



УКРАЇНА

(19) UA (11) 85044 (13) C2
(51) МПК (2006)
C10G 9/20 (2006.01)
B21C 37/15

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ТА ОРЕБРЕНА ТРУБА ДЛЯ ТЕРМІЧНОГО КРЕКІНГУ ВУГЛЕВОДНІВ, СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ОРЕБРЕНОЇ ТРУБИ З ВІДЦЕНТРОВО ВІДЛИТОЇ ТРУБИ

1

(21) а200501718
(22) 08.05.2003
(24) 25.12.2008
(86) РСТ/ЕР03/04827, 08.05.2003
(31) 102 33 961.9
(32) 25.07.2002
(33) DE
(46) 25.12.2008, Бюл.№ 24, 2008 р.
(72) ВЕЛЬПЕРТ ПЕТЕР, ГАНЗЕР БЕННО, ЯКОБІ
ДІТЛІНДЕ, КІРХХАЙНЕР РОЛЬФ
(73) ШМІДТ + КЛЕМЕНС ГМБХ + КО. КГ
(56) ЕР 1136541, А, 26.09.2001
DE 4427859, А, 26.10.1995
US 4876065, А, 24.10.1989
US 2001/001399, А1, 24.05.2001
DE 19523280, А, 02.01.1997
US 5950718, А, 14.09.1999
(57) 1. Спосіб термічного крекінгу вуглеводнів в присутності водяної пари, де завантажувану суміш пропускають через труби з внутрішніми спіралеподібними ребрами, які нагрівають ззовні, який **відрізняється** тим, що закручений потік створюють у безпосередній близькості від ребер, які мають кут профілю 16°-25° і проходять під кутом 20°-40° відносно осі труби, і перетворюють на зону ядра з переважно осьовою течією при збільшенні радіальної відстані від ребер.
2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що коливання температури всередині стінки по окружності труби складає менше 12°C.
3. Спосіб за п.1 або 2, який **відрізняється** тим, що ізотерми в зоні ядра мають спіралеподібну форму.
4. Спосіб за будь-яким з пп.1-3, який **відрізняється** тим, що швидкість закрученого потоку збільшують на перших 2-3 м довжини труби і потім залишають сталою.
5. Спосіб за будь-яким з пп.1-4, який **відрізняється** тим, що закручений потік має однакову швидкість по всьому поперечному перерізу після перших 2-3 м довжини труби.
6. Спосіб за будь-яким з пп.1-5, який **відрізняється** тим, що фактор гомогенності температури по поперечному перерізу і фактор гомогенності температури, віднесений до гідралічного діаметра, складає понад 1 відносно факторів гомогенності гладкої труби.

2

7. Спосіб за будь-яким з пп.1-6, який **відрізняється** тим, що швидкість потоку в примежовому шарі на стінці труби є на 8-12% нижчою, і швидкість потоку в зоні ядра є на 8-12% вищою, ніж у разі порівняльної труби з прямими ребрами такого ж типу.
8. Спосіб за будь-яким з пп.1-7, який **відрізняється** тим, що вуглеводень і суміш вуглеводню і водяної пари прискорюють на відстані від 1 до 2м, відрахованій від впускання газу, до колової швидкості, яка становить 15-20% осьової швидкості в зоні ядра, при цьому колова швидкість потім залишається сталою.
9. Спосіб за будь-яким з пп.1-8, який **відрізняється** тим, що сума осьової швидкості і колової швидкості є більшою від осьової швидкості в порівняльній трубі з прямими ребрами такого ж типу.
10. Спосіб за будь-яким з пп.1-9, який **відрізняється** тим, що потік суміші прискорюють на бічних сторонах ребер.
11. Оребрена металева труба для термічного крекінгу вуглеводнів в присутності водяної пари, яка **відрізняється** тим, що ребра проходять під кутом 20°-40° відносно осі труби, причому кут профілю ребер становить 16°-25°.
12. Оребрена труба за п.11, яка **відрізняється** тим, що має множинну спіралеподібних внутрішніх ребер, які проходять під кутом 22,5°-32,5° відносно осі труби.
13. Оребрена труба за п.11 або 12, яка **відрізняється** тим, що периметр профілю складає від +5 до -2% від охоплюючої окружності ребер, що торкається заглибин.
14. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-13, яка **відрізняється** тим, що ребра і заглибини, розташовані між ребрами, сконструйовані дзеркально симетричними в поперечному перерізі.
15. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-14, яка **відрізняється** тим, що вершини ребер і заглибини ребер в кожному випадку злиті одна з одною.
16. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-15, яка **відрізняється** тим, що ребра і заглибини ребер мають однаковий радіус кривизни.
17. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-16, яка **відрізняється** тим, що ребра наварені на спільній

(13) C2

(11) 85044

(19) UA

окружності і заглибини ребер лежать на спільній окружності.

18. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-17, яка **відрізняється** тим, що має від 6 до 12 ребер.

19. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-18, яка **відрізняється** тим, що гідрравлічний діаметр її дорівнює щонайменше діаметру внутрішньої окружності.

20. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-19, яка **відрізняється** тим, що співвідношення відношень коефіцієнтів теплопередачі Q_R/Q_O і відношень втрат тиску $\Delta P_R/\Delta P_O$ у водному випробуванні становить 1,4-1,5, де R означає оребрену трубу, і O означає гладку трубу.

21. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-20, яка **відрізняється** тим, що радіус кривизни поперечного перерізу ребра становить 3,5-20,0 мм.

22. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-21, яка **відрізняється** тим, що висота ребра становить 1,25-3,0 мм.

23. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-22, яка **відрізняється** тим, що вільний поперечний переріз в периметрі профілю становить 85-95 % площі охоплюючої окружності.

24. Оребрена труба за будь-яким з пп.11-23, яка **відрізняється** тим, що площа профілю становить 40-50% площі кільцевої зони між охоплюючою окружністю і внутрішньою окружністю.

25. Спосіб одержання оребреної металевої труби, який **відрізняється** тим, що її одержують з відцентрово відлитої труби з паралельними в осьовому напрямку ребрами, причому кінці труби повертають один відносно одного таким чином, що ребра проходять під кутом 20° - 40° відносно осі труби, причому кут профілю ребер становить 16° - 25° .

26. Спосіб одержання оребреної труби за п.25, який **відрізняється** тим, що внутрішній профіль одержують деформуванням з використанням профілюючого інструмента.

27. Спосіб одержання оребреної труби за п.26, який **відрізняється** тим, що в процесі деформування мікроструктурні зерна матеріалу труби частково руйнують в зоні внутрішньої поверхні.

28. Застосування відцентрово відлитої труби для одержання оребреної труби за будь-яким з пп.11-24.

29. Застосування за п.28, яке **відрізняється** тим, що відцентрово відлита труба складається з нікелевого сплаву, що містить 0,1-0,5% вуглецю, 20-35% хрому, 20-70% нікелю, до 3 % кремнію, до 1% ніобію, до 5% вольфраму, в кожному випадку до 0,5% гафнію, титану, рідкісноземельних металів, цирконію і до 6% алюмінію.

30. Застосування за п.29, яке **відрізняється** тим, що сплав містить окремо або в комбінації один з одним щонайменше 0,02% кремнію, 0,1% ніобію, 0,3% вольфраму і 1,5% алюмінію.

Даний винахід відноситься до способу та оребреної труби для термічного крекінга вуглеводнів в присутності водяної пари, де суміш, що завантажується, пропускають через труби зі спіралеподібними внутрішніми ребрами, що нагріваються ззовні.

Трубчасті печі, в яких суміш вуглеводень/водяна пара пропускається через ряд окремих труб або загнутих труб (трубчасті змійовики для крекінг-печі), при температурах вище 750°C , виконаних з термостійких сплавів хром-нікель-сталь з високою стійкістю до окиснення, або утворення окалини, і високою стійкістю до науглецювання, є прийнятними для високотемпературного піролізу вуглеводнів (похідних сирої нафти). Трубчасті змійовики містять прямі секції, що проходять вертикально, труб, які з'єднані одна з одною U-подібними колінами труб або розташовані паралельно одна одній; вони звичайно нагріваються за допомогою пальників бокових стінок, а в деяких випадках також за допомогою донних пальників, і тому мають, як відомо, світлу сторону, повернену до пальників, і, як відомо, темну сторону, яка зміщена на 90° по відношенню до неї, тобто йде у напрямку рядів труб. Середні температури металу труби (TMT) в деяких випадках вищі 1000°C .

Термін служби труб для крекінг-печі залежить значною мірою від опору повзучості і стійкості до науглецювання, а також від ступеня коксування матеріалу труби. Вирішальним фактором для ступеня коксування, тобто зростання шару вуглецевих відкладень (коксу піролізу) на внутрішній стінці труби, є, крім типу вуглеводню, що використовується, температура газу крекінга в області внутрішньої стінки і, як відомо, жорсткість робочих умов, що приховує вплив тиску системи і часу перебування в системі труб на вихід етилену. Жорсткість робочих умов встановлена на базі середньої температури на виході газів крекінга (наприклад, 850°C). Чим вища температура газу поблизу внутрішньої стінки вказаної вище температури, тим більш інтенсивним стає зростання шару коксу піролізу, і ізолююча дія даного шару дозволяє температурі металу труби збільшуватися ще більше. Хоча сплави хром-нікель-сталь, що містять 0,4% вуглецю, понад 25% хрому і понад 20% нікелю, наприклад, 35% хрому, 45% нікелю і, якщо підходить, 1% ніобію, які використовуються як матеріал труби, мають високу стійкість до науглецювання, вуглець дифундує в стінку труби через дефекти в оксидному шарі, що призводить до значного науглецювання, яке може змінити кількість вмісту вуглецю від 1% до 3% на глибину стінки 0,5-

Змм. Це пов'язано зі значним окрихчуванням матеріалу труби, з ризиком тріщиноутворення у випадку термічних навантажень, що нерівномірно коливаються, зокрема, коли піч запускається і зупиняється.

Для руйнування вуглецевих відкладень (коксування) на внутрішній стінці труби необхідно переривати операцію крекінга час від часу для того, щоб випалити кокс піролізу за допомогою парово-повітряної суміші. Це вимагає переривання роботи на час до 36 годин і тому має значно погіршувачий вплив на економіку способу.

Також відомо з [патенту GB 969796] використання труб для крекінг-печі з внутрішніми ребрами. Хоча внутрішні ребра даного типу забезпечують внутрішню площу поверхні, яка краще на декілька відсотків, наприклад, більше на 10%, з відповідним поліпшенням теплопереносу, вони також пов'язані з недоліком значної втрати тиску в порівнянні з гладкою трубою за рахунок тертя на збільшеній внутрішній поверхні труби. Більш висока втрата тиску вимагає більш високого тиску системи, що неминує змінює час перебування і має погіршувачий вплив на вихід. Додатковим фактором є те, що, відомі матеріали труби з високими вмістами вуглецю та хрому більше не можуть профілюватися холодними способами, наприклад, холодною витяжкою. Такі способи мають недолік, який полягає у тому, що їх деформівність значно знижується, оскільки гаряча міцність збільшується. Це призводить до високих температур металу труби, наприклад, до 1050°C, які є бажаними з точки зору виходу етилену, що вимагає використовувати труби, одержані відцентровим литтям. Однак, такі труби, які відцентрово відливаються, можуть бути одержані тільки з циліндричною стінкою, потрібні спеціальні способи формування, наприклад, видалення матеріалу електролітичною обробкою або спосіб формування зварюванням, якщо повинні бути одержані труби з внутрішніми ребрами.

У зв'язку з даною передумовою даний винахід оснований на проблемі поліпшення економіки термічного крекінга вуглеводнів в трубчастих печах з трубами, що нагріваються ззовні, які мають спіралеподібні внутрішні ребра.

Поставлена задача досягається за допомогою способу, в якому закручений потік створюється в безпосередній близькості до ребер, переважно, відцентрово відлітої труби, при цьому закручений потік перетворюється в зону ядра з переважно осьовою течією при збільшенні радіальної відстані від ребер. Перехід між зовнішньою зоною із закрученим потоком і зоною ядра з переважно осьовою течією є поступовим, наприклад, параболічним.

У способі згідно з даним винаходом закручений потік сприймає турбулентність відшарування на бокових сторонах ребер, так що турбулентність не рециркулює локально в формі безперервно циркулюючого потоку у заглибинах ребер. Незважаючи на звичайно великі відстані, що покриваються частинками через спіралеподібні шляхи, середній час перебування є нижчим, ніж в гладкій трубі, і, крім того, більш рівномірним у поперечному перерізі (дивися Фіг.7). Це підтверджується більш високою загальною швидкістю в профільо-

ваній трубі зі спіралеподібними ребрами (профіль 3) в порівнянні з трубою з прямими ребрами (профіль 2). Це забезпечується, зокрема, якщо закручений потік в зоні ребра або ребер проходить під кутом 20-40°, наприклад, 30°, переважно, 25-32,5° по відношенню до осі труби.

У способі згідно з даним винаходом" подача тепла, яка неминує є різною по колу труби між світлою стороною і темною стороною, вирівнюється в стінці труби і всередині труби, і тепло швидко розсіюється всередину до зони ядра. Це пов'язано із зменшенням ризику місцевого перегріву газу, що переробляється, на стінці труби з утворенням внаслідок коксу піролізу. Крім того, термічне навантаження на матеріал труби є нижче за рахунок вирівнювання температури між світлою стороною і темною стороною, що збільшує термін служби. Нарешті, в способі згідно з даним винаходом температура також робиться більш рівномірною по поперечному перерізу труби, що дає поліпшений вихід олефіну. Причина цього полягає у тому, що без радіального температурного вирівнювання згідно з даним винаходом всередині труби надто глибокий крекінг буде мати місце на гарячій стінці труби, і рекомбінація продуктів крекінга буде мати місце в центрі труби.

Крім того, шар ламінарної течії, що є характеристикою турбулентних потоків, зі значно зниженим теплопереносом утворює у випадку гладкої труби і значною мірою у випадку профілів ребра з внутрішнім колом, що збільшується більше, ніж на 5%, наприклад, на 10%, ребрами. Ламінарні потоки призводять до збільшеного утворення коксу піролізу, точно так само з поганою теплопровідністю. Два шари разом вимагають більшого введення тепла або більш високої потужності пальника. Це збільшує температуру металу труби (ТМТ) і, відповідно, скорочує термін служби.

Даний винахід уникає цього за допомогою того факту, що внутрішній периметр профілю складає більше приблизно найбільше на 5%, наприклад, 4% або навіть 3,5% по відношенню до периметра охоплюючого кола, що торкається заглибин ребер. Однак, внутрішній периметр також може бути меншим на до 2%, ніж охоплююче коло. Іншими словами, відносний периметр профілю відрізняється найбільше на 1,05-0,98% від периметра охоплюючого кола. Відповідно, різниця в площі профілю труби згідно з даним винаходом, тобто її розрахункової внутрішньої площі поверхні по відношенню до гладкої труби, що має діаметр охоплюючої поверхні, становить найбільше від +5% до -2% або 1,05-0,98 разів площі гладкої труби.

Профіль труби згідно з даним винаходом допускає більш низьку щільність труби (кг/м) в порівнянні з оребреною трубою, в якій внутрішній периметр профілю є, щонайменше, на 10% більше периметра охоплюючого кола. Це показано порівнянням між двома трубами з однаковим гідравлічним діаметром і, відповідно, однаковою втратою тиску та однаковим термічним результатом.

Додатковою перевагою периметра профілю згідно з даним винаходом (відносного периметра профілю) по відношенню до периметра охоплюю-

чого кола є більш швидке нагрівання газу, що подається при зниженій температурі металу труби.

Закручений потік згідно з даним винаходом значно знижує ступінь ламінарного шару, крім того, він пов'язаний з вектором швидкості, направленим до центра труби, що знижує час перебування радикалів крекінга і/або продуктів крекінга на гарячій стінці труби і хімічне та каталітичне їх розкладання з утворенням коксу піролізу. Більше того різниці температур між заглибинами ребер і ребрами, які є значними у випадку профільованих зсередини труб з високими ребрами, вирівнюються закрученим потоком згідно з даним винаходом. Це збільшує час між двома необхідними операціями видалення коксу. Без закрученого потоку згідно з винаходом є значна різниця температур між вершинами ребер та основою заглибин ребер. Час перебування продуктів крекінга, які мають тенденцію до коксоутворення, є меншим у випадку труб для крекінг-печі, забезпечених спіралеподібними внутрішніми ребрами. Це залежить від природи ребер в окремих обставинах.

На діаграмі:

Верхня крива показує: профіль 6: нахил 16° .

Середня крива показує: профіль 3: нахил 30° .

Нижня крива показує: профіль 4: 3 ребра з нахилом 30° .

Криві чітко показують, що більш висока колова швидкість профілю 6 з ребрами висотою 4,8мм витрачається у заглибинах ребер, тоді як колова швидкість профілю згідно з даним винаходом з висотою ребер навіть 2мм проникає в ядро потоку. Хоча колова швидкість профілю 4 навіть з 3 ребрами є приблизно такою ж високою, вона не дає ефекту ніякого спіралеподібного прискорення потоку ядра.

Відповідно до кривих, показаних на діаграмі, представлений на Фіг.2, профіль згідно з даним винаходом забезпечує спіралеподібне прискорення у заглибинах ребер (верхня гілка кривої), яке покриває широкі зони поперечного перерізу труби і є тому відповідальним за гомогенізацію температури в трубі. Більш низька колова швидкість на вершинах ребер (нижня гілка кривої), крім того, забезпечує, що турбулентність та протитечія не мають місця.

На Фіг.3 показаний поперечний переріз трьох труб, що випробовуються, включаючи їх дані; труби включають профіль 3 згідно з даним винаходом. Кожна діаграма показує зміну температури по радіусу труби на темній стороні і світлій стороні. Порівняння діаграм показує більш низьку різницю температур між стінкою труби і центром труби і більш низьку температуру газу на стінці труби у випадку профілю 3 згідно з винаходом.

Закручений потік згідно з даним винаходом забезпечує, що коливання внутрішньостінної температури в порівнянні з периферією труби, тобто між світлою стороною і темною стороною, становить менше 12°C , навіть хоча трубчасті зміювки, які звичайно розташовані паралельними рядами, трубної печі нагріваються або діють на горючих газах за допомогою пальників бокової стінки тільки на протилежних сторонах, і тому труби мають кожну світлу сторону, повернену до пальників, і темну

сторону, яка зміщена на 90° по відношенню до неї. Середня температура металу труби, тобто відмінність в температурі металу труби на світлій стороні і темній стороні, призведе до внутрішніх напружень і тому визначає термін служби труб. Тому зниження середньої температури металу труби згідно з даним винаходом з вісьма ребрами з кутом нахилу 30° , внутрішнім діаметром труби 38,8мм і зовнішнім діаметром труби 50,8мм, тобто відмінність у висоті між заглибинами ребер і вершинами ребер становить 2мм 11° в порівнянні з гладкою трубою рівного діаметра, на основі середнього терміну служби 5 років, що можна бачити на діаграмі, представлений на Фіг.4, дає при робочій температурі 1050°C розрахункове збільшення терміну служби приблизно до 8 років.

Розподіл температури між світлою стороною та темною стороною для трьох профілів, показаних на Фіг.3, представлений на діаграмі, показаний на Фіг.5. Більш низький рівень температурної кривої для профілю 3 в порівнянні з гладкою трубою (профіль 0) і значно більш вузький інтервал коливань для кривої профілю 3 в порівнянні з кривою профілю 1 є помітними.

Особливо придатний температурний розподіл встановлюється, якщо ізотерми йдуть у спіралеподібній формі від внутрішньої стінки труби до ядра потоку.

Більш однорідний розподіл температури по поперечному перерізу виходить, зокрема, якщо колова швидкість збільшується до 2-3м і потім залишається постійною по всій довжині труби.

З точки зору досягнення високого виходу олефіну при відносно короткій довжині труби спосіб згідно з даним винаходом повинен працювати таким чином, що фактор гомогенності температури по поперечному перерізу і фактор гомогенності температури, віднесений до гідралічного діаметра, становить більше 1 по відношенню до фактора гомогенності гладкої труби (H_{G0}). У даному контексті фактори гомогенності визначаються таким чином:

$$H_{G0}[-]H_{P0}=\Delta T_0\cdot d\sqrt{\Delta T_x\cdot d_0}$$

Конфігурація потоку згідно з даним винаходом, яка містить ядро потоку і закручений потік, може бути досягнута з оребреною трубою, в якій кут бокової сторони ребер, які є в кожному випадку безперервними по довжині секції труби, тобто зовнішній кут між боковими сторонами ребер і радіусом труби становить $16-25^\circ$, переважно, $19-21^\circ$. Кут бокової сторони цього типу, зокрема, в комбінації з кутом нахилу ребра від 20 до 40° , наприклад, $22,5-32,5^\circ$, забезпечує, що результати у заглибинах ребер не є більш або менш безперервним закрученим потоком, який повертається до заглибин ребер після бокових сторін ребер і призводить до утворення небажаних "вихорів" у заглибинах ребер. Точніше, турбулентність, що утворилася у заглибинах ребер, стає відокремлюваною від сторін ребер і сприймається закрученим потоком. Енергія закручення, що вводиться ребрами, прискорює частинки газу і призводить до більш високої загальної швидкості. Це призводить до зниження температури металу труби і також робить останню більш однорідною, а також робля-

чи температуру і час перебування по поперечному перерізу труби більш однорідними.

Властивості оребреної труби згідно з даним винаходом можна бачити з зображення сегмента труби на Фіг.6 і відповідних характеристичних параметрів:

- Гідрравлічний діаметр D_h в мм $R_i < D_h/2$
- Кут профілю β
- Висота ребра H
- Радіус охоплюючого кола $R_a = R_i + H$ і $D_a = 2 \times R_a$
- Центральний кут α
- Радіус кривизни $R = R_a(\sin \alpha/2 \sin \beta + \sin \alpha)$
- Периметр охоплюючого кола $2\pi R_a$
- Кут в косокутному трикутнику $\gamma = 180 - (\alpha + \beta)$
- Внутрішній радіус $R_i = 2R(\sin \gamma / \sin \alpha) - R$
- Висота ребра $H = R_a - R_i$
- Периметр профілю $U_p = 2 \times$ кількість ребер $\times \pi R / 180 (2\beta + \alpha)$
- Площа поверхні ребра F_R
- Площа охоплюючого кола $F_a = \pi D_a^2 / 4$
- Площа внутрішнього кола $F_i = \pi D_i^2$
- Площа профілю в охоплюючому колі $F_p = F_R \times$ кількість ребер
- Периметр профілю $U_p = (1,05 - 0,98) 2\pi R_a$

Ребра і заглибини ребер, які розташовані між ребрами, можуть бути дзеркально симетричної конструкції в поперечному перерізі і примикати один до одного або можуть утворювати хвильову лінію з однаковими радіусами кривизни в кожному випадку. Кут профілю тоді утворений між дотичними двох радіусів кривизни в точці дотику і радіусом труби. У цьому випадку ребра є відносно пологими; висота ребра і кут профілю узгоджуються один з одним таким чином, що гідрравлічний діаметр профілю з відношення $4 \times$ вільний поперечний переріз/периметр профілю дорівнює або більший внутрішнього кола профілю. Гідрравлічний діаметр

знаходиться тому у внутрішній третині висоти профілю. Отже, висота ребра і кількість ребер збільшується, коли діаметр стає більшим, так що закручений потік підтримується в напрямку і з інтенсивністю, необхідних для дії профілю.

Велика швидкість потоку (Фіг.2), що має місце між ребрами або у заглибинах ребер, забезпечує самоочищувальний ефект, тобто зниження кількості коксу піролізу, який відкладається.

Якщо ребра утворені наплавленням зварюванням або зварюванням з наплавленням з використанням відцентрово відлітої труби, стінка труби між окремими ребрами залишається по суті без зміни, так що заглибини ребер лежать на загальному колі, яке відповідає внутрішньому колу відцентрово відлітої труби.

Випробуваннями показано, що, незалежно від внутрішнього діаметра труб, сумарно 8-12 ребер є достатніми для досягнення конфігурації потоку згідно з даним винаходом.

У випадку оребреної труби згідно з даним винаходом співвідношення відношень коефіцієнтів теплопередачі Q_R/Q_0 і відношень втрат тиску $\Delta P_R/\Delta P_0$ у водному випробуванні, при застосуванні і дотриманні правил подібності і використанні чисел Рейнольдса, даних для суміші нафта/водяний пар, становить, переважно, від 1,4 до 1,5, де R означає оребрену трубу, і 0 означає гладку трубу.

Даними, представленими в таблиці нижче, показана перевага оребреної труби згідно з даним винаходом (профіль 3) в порівнянні з гладкою трубою (профіль 0) і оребреною трубою з 8 паралельними ребрами (профіль 1), у яких радіальна відстань між заглибинами ребер і вершинами ребер становить 4,8мм. Оребрені труби всі мають 8 ребер і однакове охоплююче коло.

Профіль	0	1	2
Температура рідини при 9950мм в центрі, T_m [°C]	843,6	848,1	843,0
Температура рідини при 9950мм на кінці, T_r [°C]	888,9	894	874,8
Температурний інтервал при 9950мм, $\Delta T = T_r - T_m$ [°C]	45,3	45,9	31,8
Фактор гомогенності для гладкої труби H при $H_i = \Delta T_g / \Delta T_k$	1	0,9869281	1,4245283
Гідрравлічний діаметр d_h [m]	0,0380	0,0256	0,0344
Фактор гомогенності, віднесений до гідрравлічного діаметру на основі гладкої труби, $H_{t0}; H_{t0} = \Delta T_0 \cdot d_h / \Delta T_x \cdot d_0$	1	0,8477193	1,3420556
Класифікація H	2	2	1

У даному контексті гідрравлічний діаметр визначається таким чином:

$O_{\text{гідрравл}} = 4 \times$ (вільний поперечний переріз)/внутрішній периметр;

він, переважно, відповідає внутрішньому діаметру порівняльної гладкої труби і тому дає в результаті фактор гомогенності 1,425.

У водному випробуванні оребрена труба згідно з даним винаходом дає теплопередачу (Q_R), яка в 2,56 разів вища, ніж у гладкої труби, з втратою тиску (ΔP_R), яка вища тільки в 1,76 рази.

На Фіг.7 показане порівняння труб трьох різних профілів, включаючи трубу згідно з даним винаходом з 8 ребрами з кутом нахилу в кожному випадку 30° з трубою з гладкою внутрішньою стінкою (гладка труба). Гідрравлічний діаметр, осьова швид-

кість, час перебування і втрата тиску дані для кожного поперечного перерізу.

Використаними вихідними даними були кількісні витрати в працюючій гладкій трубі з внутрішнім діаметром 38мм, який ідентичний гідрравлічному діаметру. З використанням правил подібності (однакові числа Рейнольдса) ці дані були перераховані на теплу воду і використані як основа для випробувань (дивися співвідношення відношень коефіцієнтів теплопередачі і втрат тиску для випробувань з водою і відносний фактор гомогенності для розрахунку з використанням газів).

Різні профілі швидкості є результатом однакових кількісних витрат при різних гідрравлічних діаметрах (зворотна залежність).

Порівняння швидкостей для профілів 2 та 3, які є ідентичними в поперечному перерізі, показує поліпшену швидкість, прискорення і час перебування з трубами згідно з даним винаходом (профіль 3). Для однакового гідралічного діаметра швидкісний компонент в периферійному напрямку, зумовлений закрученням, створеним ребрами, примушує потік відриватися від стінки труби і викликає спіралеподібно зростаючу швидкість по всьому поперечному перерізу.

Направлений спіралеподібний потік вводить тепло від стінки труби в потік і тому розподіляє його більш рівномірно, ніж в звичайному ненаправленому турбулентному потоці (гладка труба, профілі 1 та 2). Те саме застосовно для часу перебування частинок. Спіралеподібний направлений потік розподіляє частинки більш однорідно по поперечному перерізу, тоді як прискорення на бокових сторонах профілю знижує середній час перебування. Більш висока втрата тиску з профілем 3 є результатом окружної швидкості. У разі профілю 1 причиною є значне звуження потоку і втрата тертя на великій внутрішній поверхні профілю.

У залежності від матеріалу оребрені труби згідно з даним винаходом можуть бути одержані, наприклад, з відцентрово відлітої труби за допомогою кінців труби з паралельними в осьовому напрямку ребрами, повернутими по відношенню одне до одного, або за допомогою внутрішнього профілю, одержаного деформуванням відцентрово відлітої труби, наприклад, гарячим куванням, гарячою витяжкою або холодною обробкою за допомогою профілюючого інструмента, наприклад, тягнутого дорна або круглого дорна із зовнішнім профілем, який відповідає внутрішньому профілю труби.

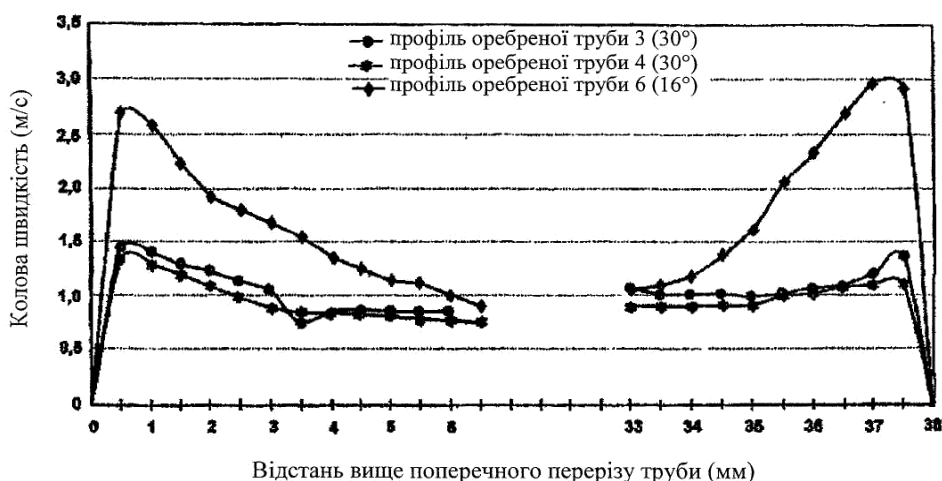
Ряд варіантів різальних машин для внутрішнього профілювання труб є відомим, наприклад, з патенту Німеччини 19523280. Такі машини також підходять для одержання оребрених труб згідно з даним винаходом.

У випадку гарячого формування температура деформування повинна бути встановлена таким чином, щоб мікроструктурні зерна частково руйнувалися в зоні внутрішньої поверхні і, відповідно, перекристалізовувалися на більш пізній стадії під впливом робочої температури. Результатом цього є дрібнозерниста мікроструктура, яка забезпечує швидку дифузію хрому, кремнію і/або алюмінію через аустенітичну матрицю до внутрішньої поверхні труби, де тоді швидко наростає киснезахисний шар.

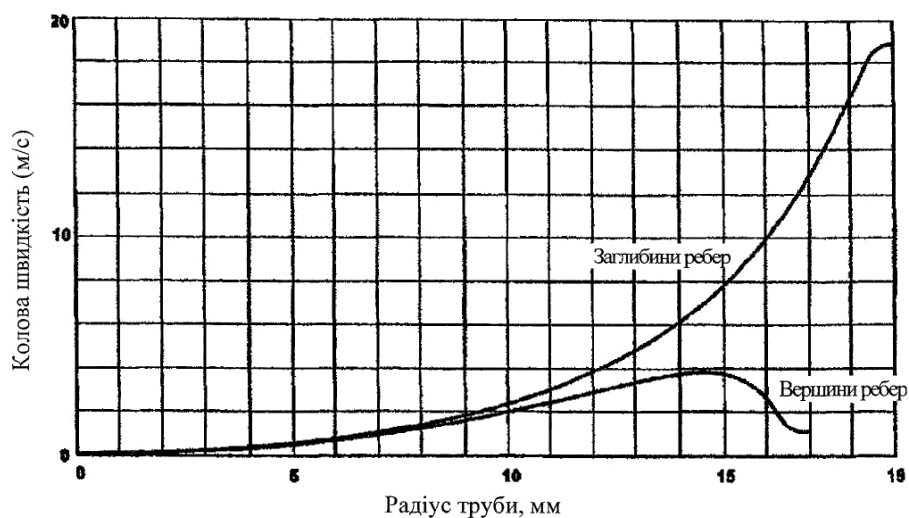
Ребра згідно з даним винаходом також можуть бути одержані наплавленням зварюванням; в цьому випадку неможливо утворити зігнену основу ребра між окремими ребрами, але більшою мірою первинний профіль внутрішньої стінки труби тут фактично зберігається.

Внутрішня поверхня труби згідно з даним винаходом повинна мати наскільки можливо найменшу шорсткість; вона може бути тому зглажена, наприклад, механічно відполірована або електролітично вирівняна.

Відповідними матеріалами труби для використання в установках етилену є залізо і/або нікелеві сплави, що містять 0,1-0,5% вуглецю, 20-35% хрому, 20-70% нікелю, до 3% кремнію, до 1% ніобію, до 5% вольфраму і домішки гафнію, титану, рідкоземельних металів або цирконію, в кожному випадку до 0,5%, і до 6% алюмінію.

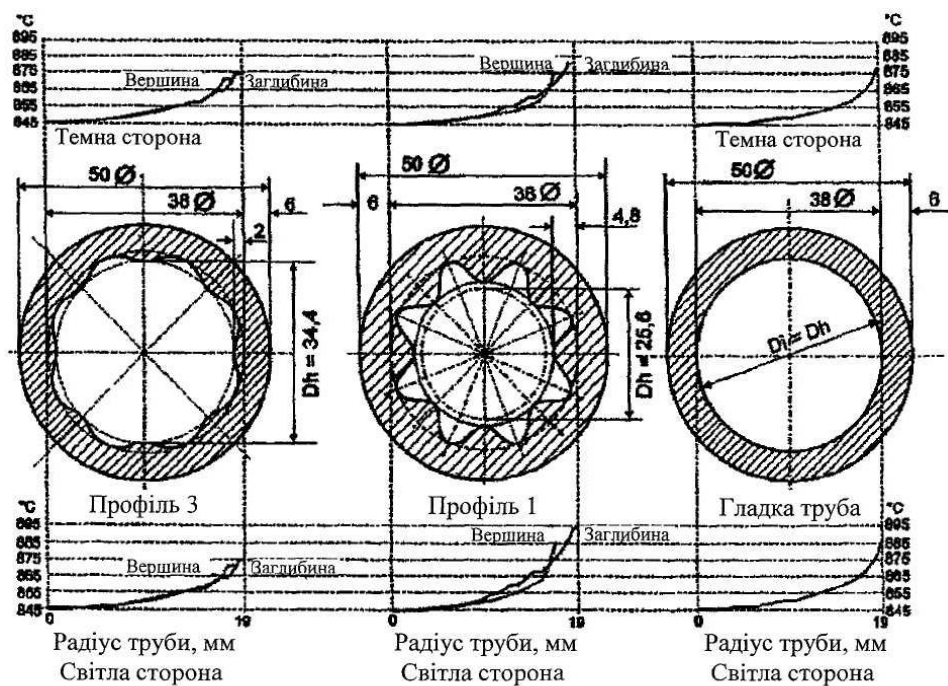


Колові швидкості в профілях з різним нахилом по відношенню до осі труби



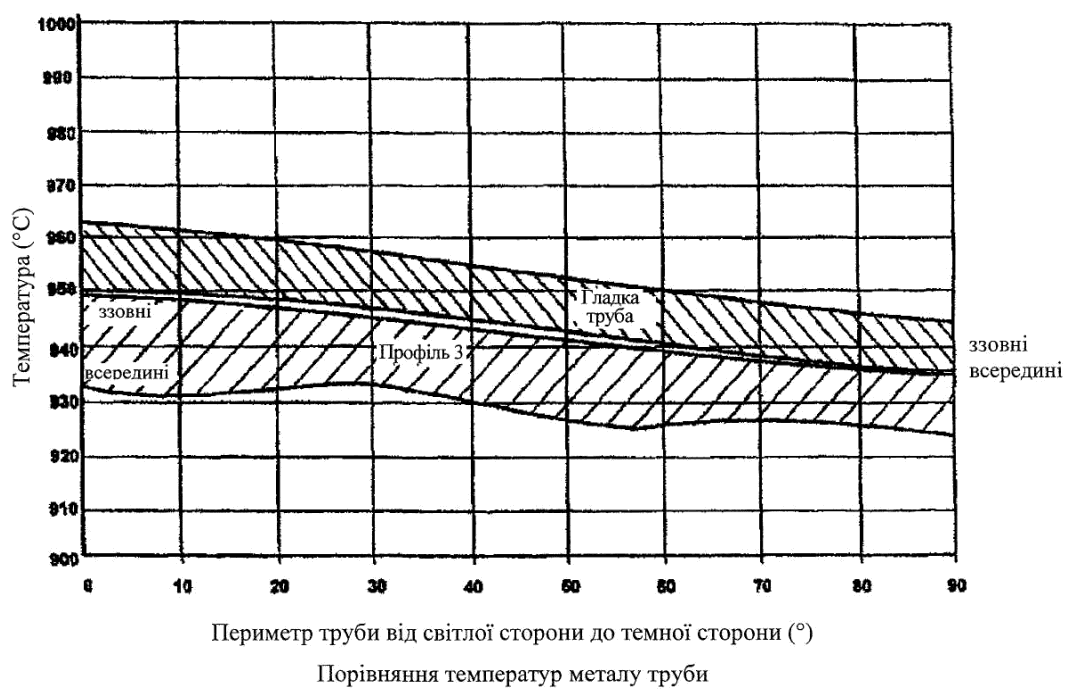
Розподіл колових швидкостей в профілі 3 з кутом нахилу 30° по радіусу
профільної труби

Фіг. 2

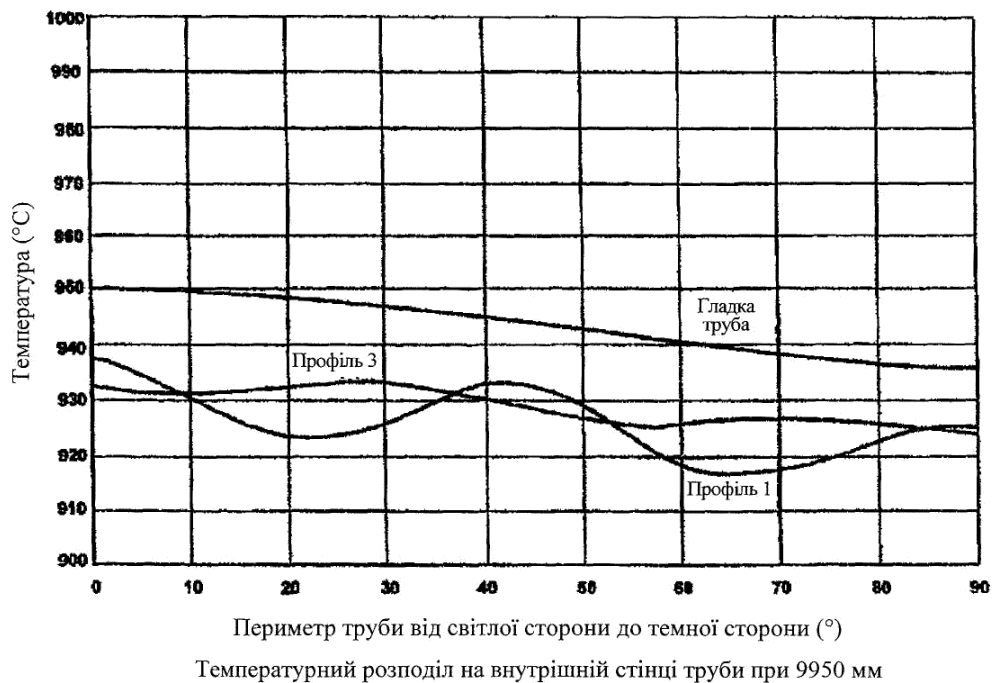


Форми профілю з профілем зміни температури в рідині(нафта)
при 9950 мм, зображені по радіусу в трубі (вершина=вершина
профілю, заглибина=заглибина профілю)

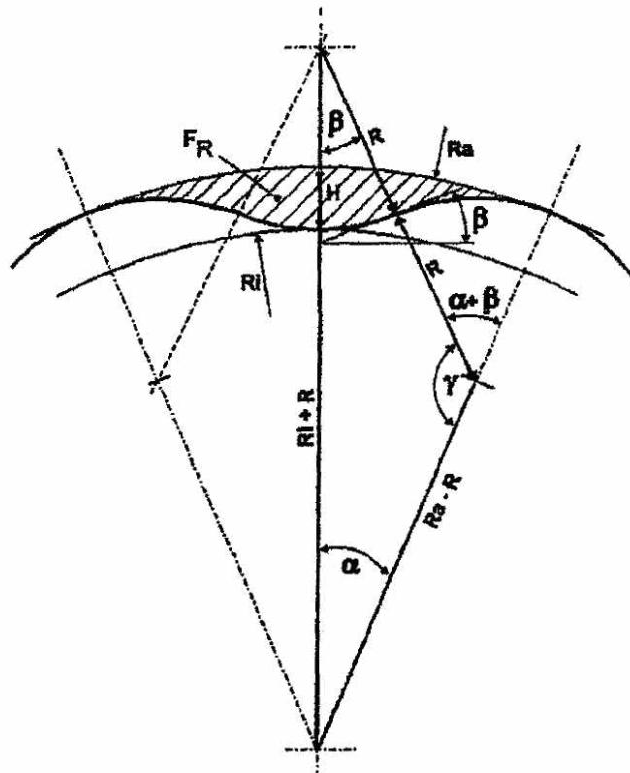
Фіг. 3



Фіг. 4

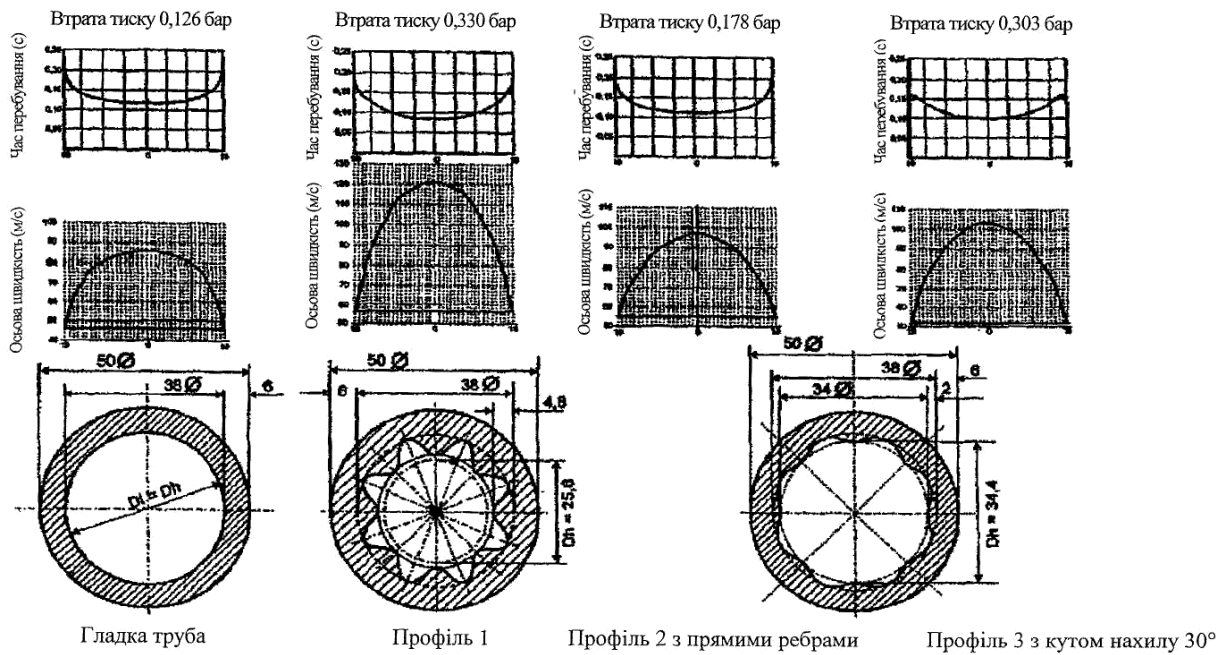


Фіг. 5



Ілюстрація сегмента профілю для математичного визначення кута профілю (β) і радіусів профілю (R)

Фіг. 6



Порівняння швидкостей потоків, часів перебування і втрат тиску для рівної масової витрати після 9950 мм довжини нагрітої труби

Фіг. 7

