієнтів розширення метал і скло утворюють узгоджений вакуумносуцільний спай. З металів найчастіше для цього використовують спеціальний сплав – ковар (Co – 18%, Ni – 29%, Fe – основа), який зварюється з нержавіючими сталями і легко спаюється зі склом. Максимальна робоча температура спаїв ковару зі склом може досягати 500 °С.

У сучасній вакуумній техніці широко застосовуються спеціальні сорти кераміки, які порівняно зі склом мають набагато кращі діелектричні, міцнісні й термічні властивості. Спай металів з кераміками здійснюється або за допомогою спеціальних активних металевих припоїв, які вступають у хімічну взаємодію з матеріалом кераміки, або без використання активних припоїв – дифузійним зварюванням у вакуумі. Такі з'єднання мають високу міцність, а їх максимальна робоча температура сягає 800 °С.

На рис. 1.3 наведено приклади деталей вакуумних установок з використанням скла та кераміки.



Рис. 1.3. Деталі вакуумних установок з використанням скла та кераміки: а – оглядове скляне вікно; скляні (б) та керамічні (в) струмоводи

Розбірні з'єднання повинні відповідати таким вимогам:

- мати мінімальне натікання і газовиділення;
- бути механічно міцними, термічно стійкими, здатними зберігати герметичність після багаторазових збирань і розбирань;
- бути зручними й технологічними у виготовленні;
- легко перевіритися на герметичність.

Такі з'єднання виконуються за загальною схемою – у зазорі (проміжку) між деталями, які з'єднуються (фланцями) розташовується спеціальний елемент – ущільнювач, який, деформуючись, заповнює нерівності на поверхнях фланців і таким чином герметизує з'єднання. Фланці при цьому притискаються один до одного за допомогою болтів або якимось іншим способом (накидною гайкою, атмосферним повітрям тощо). Важливим є те, що зусилля, які забезпечують необхідну деформацію ущільнювача для герметизації деталей, повинні бути значно меншими порівняно з межею пружності матеріалів, з яких виготовлені ці деталі, і не деформувати їх.

У вакуумній техніці ущільнювачі одержали назву вакуумних ущільнювальних прокладок.

Першим матеріалом для ущільнювальних прокладок у вакуумних установках була гума – надзвичайно еластичний матеріал, який витримує багато деформаційних циклів.

Спеціально для потреб вакуумної техніки були створені особливі (вакуумні) сорти гуми, які широко використовуються в системах високого та низького вакууму й температура прогрівання яких не перевищує 200 °С. Гумові ущільнювачі у формі кілець різного діаметру і перерізу витримують практично необмежену кількість збирань і розбирань з'єднань. Невеликі зусилля для надійної герметизації вузлів з гумовими ущільнювачами (1–2 Н на 1 мм довжини ущільнювача) та невисокі вимоги до якості виготовлення поверхонь з'єднувальних деталей (гума надійно заповнює виступи й заглибини заввишки в сотні мікрометрів) забезпечують простоту і надійність таких з'єднань.

Протягом останніх десятиліть у високовакуумних системах як матеріал для ущільнювачів використовується синтетичний матеріал – фторопласт, який має достатню еластичність надзвичайно мале газовиділення і високу хімічну стійкість. Вузли із фторопластовими прокладками можна прогрівати до 250 °С.

Для одержання високого й особливо надвисокого вакууму вся вакуумна система повинна тривалий час знегажуватися нагріванням до температур 350–450 °С. Зрозуміло, що ні гума, ні фторопласт не можуть бути використані як матеріали для ущільнювачів у таких системах. Для герметизації з'єднань у них використовуються металеві ущільнювальні прокладки. Необхідною умовою для запобігання розгерметизації таких вузлів при охолодженні є рівність термічних коефіцієнтів розширення металів, з яких виготовлені прокладка й фланці у всьому температурному інтервалі. Крім цього, метал прокладки повинен бути досить пластичним, а матеріал фланця — досить твердим. Найбільш повно цим вимогам відповідають мідь (прокладка) і вакуумні сорти нержавіючих сталей (фланець). Тому ущільнювальні прокладки надвисоковакуумних установок виготовляють з особливо чистої міді.

Використання прокладок з міді потребує значних (порівняно з гумою) зусиль для деформації прокладки й створення надійної герметизації — 200–300 Н на 1 мм довжини ущільнювача. Це майже у двісті разів більші зусилля, ніж для гумових прокладок. Створення таких зусиль забезпечується великою кількістю стяжних болтів. Крім цього, мідь (незважаючи на її значну пластичність) неспроможна при деформації заповнювати значні нерівності поверхонь з'єднувальних деталей, що висуває дуже жорсткі вимоги до якості обробки їх поверхонь.

У більшості конструкцій розбірних з'єднань з мідними прокладками після розбирання вузла деформована прокладка замінюється на нову, недеформовану, тобто така прокладка є одноразовою. Для зменшення втрат досить дорогої й дефіцитної міді часто використовують прокладки з більш дешевого алюмінію. Проте, у разі тривалих і багаторазових нагрівань до 350–450 °С вузла з алюмінієвою прокладкою спостерігається дифузія легкоплавкого алюмінію в поверхневі шари з'єднувальних деталей, що призводить до «прилипання» прокладки до поверхні фланця.

Для забезпечення значних локальних зусиль, необхідних для деформації металевих прокладок (крім великої кількості стяжних болтів), ті місця фланцевих з'єднань, які безпосередньо герметизуються (притискаються до прокладки), мають ще й спеціальну форму — «клин — канавка», «зуб — зуб» тощо. Це вимагає дуже точного збігу їх розмірів на обох з'єднувальних фланцях, що значно ускладнює виготовлення й збільшує вартість цих вузлів.

Навчальне видання

Лобода Валерій Борисович
Хурсенко Світлана Миколаївна
Шкурдода Юрій Олексійович

Лабораторний практикум
з фізичних основ вакуумної техніки

Навчальний посібник

Головний редактор В.І. Кочубей
Технічний редактор І.Ф. Артюшенко
Дизайн обкладинки і макет В.Б. Гайдабрус
Комп'ютерна верстка О.І. Молодецька, А.О. Литвиненко

Підписано до друку 15.11.11
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Ньютон.
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 13,4. Обл.-вид. арк. 13,1.
Тираж 300 прим. Замовлення № 53

Відділ реалізації
Тел./факс: (0542) 78-83-57
E-mail: info@book.sumy.ua

ТОВ “ВТД “Університетська книга”
40009, м. Суми, вул. Комсомольська, 27
E-mail: publish@book.sumy.ua
www.book.sumy.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 489 від 18.06.2001

Надруковано на обладнанні ВТД “Університетська книга”
вул. Комсомольська, 27, м. Суми, 40009, Україна