



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 81284

(13) C2

(51) МПК (2006)

B01J 8/00

B01J 8/18

C04B 11/028 (2006.01)

F27B 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ТА УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ В ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

1

2

(21) а200507304

(22) 10.12.2003

(24) 25.12.2007

(86) РСТ/ЕР2003/013982, 10.12.2003

(31) 102 60 741.9

(32) 23.12.2002

(33) DE

(72) НЮБЕР ДІРК, СТОКХАУЗЕН ВЕРНЕР,
ШТРЬОДЕР МІХАЕЛЬ

(73) ОУТОКУМПУ ТЕКНОЛОДЖІ ОЙ

(56) ЕР, 0630683, А1, 28.12.1994
US, 4817563, 04.04.1989

US, 6015539, А, 18.01.2000

(57) 1. Спосіб термічної обробки дрібнозернистих твердих матеріалів, у якому дрібнозернисті тверді матеріали нагрівають до температури від 50 до 1000 °С в реакторі із псевдозрідженим шаром (1) за допомогою двох потоків газів, який **відрізняється** тим, що перший газ або газову суміш вводять знизу через розташовану, краще, по центру газопідвідну трубу (3) у змішувальний простір (21) реактора (1), причому газопідвідна труба (3) принаймні частково оточена стаціонарним кільцевим псевдозрідженим шаром (2), який зріджують підвідним зріджувальним газом, і тим, що об'ємні швидкості першого газу або газової суміші, а також зріджувального газу для кільцевого псевдозрідженого шару (2) регулюють таким чином, щоб число Фруда для частинок у газопідвідній трубі було в межах від 1 до 100, у кільцевому псевдозрідженому шарі - від 0,02 до 2, і у змішувальному просторі - від 0,3 до 30.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що число Фруда для частинок у газопідвідній трубі (3) лежить у межах від 1,15 до 20.

3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що число Фруда для частинок у кільцевому псевдозрідженому шарі (2) лежить у межах від 0,115 до 1,15.

4. Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що число Фруда для частинок у змішувальному просторі (2) лежить у межах від 0,37 до 3,7.

5. Спосіб за будь-яким з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що висоту шару твердого матеріалу в реакторі (1) регулюють таким чином, щоб кільцевий псевдозріджений шар (2) виступав за межі верхнього відкритого кінця газопідвідної труби (3), і щоб твердий матеріал безперервно вводили в перший газ або газову суміш і захоплювали газовим потоком у змішувальний простір (21), розташований над зоною отвору газопідвідної труби (3).

6. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що як сировину подають дрібнозернистий твердий матеріал, наприклад вологий гіпс, з розміром зерна менше 2 мм, краще менше 0,2 мм.

7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що в реактор (1) по трубопроводу (3) подають гарячий газ, який генерують в розташованій раніше по ходу процесу камері згоряння (26) шляхом спалювання палива, яке подають, можливо, з домішаним до нього кисневмісним газом.

8. Спосіб за будь-яким з пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що твердий матеріал нагрівають в реакторі (1) до температури від 150 до 1000 °С.

9. Спосіб за будь-яким з пп. 1-8, який **відрізняється** тим, що як зріджувальний газ в реактор (1) подають повітря.

10. Спосіб за будь-яким з пп. 1-9, який **відрізняється** тим, що тиск в реакторі (1) лежить у межах від 0,8 до 10 бар.

11. Спосіб за будь-яким з пп. 1-10, який **відрізняється** тим, що перед термічною обробкою в реакторі (1) твердий матеріал суспендують, сушать та/або підігрівають на щонайменше одній стадії попереднього нагрівання (32, 33), що включає теплообмінник (6, 10) і розташований після нього по ходу процесу сепаратор (8, 12).

12. Спосіб за будь-яким з пп. 1-11, який **відрізняється** тим, що після термічної обробки в реакторі (1) продукт із кільцевого псевдозрідженого шару (2) реактора (1) та/або сепаратора (5), встановленого по ходу процесу

(13) C2

(11) 81284

(19) UA

після реактора (1), принаймні частково подають в систему охолодження (34), що включає компонування ряду послідовно з'єднаних одна з одною стадій охолодження (35, 19).

13. Спосіб за п. 12, який **відрізняється** тим, що на стадії охолодження (19) продукт утворює щонайменше один псевдозріджений шар, у якому його охолоджують зріджувальним газом, зокрема повітрям, та/або поміщеним у псевдозріджений шар охолодним змійовиком (24, 31) з охолодним середовищем, зокрема з водою.

14. Спосіб за п. 12 або 13, який **відрізняється** тим, що газ, який нагрівають на стадії охолодження (19, 17), подають на розташовану раніше по ходу процесу стадію охолодження (17), в реактор (1), камеру згоряння (26) та/або на стадію попереднього нагрівання (32).

15. Установка для термічної обробки дрібнозернистих твердих матеріалів відповідно до способу за будь-яким з пп. 1-14, що включає реактор (1), який є реактором із псевдозрідженим шаром для термічної обробки, яка **відрізняється** тим, що реактор (1) має газопідвідну систему, влаштовану таким чином, що газ, який протікає через цю газопідвідну систему, захоплює твердий матеріал зі стаціонарного кільцевого псевдозрідженого шару (2), що принаймні частково охоплює газопідвідну систему, у змішувальний простір (21), а по ходу процесу реактора (1) є сепаратор (5) для відокремлення твердого матеріалу, і сепаратор має трубопровід для твердих матеріалів (6), який веде до кільцевого псевдозрідженого шару (2) реактора (1) для регулювання рециркуляції твердого матеріалу.

16. Установка за п. 15, яка **відрізняється** тим, що газопідвідна система включає газопідвідну трубу (3), яка виступає від нижньої зони реактора (1) по суті вертикально угору в змішувальний простір (21)

реактора (1), причому газопідвідна труба (3) оточена простором, який принаймні частково охоплює газопідвідну трубу та у якому утворюється стаціонарний кільцевий псевдозріджений шар (2).

17. Установка за п. 15 або 16, яка **відрізняється** тим, що газопідвідна труба (3) розташована приблизно по центру у площині поперечного перерізу реактора (1).

18. Установка за будь-яким з пп. 15-17, яка **відрізняється** тим, що сепаратор (5) має трубопровід для твердих матеріалів (15), який веде до системи охолодження (34).

19. Установка за будь-яким з пп. 15-18, яка **відрізняється** тим, що є трубопровід для твердих матеріалів (14), який йде від кільцевого псевдозрідженого шару (2) реактора (1) до системи охолодження (34).

20. Установка за будь-яким з пп. 15-19, яка **відрізняється** тим, що в кільцевому просторі реактора (1) є газорозподільник (36), що розділяє простір на верхній кільцевий псевдозріджений шар і нижній газорозподільник (36), і тим, що газорозподільник (36) з'єднаний із підвідним трубопроводом (37, 27) з метою зрідження газу.

21. Установка за будь-яким з пп. 15-20, яка **відрізняється** тим, що перед, по ходу процесу, реактором (1) є камера згоряння (26) із підвідними трубопроводами (42, 28, 25) для палива, кисню та/або нагрітого газу, відхідний газ яких пропускають в газопідвідну трубу (3).

22. Установка за будь-яким з пп. 15-21, яка **відрізняється** тим, що після, по ходу процесу, реактора (1) є система охолодження (34), що включає стадії прямого та/або непрямого **охолодження** (35, 19), зокрема, охолодні цикли та/або холодильники із псевдозрідженим шаром.

Даний винахід стосується способу термічної обробки дрібнозернистих твердих матеріалів, зокрема, гіпсу, у якому дрібнозернисті тверді матеріали нагрівають до температури від 50 до 1000°C в реакторі із псевдозрідженим шаром, та відповідної установки.

Такі способи та установки використовуються, наприклад, при випалюванні гіпсу з метою одержання безводного ангідриду. Раніше для цієї мети як повітророзподільники використовували псевдозріджені шари Вентурі або псевдозріджені шари з керамічним перфорованим днищем. Однак це допускає лише невеликий діапазон регулювання. У випадку роботи із частковим завантаженням та у випадку зупинки роботи установки існує також небезпека того, що, незважаючи на складну, механічну будову перфорованого днища, дрібнозернисті тверді матеріали будуть просипатися через ґрати.

Відомо, що для термічної обробки твердих матеріалів звичайно використовуються реактори як зі стаціонарним псевдозрідженим шаром, так і з циркулюючим псевдозрідженим шаром. Однак використання енергії на стадії випалу, що

досягається при застосуванні стаціонарного псевдозрідженого шару, має потребу в поліпшенні. Конкретною причиною цього є те, що через відносно низький ступінь зрідження масо- і теплопередача є досить помірними. Крім того, попереднє нагрівання твердих матеріалів навряд чи може бути здійснене у суспензійному теплообміннику, оскільки гази, що містять пил, є майже непридатними для зріджувальних сопел стаціонарного псевдозрідженого шару. З іншого боку, завдяки високому ступеню зрідження циркулюючі псевдозріджені шари мають кращі умови для масо- і теплопередачі та дозволяють використовувати суспензійний теплообмінник, однак мають обмеження в тому, що стосується часу утримання твердих матеріалів через відносно високий ступінь зрідження.

Таким чином, метою даного винаходу є поліпшення умов тепло- і масопереносу при термічній обробці дрібнозернистих матеріалів.

Відповідно до винаходу, ця мета досягається шляхом використання згаданого вище способу, у якому перший газ або газову суміш вводять знизу через розташовану, краще, по центру газопідвідну

трубу (центральну трубу) у змішувальний простір реактора, причому центральна труба, принаймні, частково оточена стаціонарним кільцевим псевдозрідженим шаром, який зріджується підвідним зріджувальним газом і у якому об'ємні швидкості першого газу або газової суміші, а також зріджувального газу для кільцевого псевдозрідженого шару регулюють таким чином, щоб число Фруда для частинок у центральній трубці було в межах від 1 до 100, у кільцевому псевдозрідженому шарі - від 0,02 до 2, і у змішувальному просторі - від 0,3 до 30.

Властиві способу за винаходом переваги стаціонарного псевдозрідженого шару, такі як досить великий час утримання твердих матеріалів, і переваги циркулюючого псевдозрідженого шару, такі як гарна масо- і теплопередача, можуть бути, несподівано, об'єднані в процесі термічної обробки при одночасному усуненні недоліків обох систем. При проходженні через верхню зону центральної труби перший газ або газова суміш захоплює тверді матеріали з кільцевого стаціонарного псевдозрідженого шару, далі названого кільцевим псевдозрідженим шаром, у змішувальний простір, в результаті чого, завдяки великій швидкості ковзання між твердими матеріалами та першим газом, утворюється інтенсивно перемішувана суспензія і між двома фазами виникає оптимальний тепло- і масоперенос. Регулюючи відповідним чином висоту шару в кільцевому псевдозрідженому шарі, а також об'ємні швидкості першого газу або газової суміші та зріджувального газу, можна в широких межах варіювати вміст твердих матеріалів у суспензії над зоною отвору центральної труби, завдяки чому падіння тиску першого газу між зоною отвору центральної труби та розташованим угорі виходом змішувального простору може становити від 1 до 100 мбар. У випадку високого вмісту твердого матеріалу в суспензії в змішувальному просторі більша частина твердого матеріалу буде осаджуватися із суспензії та повертатися в кільцевий псевдозріджений шар. Таку рециркуляцію називають внутрішньою рециркуляцією твердих матеріалів, причому потік твердого матеріалу, що циркулює в цій внутрішній рециркуляції, як правило, значно перевищує кількість твердого матеріалу, що подається в реактор ззовні. Неосілий твердий матеріал (менша частина) виводиться зі змішувального простору разом з першим газом або газовою сумішшю. Час утримання твердого матеріалу в реакторі може варіюватися в широких межах шляхом добору висоти та площі поперечного перерізу кільцевого псевдозрідженого шару та бути адаптованим для бажаної термічної обробки. Завдяки високому вмісту твердих матеріалів, з одного боку, і гарному суспендуванню твердих матеріалів у газовому потоці, з іншого боку, створюються чудові умови для гарного масо- і теплопереносу над зоною отвору центральної труби. Твердий матеріал, що захоплюється з реактора газовим потоком, повністю або частково рециркулює в реактор, причому рециркуляцію доцільно подавати в стаціонарний псевдозріджений шар. Потік твердого матеріалу, що рециркулює у такий спосіб

в стаціонарний псевдозріджений шар, звичайно має той же порядок величини, що й потік твердого матеріалу, який подається в реактор ззовні. Поряд із чудовим використанням енергії спосіб відповідно до винаходу має ще одну перевагу, яка полягає в можливості швидкого, легкого та надійного підстроювання перенесення енергії способу та перенесення маси до вимог, що висуваються, шляхом зміни швидкостей першого газу або газової суміші та зріджувального газу.

З метою забезпечення особливо ефективного теплопереносу в змішувальному просторі та достатнього часу утримання в реакторі об'ємні швидкості першої газової суміші та зріджувального газу, краще, регулюють для псевдозрідженого шару таким чином, щоб безрозмірне число Фруда для частинок (Fr_p) у центральній трубці було в межах від 1,15 до 20, у кільцевому псевдозрідженому шарі - від 0,115 до 1,15, та/або в змішувальному просторі - від 0,37 до 3,7, краще, приблизно 1,4. Кожне із чисел Фруда для частинок визначається таким рівнянням:

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} \times d_p \times g}}$$

де:

u = ефективна швидкість газового потоку, м/с

ρ_s = густина твердої частинки, кг/м³ (уявна густина)

ρ_f = ефективна густина зріджувального газу, кг/м³

d_p = середній діаметр (в м) частинок, що містяться в реакторі (або вторинних агломератів, що утворюються) під час роботи реактора

g = гравітаційна стала, м/с².

При використанні цього рівняння слід враховувати, що d_p позначає не середній діаметр (d_{50}) використовуваного матеріалу, а середній діаметр вмісту реактора, що утворився при роботі реактора, який може значно відрізнятись в обидва боки від середнього діаметра використовуваного матеріалу (первинних частинок). Можливе також утворення, наприклад, у процесі термічної обробки, з дуже тонко гранульованого матеріалу із середнім діаметром від 3 до 10 мкм частинок (вторинних частинок) із середнім діаметром, наприклад, від 20 до 30 мкм. З іншого боку, деякі матеріали, наприклад, деякі руди, при термічній обробці розтріскуються.

В одному з варіантів втілення винаходу пропонується відрегулювати висоту шару твердого матеріалу в реакторі таким чином, щоб кільцевий псевдозріджений шар, принаймні, частково виступав, наприклад, за межі верхнього відкритого кінця центральної труби на кілька сантиметрів, завдяки чому твердий матеріал міг би безперервно вводиться в перший газ або газову суміш і захоплюватися газовим потоком у змішувальний простір, розташований над зоною отвору центральної труби. Таким шляхом досягається особливо високий вміст твердого матеріалу в суспензії над зоною отвору центральної труби.

За допомогою способу відповідно до винаходу, зокрема, вологий гіпс, такий, наприклад, як гіпс REA, може бути підданий ефективній термічній обробці з метою, зокрема, одержання безводних форм гіпсу. Спосіб особливо придатний для виробництва ангідриду з використанням випалювання. Використовуваний вологий гіпс має в цьому випадку тонку грануляцію: розмір зерна, принаймні, більшої частини твердого матеріалу звичайно становить менше 2мм. Особливо ефективної термічної обробки можна досягти у випадку розміру зерна менше 0,2мм. Інші можливості застосування способу полягають в попередньому нагріванні та/або випалюванні руд та мінеральної сировини в окисній атмосфері при температурах максимально до приблизно 1000°C, якщо виключити внутрішнє згоряння, і у випалюванні глинистих мінералів при приблизно 800°C. При температурах до приблизно 750°C спосіб відповідно до винаходу може бути також використаний для виробництва проміжних гідратів та оксидів з гідроксиду алюмінію.

Виробництво тепла в необхідному для роботи реактора обсязі може бути забезпечено будь-яким способом, відомим фахівцям в даній області, наприклад, шляхом створення в реакторі внутрішнього згоряння. З метою забезпечення можливості використання способу відповідно до винаходу, так само як для попереднього нагрівання та випалювання при температурах, наприклад, близько 750°C, при яких внутрішнє згоряння палива в самому реакторі неможливо, винахід пропонує використання зовнішньої камери згоряння для вироблення необхідного для процесу тепла та перенесення тепла до оброблюваного матеріалу (наприклад, гіпсу) в реакторі за допомогою кільцевого псевдозрідженого шару. Для цієї мети в реактор через центральну трубу подають гарячий газ, що генерується в розташованій раніше по ходу процесу камері згоряння в результаті спалювання газоподібного, рідкого та/або твердого палива, можливо, з домішаним кисневмісним газом. Залежно від необхідного вмісту кисню може домішуватися повітря або який-небудь інший кисневмісний газ з вмістом кисню, наприклад, від 15 до 30%. Зрозуміло, існує також можливість генерувати тільки частину потрібної енергії шляхом спалювання свіжого палива та заповнювати іншу частину подачею гарячих відхідних газів, що не містять палива, з якої-небудь стадії, розташованої далі по ходу процесу, наприклад, зі стадії охолодження, або від інших процесів, що проводяться паралельно. Якщо температури відхідних газів з наступної або паралельної стадії процесу є досить високими, саме ці відхідні гази можуть бути також використані для обігріву реактора. Це, зокрема, можливо завжди, коли не потрібно високих температур в реакторі, наприклад, у випадку сушіння. У цьому випадку існує також можливість цілком обходитися внутрішнім згорянням або камерою згоряння, розташованою по ходу процесу перед реактором.

Залежно від того, який процес відбувається в реакторі, температура процесу може лежати в межах від 50 до 1000°C. У нижньому

температурному діапазоні від 50°C, краще, від приблизно 80°C, реактор з кільцевим псевдозрідженим шаром може бути використаний тільки для сушіння матеріалу. У цьому випадку температури не повинні перевищувати верхньої межі, починаючи з якої термічно оброблюваний матеріал зазнає хімічної реакції. У загальному форматі способу у випадку, наприклад, прожарювання використовується температурний діапазон від 150 до 1000°C.

Як газ, що зріджує кільцевий псевдозріджений шар, в реактор, краще, подають повітря, хоча для цієї мети, зрозуміло, можна використовувати всі інші відомі фахівцям застосовні для цієї мети гази або газові суміші. Може також виявитися доцільним здійснювати стиснення знепиленого та/або нагрітого відхідного газу з наступних по ходу процесу стадій або від інших процесів, що проводяться паралельно, завдяки чому цей газ може бути використаний як зріджувальний газ для кільцевого псевдозрідженого шару.

Було встановлено, що кращий для роботи реактора тиск становить від 0,8 до 10бар, а особливо кращою є робота при атмосферному тиску.

Перед реактором (по ходу процесу) може бути одна або більше стадій попереднього нагрівання, на яких тверді матеріали, наприклад, вологий гіпс, суспендуються, висушуються, підігріваються та/або частково прожарюються в ході попереднього нагрівання перед термічною обробкою в реакторі, причому, принаймні, частина волого, що міститься в матеріалі, видаляється. Краще, щоб перед реактором було дві стадії попереднього нагрівання, які відповідно включають теплообмінник та розташований після нього по ходу процесу сепаратор. При цьому матеріал у першому теплообміннику нагрівається відхідним газом із другого теплообмінника, а матеріал в другому теплообміннику нагрівається відхідним газом з реактора. Обидва теплообмінники є, краще, суспензійними теплообмінниками. Цим шляхом додатково знижується загальна потреба процесу в енергії.

Згідно зі способом відповідно до винаходу, після термічної обробки в реакторі продукт із кільцевого псевдозрідженого шару реактора або із сепаратора, розташованого по ходу процесу після реактора, принаймні, частково подається в систему охолодження, що включає, зокрема, компонування ряду послідовно з'єднаних одна з одною стадій охолодження. У сепараторі, зокрема, циклоні, встановленому по ходу процесу після реактора, відокремлюється твердий матеріал (продукт), виведений з газовим потоком, що проходить через центральну трубу. Цей матеріал або безпосередньо подається на стадію охолодження для наступної обробки, або по трубопроводу повернення твердих матеріалів повертається в кільцевий псевдозріджений шар реактора, причому можливо також, що частина відокремленого в сепараторі твердого матеріалу попадає в систему охолодження, а інша частина повертається в кільцевий псевдозріджений шар. Головна перевага такої гнучкої рециркуляції твердого матеріалу полягає в тому, що вміст

твердого матеріалу в суспензії в зоні змішувального простору реактора може бути довільно відрегульований відповідно до вимог процесу і навіть може бути змінений при роботі в такому ступені та тоді, коли це потрібно.

Для регулювання рециркуляції твердого матеріалу в одному з варіантів ідеї винаходу виявилось доцільним вимірювати падіння тиску між центральною трубою та вивідним трубопроводом реактора, що веде до сепаратора, і регулювати його шляхом зміни кількості рециркулюючого твердого матеріалу. Особливо придатною для названої мети виявилась псевдозріджувана проміжна ємність з розташованим після неї по ходу процесу дозуючим пристроєм, наприклад, живильником з поворотною пластиною з регульованою швидкістю обертання або роликівим поворотним краном, оскільки в цьому випадку для рециркуляції не потрібно виводити твердий матеріал, наприклад, за допомогою рівчака, і направляти його в систему охолодження. Рециркуляція твердого матеріалу є одним з факторів, що полегшують стабілізацію умов процесу в реакторі та/або регулювання середнього часу утримання твердого матеріалу в реакторі.

М'яке охолодження продукту з високим теплопереносом може здійснюватися в системі охолодження в тому випадку, якщо охолоджуваний продукт утворює на, щонайменше, одній стадії охолодження, краще, на останній стадії системи охолодження, щонайменше один, краще, стаціонарний псевдозріджений шар, у якому продукт охолоджується зріджувальним газом, наприклад, повітрям. Саме в стаціонарному псевдозрідженому шарі відносно простим шляхом досягається тривалий час утримання і, отже, ефективне охолодження продукту за допомогою, наприклад, попередньо охолодженого повітря. Крім того, у стаціонарному псевдозрідженому шарі механічне навантаження продукту є відносно низьким. Якщо, однак, потрібно особливо швидко охолодження, може бути застосована стадія охолодження зі стаціонарним псевдозрідженим шаром та камерою змішування, подібно до описаного вище реактора. Таким чином, принцип винаходу, відповідно до якого поєднуються стаціонарний і циркулюючий кільцевий псевдозріджені шари згідно з даним винаходом, може бути використаний як для нагрівання, так і для охолодження дрібнозернистих твердих матеріалів. Охолодження відбувається в тих випадках, коли на початку процесу твердий матеріал є теплішим за газовий потік, що проходить через центральну трубу. Додаткового охолодження можна досягти з використанням охолодного змішувача з охолодним середовищем, наприклад, водою, поміщеного, зокрема, усередину кільцевого псевдозрідженого шару.

З метою кращого використання енергії передбачається подача газу, що застосовується для охолодження на стадії охолодження і, таким чином, нагрівається, на розташовану раніше по ходу процесу стадію охолодження, в реактор, в камеру згоряння та/або на стадію попереднього нагрівання. Припустимо пропускати газ через

кілька або через всі попередні стадії охолодження у каскадний спосіб, починаючи з останньої стадії охолодження, на якій охолоджуваний продукт був уже попередньо охолоджений на попередніх стадіях охолодження. Оскільки продукт на попередніх стадіях охолодження щоразу залишається все ще теплішим, він продовжує охолоджуватися на кожній стадії охолодження, а застосовуваний для охолодження газ продовжує нагріватися. Нагрітий в остаточному підсумку газ може далі подаватися в камеру згоряння, в реактор та/або на стадію попереднього нагрівання.

Установка відповідно до винаходу, в найбільшому ступені придатна для здійснення описаного вище способу, включає реактор, який є реактором із псевдозрідженим шаром для термічної обробки дрібнозернистих твердих матеріалів, причому реактор має газопідвідну систему, влаштовану таким чином, що газ, який протікає через цю газопідвідну систему, захоплює твердий матеріал зі стаціонарного кільцевого псевдозрідженого шару, що, принаймні, частково охоплює газопідвідну систему, у змішувальний простір. Краще, ця газопідвідна система виходить у змішувальний простір. Однак можливо також завершення цієї газопідвідної системи під поверхнею кільцевого псевдозрідженого шару. Газ при цьому вводиться в кільцевий псевдозріджений шар, наприклад, через бічні отвори, захоплюючи за рахунок швидкості свого потоку твердий матеріал з кільцевого псевдозрідженого шару в змішувальний простір.

Відповідно до винаходу, газопідвідна система включає, краще, центральну трубу, що виступає від нижньої зони реактора по суті вертикально угору, краще, в змішувальний простір реактора і оточена простором, який, принаймні, частково охоплює центральну трубу і в якому утворюється стаціонарний кільцевий псевдозріджений шар. Центральна труба може бути виконана із соплом на своєму вихідному отворі та/або мати один або кілька отворів, розподілених по поверхні свого корпусу, завдяки чому твердий матеріал при роботі реактора безперервно попадає в центральну трубу та захоплюється першим газом або газовою сумішшю через центральну трубу в змішувальний простір. Зрозуміло, в реакторі можуть також бути дві або більше центральні труби різних або однакових розмірів і форм. Однак, краще, щоб щонайменше одна із центральних труб була розташована приблизно по центру у площині поперечного перерізу реактора.

Відповідно до одного з кращих втілень винаходу, після (по ходу процесу) реактора є сепаратор, зокрема, циклон, для відокремлення твердих матеріалів, причому цей сепаратор має трубопровід для твердих матеріалів, що веде до кільцевого псевдозрідженого шару реактора, та/або трубопровід для твердих матеріалів, що веде до системи охолодження. При цьому з метою можливості видалення готового продукту безпосередньо з реактора, відповідно до винаходу, встановлений також трубопровід для твердих матеріалів, що проходить від кільцевого псевдозрідженого шару до системи охолодження.

Для забезпечення надійного зрідження твердого матеріалу та утворення стаціонарного псевдозрідженого шару в кільцевому просторі реактора передбачений газорозподільник, що розділяє простір на верхню зону кільцевого псевдозрідженого шару та нижній газорозподільний простір, причому цей газорозподільний простір з'єднаний з підвідним трубопроводом для зріджувального газу. Замість газорозподільного простору може бути також використаний газорозподільник, утворений трубами.

З метою створення в реакторі необхідних робочих температур перед реактором (по ходу процесу) є камера згоряння із підвідними трубопроводами для палива, кисню та/або нагрітого газу, відхідний газ із якої пропускається через центральну трубу для обігріву реактора.

Після реактора є система охолодження, яка включає стадії прямого та/або непрямого охолодження, зокрема, охолодні циклони та/або холодильники із псевдозрідженим шаром. У випадку стадій прямого охолодження охолодне середовище знаходиться в безпосередньому контакті з охолоджуванним продуктом. У цьому випадку в процесі охолодження можуть також здійснюватися й інші корисні реакції, наприклад, очищення продукту. Крім того, охолодна дія є особливо гарною на стадіях прямого охолодження. У випадку стадій непрямого охолодження охолодження здійснюється за допомогою охолодного середовища, що протікає через охолоджувальний змішувач. Щоб мати при цьому також можливість використовувати в самому процесі нагрітий при охолодженні газ, стадія охолодження включає, щонайменше, один підвідний трубопровід, що веде до стадії попереднього нагрівання, у змішувальний простір, у газорозподільний простір та/або в камеру згоряння.

У кільцевому псевдозрідженому шарі та/або змішувальному просторі реактора, відповідно до винаходу, може бути поміщений пристрій для відхилення потоків твердого матеріалу та/або рідин. У кільцевому псевдозрідженому шарі може бути, наприклад, встановлена кільцева перегородка з діаметром, проміжним між діаметром центральної труби та діаметром стінки реактора, таким чином, щоб верхній край перегородки виступав за межі рівня твердого матеріалу, що виникає в процесі роботи, у той час як нижній край перегородки був би розташований на певній відстані від газорозподільника або подібного пристрою. Таким чином, твердий матеріал, що випадає зі змішувального простору поблизу стінки реактора, перш ніж він буде захоплений газовим потоком центральної труби назад у змішувальний простір, повинен спочатку обійти перегородку у її нижнього краю. В результаті цього в кільцевому псевдозрідженому шарі посилюється обмін твердих матеріалів і завдяки цьому час утримання твердого матеріалу в кільцевому псевдозрідженому шарі стабілізується.

Варіанти, переваги та можливості застосування винаходу виявляються також з

наведеного далі опису окремих втілень та схем. Всі відмітні ознаки, описані та/або проілюстровані на схемах, складають предмет винаходу самі по собі або в будь-якому їхньому поєднанні незалежно від їхнього включення до формули винаходу або до посилального матеріалу.

Фіг.1 демонструє технологічну схему способу та установку відповідно до першого втілення даного винаходу,

Фіг.2 демонструє технологічну схему способу та установку відповідно до другого втілення даного винаходу.

Для пояснення функціонального принципу винаходу установка та спосіб термічної обробки твердих матеріалів, таких, наприклад, як гіпс, описуються спочатку на основі Фіг.1.

Для термічної обробки, зокрема, випалювання твердого матеріалу, установка включає реактор 1, що, наприклад, є циліндричним, із центральною трубою 3, яка розташована приблизно коаксіально поздовжній осі реактора та виступає по суті вертикально угору від днища реактора 1. В області днища реактора 1 є кільцевий газорозподільник 36, у який відкриваються підвідні, трубопроводи 27 та 37. У верхній по вертикалі зоні реактора 1, що утворює змішувальний простір 21, розташований вивідний трубопровід 4, який відкривається у виконаний у вигляді циклона сепаратор 5.

Якщо в цьому випадку в реактор 1 по трубопроводу для твердих матеріалів 9 вводиться твердий матеріал, на газорозподільнику 36 утворюється шар, що кільцеподібно охоплює центральну трубу 3, який називається тут кільцевим псевдозрідженим шаром 2. Як реактор 1, так і центральна труба 3 можуть також, природно, мати поперечний переріз, відмінний від кращого круглого поперечного перерізу за умови, що кільцевий псевдозріджений шар 2, принаймні, частково охоплює центральну трубу 3. Зріджувальний газ, що вводиться через підвідний трубопровід 27, 37, проходить через газорозподільник 36 і зріджує кільцевий псевдозріджений шар 2, в результаті чого утворюється стаціонарний псевдозріджений шар. Газорозподільник 34, виконаний для цієї мети, краще, як соплові ґрати з відносно великим числом окремих соплів, які з'єднані з підвідними трубопроводами 27, 37. У більш простому втіленні газорозподільник 36 може бути також виконаний у вигляді ґрат з розташованим під ними газорозподільним простором. Швидкість подаваних в реактор 1 газів регулюється при цьому таким чином, щоб число Фруда для частинок у кільцевому псевдозрідженому шарі 2 дорівнювало приблизно 0,3.

При продовженні подачі твердого матеріалу в кільцевий псевдозріджений шар 2 рівень твердого матеріалу в реакторі 1 збільшується в такому ступені, що твердий матеріал досягає отвору центральної труби 3. У той же час через центральну трубу 3 в реактор 1 вводять газ або газову суміш, генеровані в розташованій раніше по ходу процесу камері згоряння 26 шляхом спалювання газоподібних, рідких і твердих палив. Швидкість гарячого газу, що подається в реактор 1 через центральну трубу 3, регулюють, краще,

таким чином, щоб число Фруда для частинок у центральній трубі 3 дорівнювало приблизно 10, а у змішувальному просторі 21 - приблизно 3,0.

Через більш високий тиск на рівні 11 кільцевого псевдозрідженого шару 2 у порівнянні з верхнім краєм центральної труби 3 твердий матеріал переходить через цю кромку в центральну трубу 3. Верхня кромка центральної труби 3 може бути плоскою або мати відмінну від плоскої форму, наприклад, хвилясту, або мати бічні отвори. Завдяки високим швидкостям газ, що протікає через центральну трубу 3, захоплює твердий матеріал зі стаціонарного кільцевого псевдозрідженого шару 2 у змішувальний простір 21, проходячи через зону верхнього отвору, в результаті чого утворюється інтенсивно перемішувана суспензія. Інтенсивний масо- і теплоперенос між газовим потоком і твердим матеріалом у змішувальному просторі 21 приводить до того, що твердий матеріал, який був до цього більш холодним, особливо добре нагрівається більш теплим газовим потоком, в результаті чого газовий потік охолоджується. Якщо твердий матеріал тепліший за газовий потік, то, відповідно до принципу винаходу, відбувається охолодження твердого матеріалу.

Внаслідок зниження об'ємної швидкості при розширенні газового струменя в змішувальному просторі 21 та/або при зіткненнях на одній зі стінок реактора захоплений твердий матеріал швидко втрачає швидкість та осідає назад у кільцевий псевдозріджений шар 2. В результаті цього між зонами реактора стаціонарного кільцевого псевдозрідженого шару 2 і змішувальним простором 21 виникає циркуляція. Завдяки такій циркуляції твердого матеріалу, призначений для обробки твердий матеріал особливо довго циркулює в реакторі 1, даючи в той же час можливість використання в змішувальному просторі 21 дуже високого теплопереносу.

Твердий матеріал, що не осів з газової фази над центральною трубою 3 і не повернувся безпосередньо в кільцевий псевдозріджений шар 2, виводиться гарячим потоком з реактора 1 угору через вивідний трубопровід 4, відокремлюється від газового потоку у виконаному у вигляді циклона сепараторі 5 і, принаймні, частково повертається в кільцевий псевдозріджений шар 2 по зворотному трубопроводу 6.

Таким чином, оброблюваний твердий матеріал повертається в підсумку в кільцевий псевдозріджений шар 2 двома шляхами: після відокремлення від газового потоку в змішувальному просторі 21 і після відокремлення в сепараторі 5 по зворотному трубопроводу 6.

Тепло, що міститься в газовому потоці, який залишає сепаратор 5, використовується в багатостадійній (у цьому випадку двостадійній) системі стадій попереднього нагрівання 32, 33, які включають теплообмінники 40, 10 з розташованими після них (по ходу процесу) сепараторами 12, 8. У цьому випадку призначений для обробки твердий матеріал подається як сировина до виконаного у вигляді сушарки Вентурі останній теплообмінник 10 з боку відхідного газу. Там подаваний твердий матеріал суспендується у

відхідному газі із сепаратора 8 розташованого раніше по ходу процесу (передостанньої) стадії попереднього нагрівання 32, сушиться, підігрівається та пропускається по трубопроводу для твердих матеріалів 13 до теплообмінника 40 передостанньої стадії попереднього нагрівання 32, у той час як відхідний газ випускається. Твердий матеріал після цього суспендується відхідним газом, що залишає сепаратор 5, додатково підігрівається та подається по трубопроводу для твердих матеріалів 7 в сепаратор 8. Підігрітий твердий матеріал по трубопроводу для твердих матеріалів 9 направляється в кільцевий псевдозріджений шар 2 реактора 1, у той час як відхідний газ із сепаратора 8, у свою чергу, пропускається через останню стадію попереднього нагрівання 33.

Після термічної обробки в реакторі 1 продукт у кількості, що відповідає кількості оброблюваного твердого матеріалу, що вводиться в сушарку Вентурі 10, подається в систему охолодження 34 або безпосередньо з кільцевого псевдозрідженого шару 2 по підвідному трубопроводу продукту 14, або зі зворотного трубопроводу для твердих матеріалів по підвідному трубопроводу продукту 15. Ця система охолодження 34 включає комбонування зі стадій прямого та/або непрямого охолодження 35, 19 з теплообмінниками, наприклад, холодильними циклонами або холодильниками із псевдозрідженим шаром, за допомогою яких необхідне для процесу повітря піддається попередньому нагріванню та відводиться вже не придатне для використання в процесі теплопродукту. Вибір типу та кількості окремих стадій охолодження 35, 19 або їхніх холодильних вузлів по суті залежить від відношення кількості необхідного для процесу повітря до кількості охолоджуваного продукту.

На першій стадії охолодження продукт подається на охолодження у висхідний трубопровід 16 по трубопроводах для підведення твердих матеріалів 14, 15. У цьому висхідному трубопроводі 16 та у наступному за ним охолодному циклоні 17 продукт охолоджується, потім відокремлюється та подається в холодильник із псевдозрідженим шаром 19 по трубопроводу для твердих матеріалів 18. Повітря, необхідне як зріджувальний газ для холодильника із псевдозрідженим шаром 19, подається на окремі стадії холодильника із псевдозрідженим шаром 19 по повітряному трубопроводу 20, з'єднаному з нагнітальним вентилятором, нагрівається там при охолодженні продукту та пропускається через висхідний трубопровід 16 в охолодний циклон 17. У висхідному трубопроводу 16 це зріджувальне повітря піддається додатковому нагріванню за рахунок охолодження продукту. Нагріте тут у такий спосіб повітря із другої стадії охолодження 19 пропускається на першу стадію охолодження. Після знепилювання в циклоні 17 нагріте повітря (зріджувальне повітря) направляється або по підвідному трубопроводу 22 в реактор 1, або по підвідному трубопроводу 41 у виконаний у вигляді підігрівника Вентурі теплообмінник 40.

В багатостадійному холодильнику із псевдозрідженим шаром 19 продукт спочатку

оохолоджується на одній або більше стадіях у протитечії до повітря для горіння, причому непряме оохолодження здійснюється як у повітряному трубопроводі 23, так і в оохолоджувальному змійовику 34, що виконує функцію елемента теплообмінника, а пряме оохолодження здійснюється в результаті цього за допомогою повітряного трубопроводу 20 і подаваного на окремі стадії зріджувального повітря. Нагріте при непрямому оохолодженні повітря подається по підвідному трубопроводу 25 у камеру згорання 26 і, можливо, також по підвідному трубопроводу 27 у кільцевий псевдозріджений шар як зріджувальний газ. У камері згорання 26 паливо, що подається по паливному трубопроводу 42, спалюється нагрітим повітрям зі стадій оохолодження і, можливо, додатковим повітрям, що подається по підвідному трубопроводу 28. Відхідний газ з камери згорання пропускається через трубопровід для газового потоку 29 до центральної труби 3 і, як перший газ або газова суміш, у змішувальний простір 21.

Продукт оохолоджується непрямым способом у холодильнику із псевдозрідженим шаром 19 на одній або більше стадіях у протитечії до оохолодного середовища, наприклад, води, що протікає по оохолодному змійовику 31, і прямим шляхом за допомогою зріджувального повітря на окремих стадіях до досягнення необхідної температури. Оохолодне середовище пропускають до оохолодного змійовика 31 по трубопроводу 30 і потім відводять по трубопроводу 45.

Особлива перевага даного способу полягає в тому, що переваги стаціонарного псевдозрідженого шару (кільцевого псевдозрідженого шару) і циркулюючого псевдозрідженого шару в змішувальному просторі можуть бути використані оптимальним образом і у той же час вироблене при оохолодженні, відкидне тепло з метою заощадження енергії знову подається в реактор.

Приклад

Випал гіпсу REA з метою одержання ангідриту докладно описаний нижче на основі Фіг.2, що демонструє установку, подібну Фіг.1. Вологий гіпс із бункера для зберігання 39 вводиться за допомогою гвинтового конвеєра 38 у сушарку Вентурі 10 при об'ємній швидкості, наприклад, 42т/год. і суспендується відхідним газом із циклона 8, сушиться та подається у виконаний у вигляді циклона сепаратор 12 по трубопроводу для твердих матеріалів 11. Відхідний газ із циклона 12 пропускається через рукавний фільтр 43, де газ повністю звільняється від твердого матеріалу та виводиться за допомогою вентилятора для відхідного газу 44 через димар.

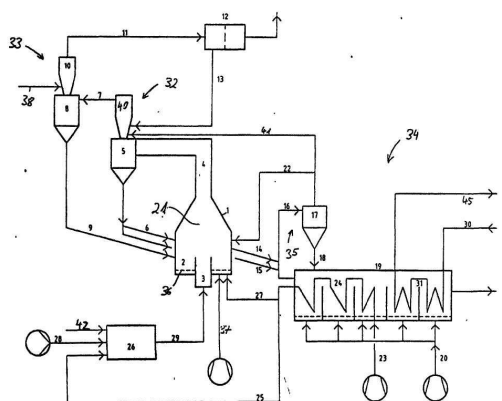
Відокремлюваний у циклоні 12 та у рукавному фільтрі 43 висушений гіпс пропускається по трубопроводах для твердих матеріалів 13 у другу сушарку Вентурі, додатково нагрівається, відокремлюється в циклоні 8 від відхідного газу і вводиться по трубопроводу для твердих матеріалів 9 у псевдозріджений шар 2 реактора 1. У камері згорання 26 генерується приблизно 36000нм³/год. гарячого газу з температурою приблизно 1130°C, який пропускається по

трубопроводу для газового потоку 29 в реактор 1. Гарячий газ оохолоджується в реакторі 1 до приблизно 750°C. У той же час гіпс з розміром зерна менше 0,22мм, що вводиться в реактор, нагрівається до приблизно 750°C і піддається випалу з утворенням ангідриту. Твердий матеріал транспортується відхідними газами реактора 1 у зворотний циклон 5 (сепаратор), відокремлюється там і в основному повертається по зворотному трубопроводу для твердих матеріалів 6 у кільцевий псевдозріджений шар 2 реактора 1.

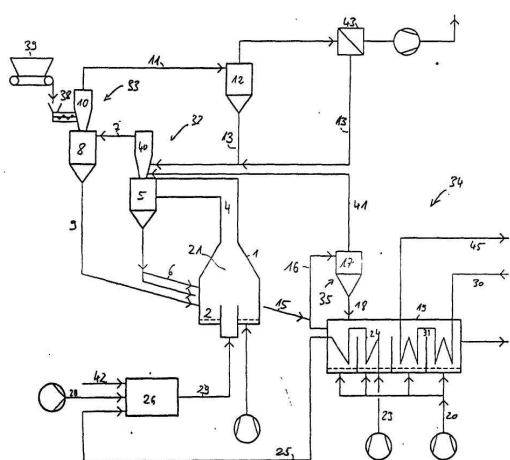
Частковий потік ангідритного продукту, кількість якого відповідає кількості гіпсу, що вводиться в реактор 1, подається по підвідному трубопроводу для продукту 15 до висхідного трубопроводу 16, що належить до оохолодного циклона 17 першої стадії оохолодження 35. Ангідрит оохолоджується в оохолодному циклоні 17 до приблизно 600°C і пропускається по трубопроводу для твердих матеріалів 18 в першу камеру холодильника із псевдозрідженим шаром 19. Відхідне повітря з оохолодного циклона 17 пропускається по підвідному трубопроводу 41 у сушарку Вентурі 40.

У холодильнику із псевдозрідженим шаром 19 ангідрит постадійно оохолоджується до приблизно 80°C. Кількість продукту становить приблизно 30т/год. При оохолодженні ангідриту подаване по повітряному трубопроводу 23 повітря для пальника (приблизно 14000нм³/год.) непрямым шляхом нагрівається до приблизно 450°C у секціях теплообмінників, які виконані у вигляді оохолодних змійовиків 24 і встановлені в перших двох камерах холодильника із псевдозрідженим шаром 19. Повітря подається в камеру згорання 26 по підвідному трубопроводу 25. Як паливо в камеру згорання 26 по паливному трубопроводу 42 подається приблизно 1300нм³/год. природного газу. Крім того, в камеру згорання по повітряному підвідному трубопроводу 28 вдувається додаткова кількість повітря (приблизно 21000нм³/год.). Кількість палива та кількість повітря для горіння регулюють таким чином, щоб температура гарячого газу дорівнювала приблизно 1130°C, а бажана температура реактора на виході з камери згорання 26 була б рівна приблизно 750°C.

Остаточне оохолодження ангідриту здійснюється у двох останніх камерах холодильника із псевдозрідженим шаром 19. Оохолодна вода подається по трубопроводу 30 в пучки оохолодних труб, встановлених в двох камерах як оохолодний змійовик, і повертається по трубопроводу 45. Необхідний зріджувальний газ подається в холодильник із псевдозрідженим шаром 19 по трубопроводу 20.



Фиг. 1



Фиг. 2