

Винахід відноситься до способу випалу карбонато-вмісних матеріалів у шахтній печі з переміщенням під дією гравітації через зону попереднього нагріву, принаймні одну зону випалу і зону охолодження до пристрою розвантаження, при цьому подача палива у зону випалу або прилеглі до неї зони відбувається декількома форсунками для випалу, які проходять крізь стінку шахти, а повітря для горіння подається під надлишковим тиском як охолоджувальне повітря.

Зокрема, при випалюванні дрібнозернистого матеріалу, тобто в якому значна частина матеріалу для випалу має розмір гранул менший 30мм, встає проблема рівномірної подачі до матеріалу необхідної кількості тепла так, щоб кожне зерно було випалене до його центру без спікання разом з іншими зернами внаслідок локального перегріву і без формування твердих мостів у печі. Ця проблема набуває особливого значення, коли необхідні більш високі ступені випалу, які перевищують ступінь випалу продуктів низькотемпературного випалу.

Для рівномірного випалу дрібнозернистого матеріалу, а тому і підвищення якості продукту, найбільш прийнятно використовувати барабанні печі, в яких інтенсивна циркуляція матеріалу забезпечує добру, рівномірну передачу тепла до кожної гранули або частки. Але, недоліком є те, що такі печі мають дуже ускладнену, дорогу конструкцію і відносно високі капітальні витрати додаються до значних експлуатаційних витрат, пов'язаних із значним зносом і високими тепловими втратами через радіаційне випромінювання і з відхідними газами, особливо при використанні підвищених температур, необхідних для високих рівнів випалу або отримання продуктів з іншими якістьми, таких як продукти середньотемпературного і високотемпературного випалів, а також спечених продуктів.

Інший спосіб рівномірної подачі до випалюваного продукту необхідної кількості тепла для випалу включає підмішування до продукту палива, а саме металургійного коксу у печах із змішаним горінням. Але ці печі не є прийнятними для дрібнозернистих матеріалів. Вони також мають недолік в тому, що зола від випалу коксу залишається у повністю випаленому продукті, що знижує його якість, а колір продукту стає зеленим.

Багато-шахтні печі, робота яких базується на методі паралельних регенеративних потоків, який використовують у печах типу MAERZ, забезпечують енергозберігання. У таких печах паливо подають по форсунках для випалу, які занурені у підвішеному стані у матеріал для випалу і які рівномірно розподілені по поперечному перерізу шахти у зоні завантаження матеріалу. Але, ці відомі печі прийнятні тільки для низькотемпературного випалу продуктів.

У патенті US-A-5460517 описано спосіб випалу дрібнозернистого матеріалу шляхом особливого розподілу розміру зерен під час завантаження печі з спеціальною конструкцією шахтних камер.

Якщо до зони випалу шахтної печі подають кількість палива, необхідну для отримання температури для високотемпературного випалу продуктів, то виникають непереборні труднощі відносно рівномірного розподілу температури по поперечному перерізу шахти і, як наслідок, відносно запобігання спікання разом) випалюваного матеріалу внаслідок локального перегріву.

У патенті США US-A-4094629 пропонується зменшити ширину поперечного перерізу шахти за рахунок її кільцевої конструкції і розміщення додаткових отворів для випалу у внутрішніх стінках, які є при такій конструкції. Таким шляхом стає можливим підтримувати рівномірне переміщення донизу матеріалу для випалу під дією гравітації без порушення потоку матеріалу від встановлення у шахті технологічної арматури.

У патенті Великобританії GB-A-1111746 описана арматура у вигляді балкоподібних виступів, наприклад, у вигляді двадцяти форсунок, які охолоджуються рідиною, мають відносно широкий поперечний переріз і, як наслідок, значно зменшують корисний поперечний переріз печі, що підвищує ризик локального блокування гравітаційного переміщення випалюваного матеріалу.

Узагальнений опис різних способів випалу, включаючи вищезгаданий спосіб випалу у регенеративних багатошахтних печах, наведено у книзі "Chemistry and Technology of Lime and Limestone", Robert S. Bynton, second edition, 1987.

Метою винаходу є створення способу вищезгаданого типу, який дає можливість виконувати випал матеріалів, особливо дрібнозернистих, з різним ступенем випалу, аж до перепалу, економічним способом у шахтних печах при забезпеченні достатньо високої якості продукту.

Суть винаходу

У винаході цю проблему вирішують вищезазначеним способом, який відрізняється тим, що паливо подають декількома форсунками для випалу, перемішуваними у шахтній камері перпендикулярно стінці шахти, вибираючи положення їх отворів так, що окремі полум'я, утворені форсунками для випалу, разом утворюють вогнисту зону, яка принаймні приблизно поширюється на весь поперечний переріз шахти.

Так як кожна форсунка для випалу утворює тільки одне полум'я, то у порівнянні з пальником, який має декілька форсунок, вона має обмежений поперечний переріз і, як наслідок, має незначний вплив на течію випалюваного матеріалу. Було знайдено, що форсунки для випалу мають достатню згинальну міцність для протидії тиску гранульованого випалюваного матеріалу, який тече навколо неї. Переважно розмір гранул матеріалу обмежується 70мм.

Так як кожна форсунка для випалу виступає перпендикулярно стінці шахти, це забезпечує, що між форсункою і стінкою не утворюється проміжок, в якому матеріал може накопичуватися. Локальне обмеження поперечного перерізу шахти форсунками для випалу, які виступають в неї, може бути зменшене розташуванням форсунок у декількох одна над другою площинах, в яких форсунки взаємно зміщені по колу шахти так, що необхідна кількість палива, що подається, розподіляється по декількох площинах шахти.

Перелік фігур

Переважні особливості способу, які викладені у незалежних пунктах формули винаходу, стануть більш зрозумілими з наступного опису і доданих креслень, де показано:

Фіг.1 - схематичний осьовий переріз одинарної шахтної печі з форсунками для випалу, які виступають у шахту і знаходяться у трьох площинах, розташованих одна над другою.

Фіг.2 - одинарна шахтна піч на Фіг.1, але з теплообмінними трубками, які розміщені у шахті.

Фіг.3 - радіальний переріз (без масштабу) печі на Фіг.1 або 2 на рівні верхньої площини розташування

форсунок для випалу.

Фіг.4 - радіальний переріз (без масштабу) печі на Фіг.1 або 2 на рівні центральної площини розташування форсунок для випалу.

Фіг.5 - радіальний переріз (без масштабу) печі на Фіг.1 або 2 на рівні нижньої площини розташування форсунок для випалу.

Фіг.6 - графік радіального розподілу температур по відносній ширині поперечного перерізу.

Фіг.7 - 9 - вигляд поперечного перерізу змонтованих у печі шахти форсунок для випалу з порошкоподібним, рідинним і газовим паливом.

Фіг.10 - графік зміни температури по вертикалі шахтної печі на Фіг.1 з подачею палива для низькотемпературного випалу у трьох площинах випалу.

Фіг.11 - графік, який відповідає Фіг.10, але для печі на Фіг.2.

Фіг.12 - графік зміни температури по вертикалі шахтної печі на Фіг.1 з подачею палива для високотемпературного випалу у одній площині випалу.

Фіг.13 - графік, який відповідає Фіг.12, але для печі на Фіг.2.

Фіг.14 - багатошахтна піч, яка працює за регенеративним методом, з підвішеними і поперек розташованими форсунками для випалу.

Фіг.15 - багатошахтна піч, яка працює за регенеративним методом, тільки з поперек розташованими форсунками для випалу.

Фіг.16 - багатошахтна піч, яка працює за регенеративним методом, тільки з поперек розташованими форсунками для випалу і з теплообмінними трубками, розміщеними у верхній шахтній зоні.

Детальний опис переважного втілення

Одиарна шахтна піч 1 (Фіг.1), яка показана у повздовжньому перерізі і є вертикально орієнтованою принаймні у частині довжині, що необхідна для реалізації способу, має шахтну камеру 2 з постійним поперечним перерізом, який, наприклад, може бути круглим, еліптичним або багатокутним. У прикладах на Фіг.2-4 поперечний переріз печі є кільцевим із зовнішньою, сталюю стінкою 3, яка несе на внутрішньому боці принаймні один вогнетривкий футерувальний шар 4 для роботи в умовах високої температури.

Висоту шахтної камери 2 визначають необхідним часом випалу матеріалу, і швидкістю переміщення матеріалу, яку встановлюють розвантажувальним пристроєм 5. Цей необхідний час випалу розподіляється між верхньою зоною 7 попереднього нагріву, яка з'єднана з зоною 6 завантаження, зоною 8 випалу, яка знаходиться нижче, і зоною 9 охолодження, яка простягається до розвантажувального пристрою 5.

Подача газового, рідинного або порошкоподібного палива, переважно, разом з первинним повітрям для горіння, відбувається по форсунках 13 для випалу, які розташовані у одній або декількох площинах 10-12 і які проходять крізь шахтні стінки 3, 4 у шахтну камеру 2.

Завдяки можливості ручного аксіального переміщення форсунок для випалу у випалюваному матеріалі перпендикулярно шахтним стінкам 3, 4, є можливість розміщати отвори 14 форсунок, а тому і полум'я, що виходить з них, симетрично або з урахуванням вимірювань температур, використовуючи зонди, які розміщують у поперечному перерізі шахти, для створення по суті рівномірної температури випалу у площині шахти, про яку йде мова. Таке рівномірне розподілення температури показане, на графіку на Фіг.6 прямою лінією 15. У порівнянні з цим, у випадку розташування отворів 14 на одному рівні від внутрішнього боку шахтної стінки 3, 4, температура зменшується у напрямку до центру шахти у відповідності з кривою 16 і тому має місце різана ступінь випалу продукту. Температура поблизу шахтної стінки буде занадто високою і є небезпека спікання матеріалу разом, а у центрі шахти - занадто низькою і буде нижче температури випалу, яка показана прямою 17. Радіальні положення отворів, які показані на абсцисі графіка, є відносними і не залежать від діаметру шахти. Діаметр шахти може відповідати радіусу 1, хоча можуть бути і більші розміри шахти, наприклад з діаметром 3 або 4 метри.

Внаслідок високої температури у зоні випалу 8 принаймні форсунки 13, які необхідно висувати далеко у шахту 2, мають охолоджуючий кожух 19, який оточує трубку 18 для випалу і має з'єднуючі елементи 20, 21 для проходу охолоджуючої рідини. Для форсунок 13 для випалу з більш низькою термічною напругою може бути використаний термостійкий матеріал для відповідної частини форсунок замість охолоджуючого кожуха. Це зменшує кількість тепла, яке розсіюється через середовище охолодження.

Трубка 18 має з'єднуючий елемент 22 для живлення основним повітрям для горіння. На задньому кінці форсунок 13 знаходиться трубка 23, 24 або 25 для палива, яка проходить по осі форсунок і яка в залежності від типу палива, що використовують, може мати різну конструкцію. У випадку порошкоподібного палива трубка для палива має форму короткої трубки 23 (див. Фіг.7). Для газового і рідинного палива трубка 24 або 25 простягається практично до отвору 14 форсунок 13, щоб змішуватися там з первинним повітрям для горіння, яке проходить по охоплюючому кільцевому каналу 26.

Встановлення форсунок 13 крізь шахтну стінку 3, 4 з можливістю переміщення, але з ущільненням від надлишкового тиску у печі, у кожному випадку забезпечується коробчатим ущільнювачем 28 з сальниковою набивкою, який з'єднаний ззовні з отвором 27 у стінці.

На Фіг.3 - 5 показане різне кутове розміщення форсунок 13 для випалу у трьох площинах, при цьому форсунки 13 однієї площини розміщені з кутовим зміщенням по відношенню до форсунок іншої площини. Внаслідок різних положень введення форсунок 13, які наведені на кресленнях як приклад, у сполученні з розміщенням у різних площинах 10, 11 і 12 випалу, навіть у випадку утворення невеликого полум'я, має місце по суті повне охоплення поперечного перерізу шахти полум'ями, які створені у кожному з отворів 14. Розмір кожного полум'я визначається декількома факторами, а саме, кількістю палива, кількістю первинного і вторинного повітря для горіння і розміром гранул випалюваного матеріалу. Невеликий розмір гранул призводить до більш щільного пакування матеріалу і, як наслідок, до зменшення поширення полум'я. Але, обмеження розміру гранул на рівні переважно менш за 70 мм дає перевагу в тому, що зменшується механічне навантаження на форсунки 13, які виступають у насипний матеріал, що тече, і що має місце невеликий, регульований час випалу, чим запобігається спікання випалюваного матеріалу. Для створення рівномірного

випалу розподіл розмірів гранул повинен бути у межах якомога меншого можливого рівня.

Якщо процес відбувається при розмірі гранул випалюваного матеріалу значно більшому ніж максимальний розмір 70мм, то можуть бути використані спеціальні міри для запобігання перенавантаження форсунок 13 для випалу, які виступають далеко усередину шахтної камери 2. Наприклад, спеціальна форсунка для випалу може утримуватися по принципу рухомої балки з точкою виміру сили за межами стінки 3 і мати пристрій для створення механічних вібрацій, який автоматично включається, якщо перевищується дозволене навантаження на форсунку. Таким шляхом форсунка може бути вивільнена струшуванням, якщо на ній накопичується матеріал. Струшування форсунки також може полегшувати її введення у заповнену шахтну камеру 2.

Подача палива у окремі площини 10, 11 і 12 випалу може знижуватися аж до нуля так, щоб в залежності від бажаного ступеню і часу випалу при відповідних межах температури було можливо отримати відповідне поле розподілу температур у повздовжньому напрямку шахти або у напрямку потоку повітря, яке вводиться знизу.

Це повітря подають під надлишковим тиском принаймні одним (не показаним) вентилятором у зону розвантажувального пристрою 5, наприклад, сконструйованого у вигляді рухомого стола, так, що воно піднімається догори у протитечії до руху маси колони матеріалу, який переміщується донизу під дією гравітації внаслідок гранульованої його структури. У зоні охолодження 9 це повітря, по-перше, слугує як охолоджуюче повітря, а потім у зоні 8 випалу, як, наприклад, вторинне повітря для горіння і, наприкінці, у верхній зоні 7 попереднього нагріву печі для попереднього нагріву випалюваного матеріалу. У відповідності з переважним втіленням винаходу це повітря використовують для попереднього нагріву первинного повітря для горіння, яке тече до форсунок 13 у теплообмінних трубах 29, розташованих у підвішеному стані.

Розташування форсунок 13 для випалу або їх отворів 14 розподіленням їх по поперечному перерізу шахти дає можливість по новому керувати процесом з особливо високими температурами полум'я на рівні 1800°C і з невеликим часом випалу, без співання, тобто утворення агломератів, що в іншому випадку при таких температурах має місце, а завдяки цьому є можливість досягти високої якості випалу у вертикальній шахтній печі з газовим, рідинним і порошкоподібним паливом.

На графіках (Фіг.10-13) для відповідного часу випалу показані криві зміни температури по довжині шахтної печі для випалу вапна ( $\text{CaCO}_3$ ), які отримані при різних варіантах керування подачею палива у поєднанні з подачею відповідного первинного повітря по форсунках 13 і вторинного повітря для горіння, яке подається у протитечії. Температура випалюваного матеріалу показана безперервною лінією 30, а температура газу для випалу, який утворений як результат горіння і охолодження або вторинного повітря для горіння, показана перервною лінією 31.

Для виробництва продуктів низькотемпературного випалу у відповідності з кривими на Фіг.10 і 11 подача палива відбувається періодично по форсункам 13, які розташовані у трьох площинах 10-12 горіння, при цьому використовують значно меншу кількість палива ніж для виробництва продуктів високотемпературного випалу так, щоб температури полум'я відповідали трьом температурним пікам 32-34, які складають приблизно 1200°C у першій площині горіння і приблизно 1400°C - у третій площині горіння. Випалюваний матеріал, який переміщується зверху до низу, у першій зоні випалу 30 спочатку контактує з газом при температурі 1200°C, а у наступних площинах з більш гарячим газом при максимальній температурі приблизно 1400°C. Так як газ для випалу піднімається догори у протитечії з гранульованим матеріалом, останній буде попередньо нагрітий до приблизно 1000°C при досягненні першої площини випалу, а у третій площині випалу досягне температури приблизно 1200°C. Внаслідок подачі необхідної кількості палива, розподіленого по трьох площинах 10, 11, 12 випалу, зона 8 вирлу має відповідно довшу протяжність у повздовжньому напрямку шахти і відповідно буде більш довгий час випалу матеріалу у зоні 8.

Високотемпературний випал вапна, який на теперішній час можливий у шахтних печах, за виключенням печей змішаного горіння, має місце, у відповідності з графіком на Фіг.12, при подачі палива і подачі первинного повітря для горіння у одну площину 12 при температурі полум'я приблизно 1800°C. Випалюваний матеріал має розмір гранул 5-70мм. Результируюча температура високотемпературного випалу складає приблизно 1400°C і несподівано не призводить до спікання разом гранул випалюваного матеріалу з утворенням крупних агломератів і подібних до мосту утворень. Це відбувається завдяки короткому часу випалу (перебування) при максимальній температурі у відповідності з пікоподібною конфігурацією температурної кривої 31 для випалюваного матеріалу на графіку Фіг.12. Такий характер температурної кривої є наслідком не використання додаткові площини випалу, а також відповідно більш короткої довжини зони 8 випалу у повздовжньому напрямку шахти.

В конструкції одинарної шахтної печі 1 (Фіг.1) газу для випалу, які охолоджуються у зоні 7 попереднього нагріву, залишають піч при температурі приблизно 330°C, тобто мають місце великі теплові втрати. Завдяки великій кількості пилу у потоці газу, що виходить, регенерація у наступних теплообмінниках буде швидко призводити до утворення відкладень, які заважають теплопередачі. У переважному вдосконаленому втіленні винаходу на Фіг.2 частина теплової енергії випалюючих газів утилізується для нагріву первинного газу, який подається до форсунок 13 по лінії 39. Такий нагрів має місце усередині печі 1', де повітря для горіння проходить по трубах 36 теплообмінника, які занурені у матеріал для випалу в зоні 7 попереднього нагріву у вертикально підвішеному стані і розміщені по периферії шахти 2 або рівномірно по поперечному перерізу шахти, маючи ділянки 37, 38 для доставки і звороту. Розміщення труб 36 теплообмінника у печі 1' у прямому контакті з випалюваним матеріалом і з газами для випалювання призводить до хорошої теплопередачі, конвенції і теплорадіації. Крім того, теплообмінні поверхні труб 36 автоматично очищуються випалюваним матеріалом, який переміщується вздовж них під дією гравітації. Внаслідок цього стає можливою економія теплової енергії приблизно на 7-10% при температурі відхідного газу 190°C, замість приблизно 330°C, у порівнянні з піччю без будь-якого попереднього нагріву повітря для горіння.

На Фіг.11 і 13 показані графіки зміни температур по висоті шахти при додатковому теплообміні у трубах 36.

На Фіг.14-16 показані подвійні шахтні печі 40, 40' і 40'', які працюють з використанням регенеративного

методу, як у відомих печах типу MAERZ.

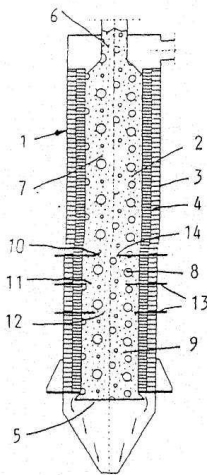
В цьому випадку обидві шахти 41 і 42 з'єднані у поперечному напрямку одна з другою у зоні 43 нижче зони випалу, і від зони 45 розвантаження матеріалу охолоджуюче повітря постійно подається протитечією, а від зони 46 завантаження матеріалу повітря для горіння подають паралельним потоком періодично до однієї або до другої з шахт 41, 42, і одночасно відпрацьовані гази виходять з печей 40, 40', 40" крізь зону попереднього нагріву суміжної шахти 42 або 41. При таких умовах рух потоків у печі має місце у інтервалах часу, наприклад, 10-15хв. На Фіг.14-16 напрямки потоків у робочому режимі показані стрілками, де повітря для горіння подається по лінії 47 до шахти 41, а газ відводиться від другої шахти 42 по лінії 48. Використовуючи такий самий принцип, можливо керувати більш як двома паралельними шахтами 41, 42 з перемінним режимом.

На відміну від печі з паралельними потоками регенерації, відомої як піч типу MAERZ, в якій паливо відповідно до робочих інтервалів поперемінно подають тільки до однієї або іншої шахти потоком, паралельним до потоку матеріалу для випалу, паливо подається одночасно до обох шахт 41, 42 так, що у одній з шахт гази для випалу направляються паралельно потоку матеріалу для випалу, а в іншій шахті гази для випалу подаються у протитечі з потоком матеріалу. Подача всього необхідного палива розподіляється по форсункам для випалу, які розміщені на обох шахтах 41, 42. На відміну від випадку роботи при паралельних потоках у одинарній шахті 41 або 42, у іншій шахті 42 або 41 випалювання має місце з повітрям для горіння, яке попередньо нагрівається у охолоджуючій зоні 49, внаслідок чого зменшується кількості відпрацьованого газу і відповідно покращується енергетичний баланс. У порівнянні з печами з паралельним потоком (регенеративні печі типу MAERZ) при випалі вапняного каміння зменшення відпрацьованих газів може складати до 25%. Це призводить до підвищення концентрації  $\text{CO}_2$ , і відпрацьований газ може переважно бути використаний для хімічних процесів, які потребують газу з високим вмістом корбондіоксиду.

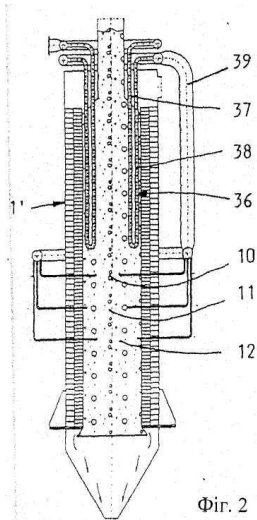
У випадку подвійної шахтної печі на Фіг.14 додатково до форсунок 51 для випалу, які занурені зверху у випалюваний матеріал 50, поблизу зони 43 передачі поперечно у випалюваний матеріал 50 введені форсунки 52 для випалу. Після переходу на режим випалу, послідовно, у тій самій шахті замість підвішених форсунок 51 вводяться в дію поперечно введені трубки 52, і одночасно переходять у зворотній режим роботи форсунки 52, 51 у другій шахті. Напрямок утворення окремого полум'я у отворах форсунок 51 і 52 по відношенню до шахти можна бачити з показаних полум'їв 53 і 54. Також можна бачити, що поперечні форсунки 52 шахти 41 виключені під час роботи форсунок 51, підвішених у шахті 41, тоді як у другій шахті 42 форсунки 52 включені.

На Фіг.15 показана подвійна шахтна піч, в якій в обох шахтах 41, 42 є тільки поперечно розташовані форсунки 55. Подвійна шахтна піч на Фіг.16 має додатково теплообмінні труби 58, які для нагріву первинного повітря для горіння розташовані у підвішеному стані у зоні 56 попереднього нагріву, як це було описано вище для одинарної шахтної печі на Фіг.2.

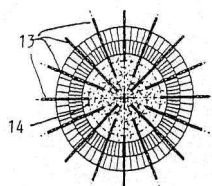
При одночасній подачі палива у другу шахту у протитечі по форсунках 52, 55, які введені у випалюваний матеріал, у випадку хорошої тепловіддачі для виробництва продуктів середньо і високотемпературного випалу по суті відомий регенеративний спосіб стає також переважно прийнятним.



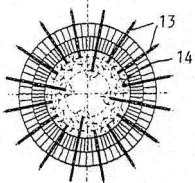
Фіг. 1



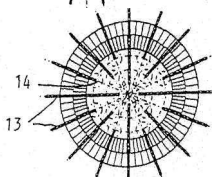
Фиг. 2



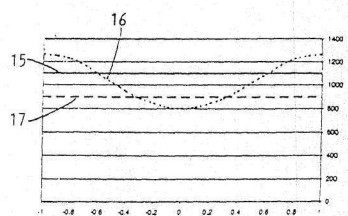
Фиг. 3



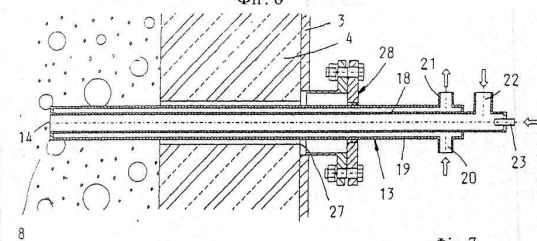
Фиг. 4



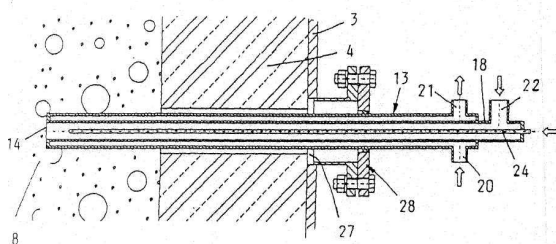
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

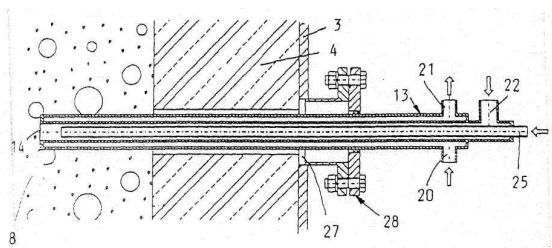


Fig. 9

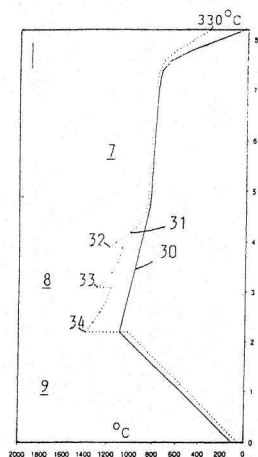


Fig. 10

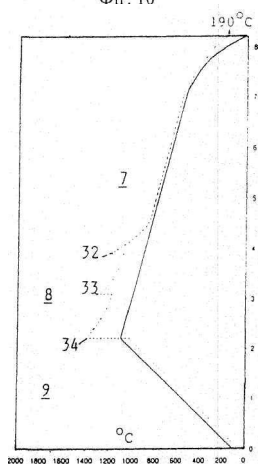


Fig. 11

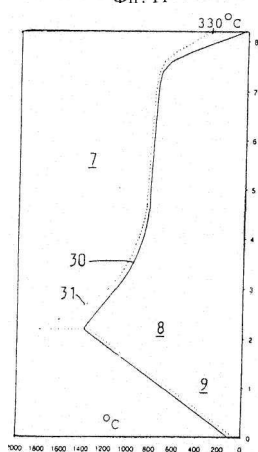


Fig. 12

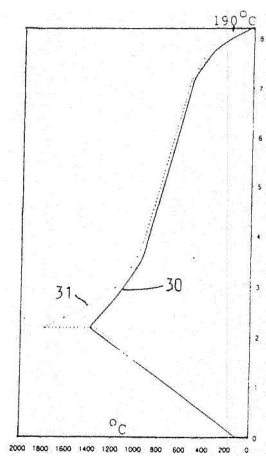


Fig. 13

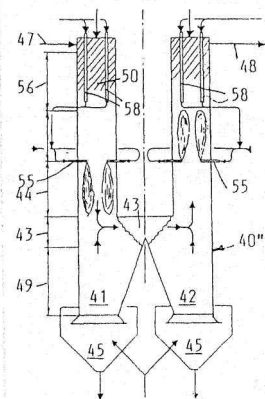


Fig. 14

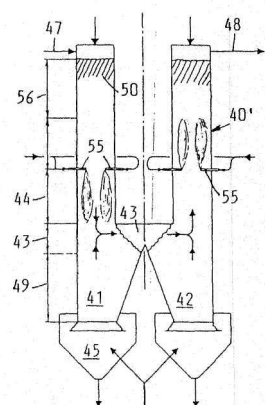


Fig. 15

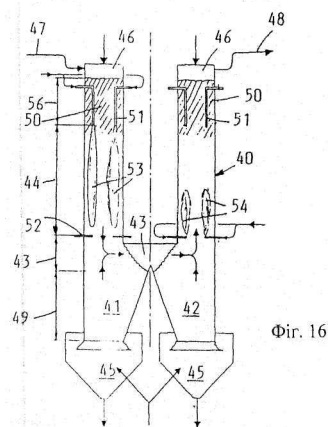


Fig. 16