

Розробка технології та обладнання для профілювання гвинтоподібних та ребристих труб та створення високоефективних теплообмінників

Разработка технологии и оборудования для профилирования винтовых и ребристых труб и создания высокоэффективных теплообменников

Development of technology and equipment for profiling of corrugated and ribbed tubes and creation of high-performance heat exchangers

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0116 U 003800,**
- 2. Науковий керівник - чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Бобир М.І., Бобырь Н.И., Mykola Bobyr**

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Робота спрямована на створення високоефективних регенераторів теплоти газотурбінних установок (ГТУ) газотранспортної системи України. Для регенераторів теплоти ГТУ пропонується використовувати високоефективні поверхні теплообміну із труб гвинтоподібного профілю з високими теплоаеродинамічними характеристиками, що забезпечить зниження масогабаритних показників на 30-40% в порівнянні з теплообмінниками із гладких круглих труб та підвищення К.К.Д. ГТУ з 18—25% до 38-41%. Загальний ефект від використання розробки може становити до 25 - 30% економії газу, який використовується в ГТУ для перекачування. Також, шляхом заміни круглих латунних трубок на гвинтоподібні латунні трубки діаметром 16x1 мм, довжиною 2 та 4 м можлива модернізація теплообмінників, які використовуються в системах опалення та гарячого водозабезпечення будинків різного призначення. В дослідних зразках теплообмінників, де встановлюють профільні трубки, коефіцієнт теплопередачі збільшується на 30 – 50%.

Для виготовлення таких труб розроблені технологія та обладнання для їх пластичного формування на базі процесу роликового обкочування. Чисельним моделюванням та експериментальними дослідженнями встановлені необхідні параметри профільованих труб: глибина $h= 1,0 -1,5$ мм та крок гвинтових канавок $t=8 \dots 12$ мм. Встановлено, що такі параметри забезпечують приграничну турбулізацію однофазного теплоносія та збільшення теплопередачі приблизно в 1,5 рази. Оскільки для досягнення високої ефективності теплообміну необхідно штучно турбулізувати пристінковий шар товщиною до 5% від радіусу труби. Виготовлений макет теплообмінника, що складається із латунних гвинтоподібних трубок з кроком гвинтових канавок $t=8$ мм та глибиною $h= 1,0$ мм. Гвинтоподібні трубки виготовлялись за допомогою процесу роликового обкочування із використанням сипучого матеріалу, що засипався в середину труб для підвищення їх жорсткості.

(рос.)

Работа направлена на создание высокоэффективных регенераторов теплоты газотурбинных установок (ГТУ) газотранспортной системы Украины. Для регенераторов теплоты ГТУ предлагается использовать высокоэффективные поверхности теплообмена из труб винтового профиля с высокими теплоаэродинамическими характеристиками, что обеспечит снижение массогабаритных показателей на 30-40% по сравнению с теплообменниками из гладких круглых труб и повышения К.П.Д. ГТУ с 18-25% до 38-41%. Общий эффект от использования разработки может составлять до 25 - 30% экономии газа, используемого в ГТУ для перекачки. Также, путем замены круглых латунных трубок на винтовые латунные трубки диаметром 16×1 мм, длиной 2 и 4 м возможна модернизация теплообменников, которые используются в системах отопления и горячего водоснабжения зданий различного назначения. В опытных образцах теплообменников, где устанавливают профильные трубки, коэффициент теплопередачи увеличивается на 30 - 50%.

Для изготовления таких труб разработаны технология и оборудование для их пластического формования на базе процесса обкатки роликами. Численным моделированием и экспериментальными исследованиями установлены необходимые параметры профилированных труб: глубина $h = 1,0 \dots 1,5$ мм и шаг винтовых канавок $t = 8 \dots 12$ мм. Установлено, что такие параметры обеспечивают приграничную турбулизацию однофазного теплоносителя и увеличение теплопередачи примерно в 1,5 раза. Поскольку для достижения высокой эффективности теплообмена необходимо искусственно турбулизовать пристеночный слой толщиной до 5% от радиуса трубы. Изготовлен макет теплообменника, состоящий из латунных винтовых трубок с шагом винтовых канавок $t = 8$ мм и глубиной $h = 1,0$ мм. Винтовые трубки изготавливались с помощью процесса обкатки роликами с использованием сыпучего материала, который засыпался внутрь труб для повышения их жесткости.

(англ.)

The work is aimed at creation of high-efficiency heat regenerators of gas turbine units (GTU) of the gas transportation system of Ukraine. It is proposed to use highly effective heat exchange surfaces from the tubes of the spiral corrugated profile with high heat and aerodynamic characteristics for heat regenerators GTU, which will ensure a reduction of mass-dimensions by 30-40% in comparison with heat exchangers made of smooth round tubes and an increase in the KPD GTU from 18-25% to 38-41%. The overall effect of using the development can be up to 25 - 30% of the gas savings used in the gas turbine for pumping. Also, by replacing the round brass tubes with spiral corrugated brass tubes with a diameter of 16 mm, lengths of 2 and 4 m, the heat exchangers can be upgraded, which are used in heating and hot water supply systems for buildings of various purposes. In the prototypes of heat exchangers, where the profile tubes are installed, the heat transfer coefficient increases by 30-50%.

For the manufacture of such tubes, technology and equipment for their metal forming based on the roller spinning process have been developed. Numerical modeling and experimental studies have established the necessary parameters of profiled tubes: the depth $h = 1,0-1,5$ mm and the step of screw grooves $t = 8 \dots 12$ mm. It is established that such parameters provide cross-border turbulence of a single-phase heat carrier and an increase in heat transfer of about 1.5 times. Since in order to achieve high efficiency of heat exchange it is necessary to artificially turbulize the near-wall layer with a thickness of up to 5% of the tube radius. A model of the heat exchanger is made, consisting of corrugated spiral brass tubes with a pitch of screw grooves of $t = 8$ mm and a depth of $h = 1.0$ mm. Spiral corrugated tubes were manufactured using the roller spinning process using a loose material that was poured into the tubes to increase their rigidity.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

- патент 102107 UA, МПК В 21 D 15/04. Спосіб профілювання гвинтоподібних труб / М.І. Бобир, В.О. Маковей, В.С. Мельник, П.Ю. Проценко (UA) - № u201505016; заявл. 22.05.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл. №19.
- патент 107828 UA, МПК В 21 D 15/00. Спосіб профілювання довгомірних гвинтоподібних труб / М.І. Бобир, В.О. Маковей, В.С. Мельник (UA) - № u201512274; заявл. 11.12.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. №12.
- патент 109120 UA, МПК В 21 D 22/16. Спосіб ротаційного видавлювання порожнистих вісесиметричних виробів з поворотними роликами / П.Ю. Проценко, В.В. Піманов, В.С. Куріхін (UA) - № u201601842; заявл. 26.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, а технологія виготовлення профільованих гвинтоподібних одно- та трьохзахідних труб обкочуванням роликами із застосуванням протитиску є новим підходом по отриманню теплообмінних поверхонь, що має наступні переваги порівняно із іншими процесами: простота реалізації, дешевизна та якість отриманих

труб, яка знаходиться на тому самому рівні, що і при виготовленні їх на базі інших процесів (гідроформування, кування).

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Впровадження нових поверхонь теплообміну та технології з їх виготовлення профільованих труб в Україні дозволить:

- збільшити коефіцієнт корисної дії ГТУ з 18—25% до 38-41%
- зменшити витрати палива енергогенеруючого обладнання, в тому числі на підприємствах ЖКХ, ефект від використання розробки може становити до 20% економії енергоносіїв;
- застосування регенераторів теплоти ГТУ газотранспортної системи України дозволить понизити витрати природного газу на власні потреби приблизно до 1-2 млрд кубометрів на рік.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Споживачі, які зацікавлені в результатах роботи, це паливно-енергетичний комплекс, промислові підприємства хімічної, нафтопереробної, газової, металургійної, харчової галузей та підприємства ЖКХ. Новий тип поверхонь теплообміну може застосовуватись в регенераторах теплоти при модернізації газотранспортної системи України і створенні ГТД нового покоління для ГТС. Підтверджують свою зацікавленість у результатах роботи такі організації, як ВАТ «Сумське НВО ім. Фрунзе» (м. Суми), «Зоря - Машпроект» (м. Миколаїв), «Факел» (м. Фастів), Монастирищинський котельний завод ТОВ МПВФ «Енергетик», китайська компанія «КанЦзе», провінція Цзянсу, КНР (в рамках інноваційних проектів наукового парку «Київська політехніка»).

8. Стан готовності розробки.

Розроблено технологію та обладнання для профілювання одно - і трьохзахідних гвинтоподібних труб теплообмінників багатороликовим обкатуванням. Розроблено технологію та обладнання для виготовлення ребристих труб прокатуванням в гвинтоподібних валках. Чисельним моделюванням та експериментальними дослідженнями встановлені необхідні параметри профільованих труб: глибина $h = 1,0 - 1,5$ мм та крок гвинтових канавок $t = 8 \dots 12$ мм. Виготовлений макет теплообмінника. Можливе подальше впровадження технології виготовлення теплообмінників із профільованими трубами та дослідно-промислове виготовлення теплообмінників.

9. Існуючі результати впровадження.

Планується впровадження технології обкочування гвинтоподібних труб на підприємстві ТОВ "Вікторія". Результати роботи будуть використані ПрАТ "КЦКБА" в своїх перспективних розробках (Акт впровадження №9-32/1-279 від 11.12.2017р.).

10. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Механіко-машинобудівний інститут, кафедра механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, (044) 204-83-99, k-omd@ukr.net, makovei@ukr.net

11. Фото розробки



Макет теплообмінника, трубки якого виготовлені за допомогою процесу роликового обкочування



Фотографія гвинтоподібної латунної труби



Фотографія оснащення, що встановлене на токарно-гвинторізний верстат для отримання гвинтоподібних латунних трубок

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки Монографії:

1. Профилирование винтообразных труб теплообменников/ Маковей В.О., Бобир М.І., Проценко П.Ю. Балті, Молдова: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. – 226 с.
2. Теорія та практика обробки матеріалів тиском / Під ред. Богуслаєва В.О., Бобира М.І., Тітова В.А., Качана О.Я. - Запоріжжя, вид. АТ «Мотор Січ», 2016. - 522 с.

Статті:

1. Makovej V. Production of helical heat exchanger tubes by roller spinning / V. Makovej, P. Protsenko, V. Melnik // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – No 3. – PP. 104-110.
2. Трубочев С.І. Структура потоку при течії в середині гвинтоподібної труби / С.І. Трубочев, О.В. Баранюк, В.С. Мельник. // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe - 2017. - 1(17). – С. 96-104.

- 3.Маковей В.О. Удосконалення технологічного процесу виготовлення трубок з гвинтоподібним профілем/ В.О. Маковей, В.С.Мельник// Обработка материалов давлением. - 2015.- № 1 (40). – С. 81-84
4. Баранюк О.В. Дослідження міцності гвинтоподібної труби з рівнорозвиненою поверхнею з урахуванням внутрішньої течії потоку / О.В. Баранюк, С.І. Трубачев, С.А. Рева // ScienceRise. - №2(31). - 2017. - С. 23-28.
5. Письменний Є.М. Теплоаеродинамічна ефективність пакетів гвинтоподібних труб / Є.М. Письменний, С.А. Рева, О.М. Терех, О.В. Баранюк// Наукові вісті НТУУ "КПІ". - 2017.- №2. - С. 7-11.
6. Маковей В.А. Моделювання прокатки шариків в гвинтових валках / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко, Д.В Сохан // Вісник КПІ ім. Сікорського “Машинобудування”. – 2017.
7. Баранюк О.В. Моделирование состояния винтообразных труб с равноразвитой поверхностью в условиях неизотермичности внутреннего течения / О. В. Баранюк, С. І. Трубачев, О.Н. Алексейчук // Журнал "Проблемы прочности". – 2017.
8. Баранюк О.В. Теплообмін шахових пучків гвинтоподібних труб / О.В. Баранюк, В.А. Рогачов, Н.Ю. Андрусік // Журнал "Энергетика". – 2017.

13. Ключові слова: теплообмінник, гвинтоподібна труба, профільована труба, процес роликowego обкочування, труба з рівнорозвиненою поверхнею, оснащення для виготовлення одно- та трьохзахідних гвинтоподібних труб, одно- та трьохроликova обкатна головка.