

ПРОФІЛЮВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ РОТАЦІЙНОГО КОМПРЕСОРА

О. С. Ігнат'єв, канд. техн. наук, доцент;

В. А. Мандрика, студент,

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна

Розглядається проблема профілювання спряжених роторів об'ємного компресора типу "Рутс". За результатами проведених розрахунків авторами запропоновані профілі, які забезпечують мінімальні перетікання газу між роторами компресора і тим самим сприяють підвищенню його коефіцієнта корисної дії. Ротори з такими профілями більш технологічні (порівняно з традиційними) з точки зору їх механічного оброблення на станках з програмним керуванням.

Ключові слова: ротаційний компресор, ротор, спряжені профілі, профілювання, перетікання газу, технологічність ротора.

ВСТУП

У даній роботі йдеться про двохроторні компресори об'ємної дії з зовнішнім стисканням (типу Рутс) і витратою до 1000 м³/хв. Вказані компресори призначені для підвищення тиску технологічного і охолоджувального газів у системі газопотоку установки металізації металургійного комбінату.

В установці працюють вісім компресорів технологічного газу першого ступеня, чотири компресори – технологічного газу другого ступеня і чотири компресори охолоджувального газу. Компресори повністю уніфіковані і відрізняються лише частотою обертання ротора. Слід зазначити, що використання в даному випадку відцентрових лопатевих компресорів не доцільно, зважаючи на недостатню жорсткість їх напірних характеристик.

Основні параметри ротаційних компресорів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри ротаційних компресорів

Параметри, одиниці виміру	Компресор технологічного газу I-го ступеня	Компресор технологічного газу II-го ступеня	Компресор охолоджувального газу
Тиск на вході, кПа	116,5	165,5	168,5
Тиск на виході, кПа	168,5	239,5	2,215
Витрата (за умов входу), м ³ /хв	626	956	747
Температура газу на вході, °С	50	61	35
Температура газу на виході, °С	61	73	46
Частота обертання ротора, об/хв	260,5	366,3	300,8

Різні параметри компресорів забезпечуються використанням редукторів з різними передавальним відношенням.

При проектуванні вказаних компресорів основним завданням було профілювання спряжених роторів, які забезпечують мінімальні

перетікання газу в компресорах і тим самим сприяли підвищенню їх коефіцієнта корисної дії.

Крім того, ротори з такими профілями повинні були забезпечити високий рівень технологічності з точки зору їх механічного оброблення на станках з програмованим керуванням.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Обґрунтування вибору типу спряженого профіля

Аналіз літературних та патентних джерел інформації [1-6] свідчить про те, що розвиток теорії практики профілювання роторів для компресорних машин об'ємної дії відбувається в напрямку спрощення технології виготовлення профілів (іншими словами, підвищення їх технологічності) і зменшення перетікань газу через зазори між роторами та між корпусом і роторами.

Наразі використовують профілі, в яких вершини головок обточені по дузі кола з центром на осі ротора. Такі профілі зустрічаються на підприємствах “Аерцен” (Німеччина), Мелітопольського компресорного заводу (Україна) та інші. Їх перевагою є збільшений гідравлічний опір у радіальному зазорі між ротором і корпусом і, як наслідок, незначні перетікання газу між ротором і корпусом. Разом з тим, залежно від типу застосованого профілю між роторами при їх положенні “у стик” утворюється перевальний об'єм або наскрізна щілина, яка в окремих компресорах дорівнює кільком мікрометрам. Присутність такої щілини, у свою чергу, збільшує перетікання газу через зазор між роторами, що знижує позитивний ефект, який отримують від обточування головок.

Для зменшення розмірів щілини між роторами зменшують товщину шару металу, який знімається при обточуванні головок профілів. Щоб при цьому зберегти необхідну довжину дуги, отримувану у процесі обточування головок, бокові поверхні останніх виконують у вигляді евольвентних або інших кривих, зміщених відносно повздовжньої вісі поперечного перерізу ротора.

У компресорах Мелітопольського компресорного заводу, наприклад, величину перевального об'єму зменшують шляхом виконання дна впадини за дугою кола з центром на вісі ротора. При цьому впадина створюється трьома кривими, а саме: дугою кола і двома циклоїдами.

В останній час профілювання роторів, як правило, починають із бокових поверхонь головок. Профіль впадини являє собою криву, спряжену з профілем головки і складається із кількох кривих різних типів, в тому числі і циклоїдальних. При такому профілюванні найбільш складною є впадина.

Для спрощення технології виготовлення спряжених профілів було запропоновано починати профілювання роторів із впадини, тобто за вихідну ділянку профілю приймати саме впадину. Причому, профіль впадини може бути створений однією дугою кола [6] або дугою кола і двома прямими лініями або трьома прямими лініями.

Профіль головки залишається незмінним. Однак виготовлення складної опуклої поверхні головки з технологічної точки зору набагато простіше, ніж увігнутої поверхні впадини.

Слід зазначити, що із трьох вищевказаних варіантів профілю впадини два перших варіанта мають один недолік – великі перетікання газу через радіальні зазори між роторами і корпусом. Зменшення цих перетікань шляхом обточування головок роторів призводить до утворення щілини між роторами у випадку першого варіанта, або перевального об'єму у випадку другого варіанта.

У разі використання третього варіанта профілю (профіль впадини створюється трьома прямими лініями) вказані недоліки зводяться до мінімуму при одночасному підвищенні технологічності роторів.

На основі викладеного вище перевагу було віддано профілю, впадина якого створена трьома прямими лініями. Тип механізму прийнято нереверсивним, що дає можливість зменшити сумарний зазор між профілями.

Профілювання роторів. Основне завдання профілювання – добрати вихідну частину профілю (головку або впадину) і по ній побудувати спряжену частину іншого профілю.

Це завдання вирішували для теоретичних профілів. Номінальні профілі отримані шляхом зміщення відповідних точок на величину, що забезпечує необхідний гарантований зазор Δ . При цьому кожен профіль зміщували на половину величини зазору. На основі досвіду для компресорів технологічного і охолоджувального газів був прийнятий радіальний зазор між роторами $2r_g = 0,96$ мм (рис. 1).

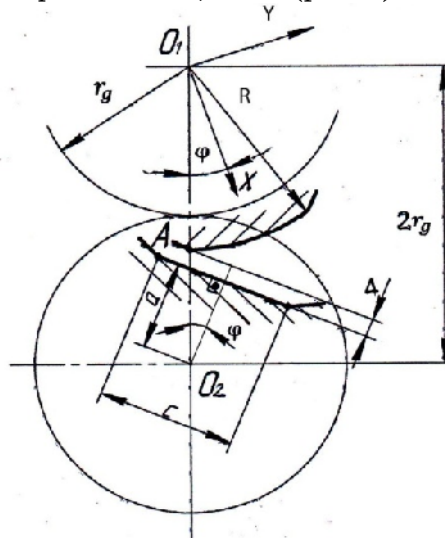


Рисунок 1 - Схема спряжених профілів ротаційного компресора

Довжина впадини (рис. 1)

$$c = 2(2r_g - R) \cos \arctg \frac{y_A}{x_A} - \Delta. \quad (1)$$

Вихідними даними для профілювання були:

- зовнішній діаметр теоретичного профіля $2R = 1500$ мм;
- радіус початкового кола $r_q = 479,2$ мм;
- профіль впадини, створений трьома прямими лініями.

Кут нахилу бокової поверхні впадини до великої осі поперечного перерізу ротора дорівнював $23,5^\circ$ (за розрахунками, результати яких наведені в табл. 2).

Таблиця – 2 Координати номінального профіля на діаметрі $2R$

Кут нахилу α , град	Координати профілів	
	x, мм	y, мм
23	749,609	4,127
23,5	749,704	17,642
24	748,997	30,103

Відстань від осі ротора до бокової поверхні впадини згідно з рисунком 2 дорівнює

$$b = r_q \cdot \sin(45^\circ - \theta) - \Delta, \quad (2)$$

де $b = 175,627$ мм (для теоретичного профіля);
 $b = 175,147$ мм (для номінального профіля).

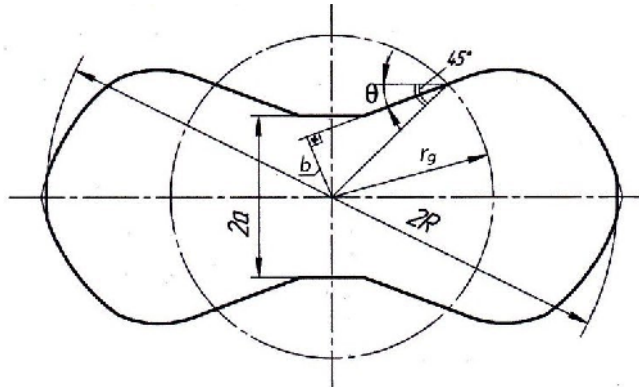


Рисунок 2 - Профіль ротора ротаційного компресора

Відстань від дна впадини до осі профіля

$$a = (2r_q - R) \cos \arctg \left(-\frac{y_A}{x_A} \right). \quad (3)$$

Після простого підрахунку були отримані чисельні значення $a = 208,341$ мм - для теоретичного профіля і $a = 207,861$ мм - для номінального профіля.

Спряжені профілі

Теоретичний спряжений профіль описується наступною системою рівнянь:

$$x = 958,4 \cos \varphi - x_1 \sin 2\varphi - y_1 \cos 2\varphi, \quad (4)$$

$$y = 958,4 \sin \varphi - x_1 \cos 2\varphi + y_1 \sin 2\varphi, \quad (5)$$

де x, y - координати профіля в рухомій системі координат;

φ - кут повороту роторів.

У виразах (4) і (5) координати точок дотику профілів x_1, y_1 визначаються за формулами:

$$x_1 = 70,031 + 175,232 \cos \varphi + 403,007 \sin \varphi, \quad (6)$$

$$y_1 = 191,511 + 0,4348 x_1. \quad (7)$$

Координати теоретичного і номінального профілів розраховали за допомогою ЕОМ. Визначали величини кутів Ψ повороту ротора відносно нерухокої системи координат, при яких дотична до профілю приймає горизонтальне положення (рис. 3), а також координати X, Y точок профіля в нерухокій системі координат. Вказані координати, а також відповідні кути повороту роторів у статті не наводяться з причини обмеженого об'єму публікації.

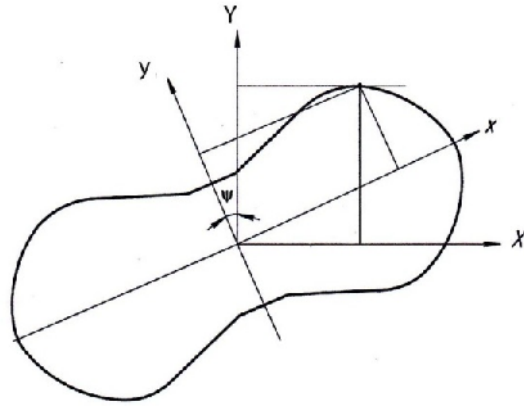


Рисунок 3 - До розрахунку спряжених профілів

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Вперше отримані розрахунковим шляхом спряжені профілі роторів ротаційних компресорів, що використовуються в системах газових течій установки металізації металургійного комбінату.

Спряжені профілі забезпечують мінімальний радіальний зазор (щілину) між роторами і, як наслідок, більш високий коефіцієнт корисної дії компресора.

Ротори з вищевказаними профілями мають високий рівень технологічності з точки зору їх механічного оброблення на станках з програмованим керуванням.

PROFILING SURFACE CONJUGATED ROTARY COMPRESSOR

O. S. Ihnatyev, V. A. Mandryka,
Sumy State University,
2, Rimsky-Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine

The profiling problem for conjugated rotors of volume compressor "Roots" is considered. As a result of calculations, authors proposed profiles that provide a minimum flow of gas between rotors of compressor and thus contribute to improving its efficiency. Rotors with this profiles more technological (compared to traditional) in terms of their mechanical processing on the machine tools with program control.

Keywords: rotary compressor, rotor, conjugate profiles, profiling, gas flow, manufacturability of rotor.

ПРОФИЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РОТАЦИОННОГО КОМПРЕССОРА

A. S. Ignatyev, V. A. Mandryka,
Сумский государственный университет,
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина

Рассматривается проблема профилирования сопряженных роторов объемного компрессора типа «Рутс». По результатам проведенных расчётов авторами предложены, которые обеспечивают минимальные протечки газа между роторами компрессора и тем самым способствуют повышению его коэффициента полезного действия. Роторы с такими профилями имеют более высокую технологичность (в сравнении с традиционными) с точки зрения их механической обработки на станках с программным управлением.

Ключевые слова: ротационный компрессор, ротор, сопряженные профили, профилирование, протечки газа, технологичность ротора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лубенец В. Д. Тенденции развития роторных машин / В. Д. Лубенец, А. И. Шварц, Л. Т. Караганов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1986. – № 1. – С. 61-62.
2. Ибраев А. М. Расчет действительного профиля роторов нагнетателей внешнего сжатия / А. М. Ибраев, Г. Н. Чекушкин // Изв. вузов. Машиностроение. – 1985. – № 10. – С. 53-59.
3. Хлуменский В. Ротационные компрессоры и вакуум-насосы / В. Хлуменский. – М. : Машиностроение, 1971. – 128 с.
4. Валиахметов И. Г. Уплотнение зазоров в роторах винтовых и роторных компрессорных машин / И. Г. Валиахметов, А. В. Селютин, В. И. Каргин // Проектирование и исследование компрессорных машин (сб. науч. тр.). – Казань : 1982. – С. 92-96.
5. Ибраев А. М. Анализ комбинированных профилей роторных компрессоров / А. М. Ибраев, М. С. Халидуллин, Г. Н. Чекушкин // Изв. вузов. Машиностроение. – 1986. – № 10. – С. 44-53.
6. А. с. 1158779 СССР, МКИ F 04 C 18/08. Вакуумный насос типа Рутс / Н. Ф. Немиллов. - №3636319/25-06; заявл. 24.08.83; опубл. 30.05.85, Б. И. № 20, 1985.

Надійшла до редакції 22 жовтня 2013 р.