



УКРАЇНА

(19) UA (11) 96263 (13) C2

(51) МПК (2011.01)

B24B 57/00

B03B 9/06 (2006.01)

B01D 21/00

B04C 7/00

B04B 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АБРАЗИВНИХ СУСПЕНЗІЙ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЇХ КОМПОНЕНТІВ БАГАТОРАЗОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

1

2

(21) а200714479

(22) 16.06.2006

(24) 25.10.2011

(86) PCT/IT2006/000461, 16.06.2006

(31) RM2005A000329

(32) 24.06.2005

(33) IT

(46) 25.10.2011, Бюл.№ 20, 2011 р.

(72) ФРАДЖІАКОМО ГВІДО, IT

(73) ЗІК ПРОУСЕССІНГ АГ, DE

(56) EP 0791385 A1; 27.08.1997

EP 1418001 A1; 12.05.2004

US 2004144722 A1; 29.07.2004

(57) 1. Спосіб переробки відпрацьованих абразивних суспензій, які включають суспендуючу рідину, придатні для повторного використання абразивні зерна, тонкі абразивні зерна, тонкі частинки кремнію та тонкі частинки металу, де у способі здійснюються етапи:

а) розділяють відпрацьовану суспензію шляхом мокрого сортування за розміром на: i) рідку суспензію, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна у суміші суспендуючої рідини з рідким розчинником, та ii) рідку суспензію в тій самій суміші, яка містить тонкі абразивні зерна, а також тонкі частинки кремнію та тонкі частинки металу;

б) вилучають суспендуючу рідину з рідкої суспензії, яка містить тонкі абразивні зерна, тонкі частинки кремнію та тонкі частинки металу, за допомогою обробки шляхом відокремлення твердих речовин від рідин у поєднанні перегонкою рідкого розчинника;

у якому обробку з мокрим сортуванням за розміром на етапі а) здійснюють шляхом обробки відпрацьованої суспензії у центрифугі для розділення, яка, у свою чергу, виконана з можливістю подачі одержаної в результаті фракції, збагаченої твердою речовиною, у перший гідроциклон або центрифугу з групи, що складається з принаймні двох послідовно з'єднаних гідроциклонів або центрифуг, до якої у протитечії подають, починаю-

чи з останнього гідроциклон або центрифуги, рідку фракцію, що включає частину очищеної рідини, отриманої на етапах б) вилучення суспендуючої рідини, одержуючи з нижнього продукту останнього гідроциклон або останньої центрифуги з групи рідку суспензію, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна і яка є практично очищеною від тонких абразивних зерен; та

у якому рідку суспензію, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна, одержані з нижнього продукту останнього гідроциклон або центрифуги з групи, піддають подальшій обробці у багатофункціональному пристрої, виконаному з можливістю здійснення наступних послідовних етапів без перенесення матеріалу: фільтрування рідкої суспензії, промивання одержаних в результаті зерен та вилуговування з них шляхом хімічного травлення будь-яких тонких кремнієвих та металевих частинок, та висушування зерен очищеного абразивного матеріалу.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що група гідроциклонів або центрифуг складається з 3-6 послідовно з'єднаних гідроциклонів або центрифуг.

3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що у багатофункціональному пристрої для фільтрування та обробки абразивних зерен здійснюють такі послідовні операції:

А) фільтрування рідкої суспензії, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна, отримані з нижнього продукту останнього гідроциклон або останньої центрифуги з групи;

В) промивання твердої фракції, одержаної в результаті операції А), з застосуванням рідкого розчинника;

С) вилуговування, шляхом хімічного травлення, тонких частинок кремнію та металу з твердої фракції, одержаної в результаті операції В), з утворенням силікатних розчинів та розчинів солей металевих забруднювачів, розчинених у рідкому відході;

(13) C2

(11) 96263

(19) UA

D) промивання твердої фракції, одержаної в результаті операції C), з застосуванням рідкого розчинника;

E) висушування абразивних зерен, які складають тверду фракцію, одержану в результаті операції D).

4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що у операції C) вилуговування шляхом хімічного травлення здійснюють такі два послідовні етапи:

C1) каустичне травлення тонких частинок кремнію шляхом обробки твердої фракції, одержаної в результаті операції B), розчином лужного агента;

C2) кислотне травлення металевих тонких частинок шляхом обробки твердої фракції, одержаної в результаті операції C1), розчином кислотного агента.

5. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що агент кислотного травлення вибирають з групи, яка складається з азотної кислоти, хлористоводневої кислоти, оксалатної кислоти, сірчаної кислоти, лимонної кислоти та винної кислоти або їх сумішей, і агент лужного вилуговування вибирають з групи, яка складається з каустичної соди або гідроксиду калію.

6. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що рідка фракція, яка надходить у протитечії до групи гідроциклонів або центрифуг, включає, крім частини очищеної рідини, отриманої на етапах b) вилучення суспендуєної рідини, також рідину, отриману в результаті операції A) фільтрування суспензії, отриманої з нижньої частини останнього гідроциклона або центрифуги у групі, та рідину, отриману в результаті операції B) наступного промивання.

7. Спосіб за будь-яким з попередніх пп., який **відрізняється** тим, що рідку суспензію ii), яка містить тонкі абразивні зерна та тонкі частинки кремнію та металу, отриману з верхнього продукту першого гідроциклона або першої центрифуги з вищезгаданої групи, піддають подальшій обробці у захисному гідроциклоні або центрифугі, і суспензію, отриману з верхнього продукту вищезгаданого захисного гідроциклона або центрифуги, піддають етапам b) вилучення суспендуєної рідини.

8. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що етапи b) вилучення суспендуєної рідини включають перший етап, фільтрацію, яка дає на виході очищену рідину, яка здебільшого містить суспендуєну рідину, рідкий розчинник та тонкі частинки металу, які потім розділяють на дві частини: більша з частин складає частину очищеної рідини, яка подається у протитечії у перший гідроциклон або центрифугу з групи, а меншу піддають додатковій обробці для вилучення суспендуєної рідини.

9. Спосіб за п. 8, який **відрізняється** тим, що більша частина очищеної рідини складає 40-90 % очищеної рідини, отриманої після фільтрації.

10. Спосіб за п. 8 або 9, який **відрізняється** тим, що більшу частину очищеної рідини нагрівають перед подачею до групи гідроциклонів або центрифуг.

11. Спосіб за п. 8, який **відрізняється** тим, що меншу частину очищеної рідини, яку піддають подальшій обробці для вилучення суспендуєної рідини, з'єднують з фракцією, отриманою з центри-

фуги для розділення рідкої та твердої фаз, яка виконує першу операцію процесу.

12. Спосіб за п. 11, який **відрізняється** тим, що рідку фракцію, отриману в результаті додавання, підлуговують до pH 9-10 шляхом додавання лужного розчину.

13. Спосіб за п. 12, який **відрізняється** тим, що підлужену рідку фракцію піддають мікрофільтрації для видалення гідроксиду заліза, який утворюється при підлуговуванні.

14. Спосіб за п. 13, який **відрізняється** тим, що очищену рідину після мікрофільтрації нейтралізують шляхом додавання розчину кислоти і піддають перегонці з метою відокремлення вищезгаданого розчинника від рідкої суспензії шляхом випарювання.

15. Спосіб за п. 14, який **відрізняється** тим, що рідку суспензію піддають подальшому очищенню шляхом фільтрації з метою видалення солі, яка утворюється при нейтралізації.

16. Спосіб за п. 11, який **відрізняється** тим, що рідку фракцію, отриману в результаті додавання, піддають мікрофільтрації для видалення більшості тонких частинок металу з очищеної рідини.

17. Спосіб за п. 16, який **відрізняється** тим, що очищену рідину, отриману в результаті мікрофільтрації, піддають подальшій обробці на іонообмінних смолах для видалення залишків металів та інших забруднювачів з очищеної рідини, включаючи першу обробку на катіонних смолах та другу обробку на аніонних смолах.

18. Спосіб за п. 17, який **відрізняється** тим, що очищену рідину, отриману в результаті обробки іонообмінними смолами, піддають перегонці для відокремлення шляхом випарювання розчинника від очищеної суспендуєної рідини.

19. Спосіб за п. 14 або 18, який **відрізняється** тим, що розчинник потім конденсують і повторно використовують у фазах промивання B) та/або D) абразивних зерен у багатофункціональному пристрої.

20. Спосіб за будь-яким з попередніх пп., який **відрізняється** тим, що суспендуєною рідиною абразивної суспензії є поліетиленгліколь (PEG), а рідким розчинником є вода.

21. Пристрій для переробки відпрацьованих абразивних суспензій відповідно до способу за п. 1, який включає такі послідовно взаємозв'язані елементи:

I) центрифугу для розділення, виконану з можливістю подачі відокремленої з неї фракції з вмістом твердих речовин у перший гідроциклон або центрифугу з групи, що складається з принаймні двох послідовно з'єднаних гідроциклонів або центрифуг; нижній продукт з кожного гідроциклона або центрифуги подається у наступний гідроциклон або центрифугу, в той час, як верхній продукт з кожного гідроциклона або центрифуги подається в попередній гідроциклон або центрифугу, причому в групу гідроциклонів або центрифуг у протитечії подається рідка фракція, яка включає частину очищеної рідини, отриманої з вищезгаданих етапів b) вилучення суспендуєної рідини;

II) багатофункціональний пристрій, який складається з камери тиску, що містить фільтрувальний

пристрій та засоби для подачі у камеру промиваючої рідини, лужного та кислотного розчинів та осушуючих засобів, призначений для здійснення послідовних етапів без будь-якого перенесення матеріалу: фільтрації рідкої суспензії, яка містить абразивні зерна, отримані з нижнього продукту останнього гідроциклону або центрифуги, наступного промивання отриманих в результаті зерен та вилуговування з них, шляхом хімічного травлення, тонких частинок кремнію та металу і, нарешті, висушування очищеного гранулярного абразивного матеріалу;

III) секцію для обробки рідкої суспензії ii), яка містить тонкі абразивні зерна та тонкі частинки кремнію та металу, отриманої з верхнього продукту першого гідроциклону або центрифуги з вищезгаданої групи, з метою вилучення рідкої суспензії.

22. Пристрій за п. 21, який **відрізняється** тим, що група гідроциклонів або центрифуг включає ще один захисний гідроциклон або центрифугу для приймання верхнього продукту першого гідроциклону або центрифуги з групи, верхній продукт з якого(ї) надходить у секцію для обробки рідкої суспензії ii) замість верхнього продукту вищезгаданого першого гідроциклону або центрифуги.

23. Пристрій за п. 22, який **відрізняється** тим, що багатфункціональний пристрій для фільтрування та обробки абразивних зерен є пристроєм періодичної дії, який складається з камери тиску, яка містить фільтрувальний пристрій, на якому розмі-

щуються абразивні зерна під час фільтрації та всіх наступних фаз промивання, вилуговування та висушування.

24. Пристрій за п. 23, який **відрізняється** тим, що між двома елементами I) та II) передбачено проміжний резервуар для суспензії абразивних зерен, отриманої з групи гідроциклонів або центрифуг.

25. Пристрій за будь-яким з пп. 21-24, який **відрізняється** тим, що секція III) для обробки рідкої суспензії, отриманої з верхнього продукту першого гідроциклону або центрифуги або з захисного гідроциклону або центрифуги, включає фільтрувальний пристрій, з якого очищена рідина частково надходить на додаткові пристрої з метою вилучення суспендуючої рідини та частково надходить у протитечії до групи гідроциклонів або центрифуг.

26. Пристрій за п. 25, який **відрізняється** тим, що додаткові пристрої для вилучення суспендуючої рідини включають пристрій для мікрофільтрації та випарник, придатний для відокремлення розчинника у формі пари від суспендуючої рідини.

27. Пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що додаткові пристрої для вилучення суспендуючої рідини включають фільтрувальний пристрій для видалення солевмісних залишків із суспендуючої рідини, які залишилися від перегонки.

28. Пристрій за п. 26, який **відрізняється** тим, що додаткові пристрої для вилучення суспендуючої рідини також включають один або кілька пристроїв для обробки іонообмінними смолами.

Даний винахід стосується способу та відповідного пристрою для переробки відпрацьованих абразивних суспензій для відновлення їх компонентів багаторазового використання. Більш конкретно, винахід стосується способу, з необхідним обладнанням для його втілення, для повного відновлення компонентів багаторазового використання, які містяться в абразивній суспензії, яку застосовують для різання кристалічних матеріалів з кремнію, кварцу або кераміки, коли вона відпрацьовується й насичується непотрібними відходами. Спосіб дозволяє повністю відновлювати абразивні зерна багаторазового використання, які містяться у відпрацьованій суспензії, а також повністю відновлювати суспендууючу рідину абразивної суспензії з метою повторного використання обох компонентів у процесі виробництва.

Як відомо, виробництво компонентів для застосування у галузі електроніки та фотоелектричної енергетики передбачає використання тонких кремнієвих дисків, які виготовляють з полікристалічних або монокристалічних кремнієвих заготовок або заготовок, які піддаються різанню перпендикулярно їх довжині. Як правило, цю операцію нарізання здійснюють за допомогою різача або дротової пилки, в якій металевий дріт зі значною довжиною та відповідним механічним опором, намотаний у системі роликів та катушок, під час руху приводиться у контакт із заготовкою, перпендикулярно довжині заготовки, у місцях, призначених для різання. Водночас суспензія, яка містить абразивні зерна або частинки (абразивна суспензія)

подається у зону контакту між різальним дротом та заготовкою.

Традиційні абразивні суспензії, які застосовують для різання заготовок з кремнію, кварцу або іншого керамічного матеріалу за допомогою дротової пилки, складаються з суспендуючої, мастильної або охолоджувальної рідини, такої, як мінеральна олія або водорозчинні органічні рідини високої молекулярної маси (зокрема, поліетиленгліколь, PEG), в якій суспендуються частинки абразиву придатної твердості, як правило, карбиду кремнію (SiC).

Під час операції нарізання частина абразивних зерен втрачає свою здатність до сприяння процесу різання, оскільки вони розбиваються на дрібніші частинки, а отже, стають непридатними для операції різання: цей факт виявляється через те, що гранулометричний склад частинок абразиву знижується до менших середніх значень. Водночас абразивна суспензія насичується тонкими частинками, які надходять від кремнієвої заготовки, яку піддають різанню, а також з нарізального дроту (як правило, залізного), а також з металевих труб самого пристрою.

Зі збільшенням кількості тонких частинок абразивна суспензія втрачає свої механічні характеристики, і ефективність операції нарізання знижується настільки, що суспензія стає неефективною і повинна зливатися й замінюватися свіжою абразивною суспензією.

Відпрацьована абразивна суспензія, яка зливається, може бути знищена шляхом термодес-

струкції, але цей процес пов'язаний з явними незручностями не лише через втрату компонентів багаторазового використання, але й з точки зору впливу на навколишнє середовище. Фактично, термодеструкція є способом захоронення відходів, який не є позбавленим негативних наслідків, які стосуються забруднення довкілля та атмосфери через можливу присутність шкідливих речовин у димових газах, які виділяються з попелу, а також неодмінного сприяння парниковому ефектові через утворення діоксиду вуглецю, який утворюється при згорянні органічних речовин.

Як альтернатива спалюванню, абразивна суспензія може відправлятися на підприємства з переробки муніципальних або промислових біологічних відходів, але утворений мул після цього надходить до сміттєзвалищ.

В обох вищезгаданих випадках, крім екологічної проблеми через необхідність захоронення відходів, існують значні економічні незручності, які полягають у втраті значної кількості ще придатних для повторного використання абразивних зерен, які містяться у відпрацьованій суспензії, тобто, зерен, які ще мають належний розмір для використання в абразивній суспензії. Крім того, також відбувається втрата рідкого продукту, який складає суспендуючу або мастильно-охолоджувальну рідину. Остання (яка може бути виготовлена на основі мінеральної олії або органічної рідини, такої, як PEG), якщо є ефективно очищеною від суспендованих тонких частинок залишків металу та кремнію, а також від непридатних для повторного використання абразивних зерен, може без будь-яких втрат використовуватися повторно у процесі, оскільки вона зберігає свої характеристики незмінними під час самого процесу.

Оскільки потреба у відокремленні та відновленні компонентів відпрацьованої абразивної суспензії широко визнаною у галузі проблемою, було запропоновано кілька способів для здійснення цього відновлення, принаймні частково. Як для абразивних суспензій на олійній основі, так і для суспензій та основі водорозчинних органічних рідин, усі запропоновані способи в різних комбінаціях включають такі основні операції:

а) попереднє зниження в'язкості відпрацьованої суспензії, або шляхом додавання розчинника, або шляхом нагрівання, для її підготування до наступних операцій;

б) відокремлення абразивних зерен шляхом мокрого сортування за розміром, наприклад, шляхом центрифугування або шляхом пропущення суспензії через гідроциклон (статичний сепаратор для твердих частинок, захоплених рідиною, у якому застосовується дія відцентрової сили);

с) фільтрування рідких фаз, утворених в результаті відокремлення абразивних зерен;

д) перегонку рідких сумішей розчинника та охолоджувальної рідини, які складають фільтрат;

е) висушування придатних для повторного використання абразивних зерен.

Відомі до цього часу способи, як стане зрозуміло далі з посиланням на деякі приклади з існуючого рівня техніки, мають різні, більші чи менші незручності, включаючи недостатню якість повто-

рно використовуваних абразивних зерен з огляду на розмір або з огляду на присутність тонких частинок кремнію та/або металу, надмірну складність процесу або високу кількість необхідних операцій, значну витрату розчинника, який додають для відокремлення, або тривалий час, необхідний для обробки, та/або низький вихід різних компонентів.

У Європейській патентній заявці EP-A-786317 (Shin-Etsu Handotai Co.) описується система для повторного використання відпрацьованої абразивної суспензії олійного типу, в якій до відпрацьованої суспензії спочатку додають воду з метою зниження її в'язкості, а потім утворену в результаті суміш подають у гідроциклон для відокремлення придатних для повторного використання абразивних зерен. Як відомо, у гідроциклоні завантажуваний матеріал, який підлягає обробці, подається через верх з високою швидкістю і тангенційно у пристрій, таким чином, що відцентрова сила виштовхує важчі частинки у напрямку периферії резервуара. Спірально рухаючись, важчі частинки потім збираються у конічній нижній частині резервуара (нижній продукт), а очищена рідина виходить через верх з центральної труби (верхній продукт). Згідно з рішенням, запропонованим у вищезгаданому документі, верхній продукт гідроциклона, який містить олійну мастильно-охолоджувальну рідину, воду та всі тверді частинки, які не були відсортовані шляхом пропущення через гідроциклон, після нього розділяються на три фази шляхом центрифугування. В результаті цієї операції одержують олійну фазу, яка повторно використовується у процесі різання, воду, яка повторно використовується у попередній фазі розведення відпрацьованої суспензії, та залишкову суспензію, яка містить непотрібні тверді матеріали, які відправляються на підприємство з захоронення відходів.

Зрозуміло, що описаний спосіб не дозволяє досягти високої якості фракції абразивних зерен, видобутих з гідроциклона, оскільки ця фракція містить певну кількість дрібніших твердих частинок, включаючи певну кількість порошоків кремнію та металу (здебільшого заліза), які збираються у відпрацьованій суспензії як залишки від операції різання. Небажані тонкі порошки мають схильність до накопичення в абразивній суспензії, коли вона відновлюється й повторно використовується згідно з процесами, описаними у вищезгаданому документі. Те ж саме стосується олійної суспензії, відновленої у процесі центрифугування, яка неодмінно містить залишки тонких твердих частинок, які повертаються до процесу різання і накопичуються в системі.

Дуже подібний до вищезгаданого процес описано у міжнародній патентній заявці WO 01/43933 (Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.), у якій представлено спосіб, який є вдосконалим варіантом вищеприведеного способу. Робочі етапи є практично такими самими, що й описані в документі EP-A-786317, але допоміжну технологічну рідину, яку додають у попередній фазі з метою зниження в'язкості відпрацьованої суспензії (якою у вищенаведеному випадку олійної абразивної суспензії була вода), у

цьому разі вибирають таким чином, щоб вона могла бути змішана з суспендуючою рідиною абразивної суспензії. Таким чином, у разі абразивних суспензій на олійній основі розріджувальну рідину вибирають з-поміж ліпофільних розчинників (таких, як гексан або гептан), а у разі водорозчинних суспензій застосовують амфіфільні розчинники (такі, як ацетон). Це дозволяє утворити стійку суспензію з тонких частинок, яка зливається, і поліпшити відокремлення абразивних зерен, які відновлюються у першій фазі обробки шляхом мокрого сортування.

Суспензія, одержана після відокремлення придатних для повторного використання абразивних зерен, підлягає обробці шляхом перегонки після необхідного відфільтрування суспендованих твердих частинок, причому в цьому разі рідина, яка додається, має піддаватися змішуванню з суспендуючою рідиною.

Також у цьому разі відновлені абразивні зерна не є повністю очищеними від невідновлюваних зерен та залишків тонких частинок металу та кремнію (до 2%), при явному зниженні якості абразивного матеріалу, який підлягає відновленню та повторному використанню у процесі різання. Крім того, в цьому разі частина металів залишається розчиненою у суспендуючій рідині, яка багаторазово використовується у процесі, і поступово накопичується.

У Європейському патенті EP 0791385 (Shin-Etsu Handotai Co. et al.) описується спосіб відокремлення та повторного використання відпрацьованих абразивних суспензій, подібний до вищеписаних способів, але передбачений, головним чином, для застосування з водорозчинними суспензіями. У ньому також перша операція складається з розведення суспензії водою з метою зниження її в'язкості. Потім суміш обробляють шляхом мокрого сортування за розміром для відокремлення придатних для повторного використання абразивних зерен; і в цьому разі оптимальним пристроєм є гідроциклон.

Частина процесу, яка найбільше відрізняється від вищезгаданих двох систем, стосується відновлення та відокремлювальної обробки рідкої суспензії, отриманої з верхнього продукту гідроциклона. До цієї рідкої суспензії додають коагулянт для сприяння відокремленню суспендованих твердих речовин, а потім усю масу піддають перегонці і з нею видобувають воду як найлегшу фракцію, яку повторно використовують для первісного розведення відпрацьованої суспензії.

Суміш водорозчинної суспензії, суспендованих твердих частинок та коагулянту піддається обробці для відокремлення твердих речовин від рідини, в оптимальному варіанті - шляхом центрифугування, для одержання з одного боку твердого залишку, який відбраковується, а з іншого боку - водорозчинної суспензії. Вона може бути повторно використана у процесі різання після подальшої обробки, яка включає додавання диспергатора для регулювання в'язкості суспензії.

Як щодо якості відновлених абразивних зерен, так і щодо чистоти суспензії, яка повторно подається для процесу різання, враховують такі самі

чинники, що й для двох попередніх процесів, як згадано вище.

У Патенті США № 6,010,010 (Elektroschmelzwerk Kempten) пропонується зовсім інший процес для переробки відпрацьованих абразивних суспензій, цілком відмінний від способів, які розглядалися раніше. У цьому разі у першій фазі весь твердий компонент висушують, наприклад, шляхом випарювання у вакуумі або розпилювального висушування, що включає певне нагрівання відпрацьованої суспензії. Потім придатні для повторного використання частинки абразиву відокремлюють від дрібніших відходів за допомогою традиційних способів сухого сортування за розміром. Випарену рідину, яка здебільшого складається з суспендуючої рідини абразивної суспензії, конденсують і повторно використовують у процесі різання.

Технологічна пропозиція щодо повного висушування твердих речовин, суспендованих у відпрацьованій суспензії, з наступним циклічним випарюванням та повторною конденсацією суспендуючої рідини, має очевидні незручності з огляду на споживання енергії, а також піддає суспендуючу рідину термічним навантаженням, які можуть сприяти її розпадові. Якщо суспендуюча рідина є олією, структура конденсату може відрізнятися від структури нової олії, а якщо рідина є поліетиленгліколем (PEG), то процес не відбуватиметься, оскільки PEG, маючи високу молекулярну масу, не зможе випарюватися без зашкодження для його структури через високу температуру, необхідну для випарювання. Крім того, високотемпературний процес випарювання створює залізосилікатні агломерати, які не піддаються відокремленню і залишаються в абразиві.

Крім того, відокремлення висушеної твердої речовини з застосуванням будь-якого способу мокрого сортування (грохочення, просіювання, пневматичного сортування через циклон) дає на виході малу кількість видобутих придатних для повторного використання частинок абразиву і, як і в інших випадках, не дозволяє уникати забруднення тонким порошком кремнію та металу.

У Європейському патенті EP 0968801 (MEMC Electronic Materials and Garbo Servizi) описується спосіб, спрямований на відновлення відпрацьованої абразивної суспензії водорозчинного типу, в якій відпрацьований абразив спочатку нагрівають для зниження її в'язкості, а потім піддають первісному відокремленню шляхом фільтрування. Це дає на виході очищену рідину, яка великою мірою складається з мастильно-охолоджувальної рідини з залишками тонких порошоків та агломерату мокрих порошоків, який містить, разом з невеликою кількістю мастильно-охолоджувальної рідини, майже всі тверді речовини, суспендовані у відпрацьованій суспензії. Мокрі порошки після цього розводять водою і розділяють, застосовуючи гідроциклон, який створює фракцію зерен більшого розміру (нижній продукт), яка здебільшого містить придатні для повторного використання абразивні зерна, та фракцію "верхнього продукту", яка складається з тонких частинок (непридатний для повторного використання абразив, кремнієвий поро-

шок та металеві порошки), суспендованих у воді, змішаною з меншою кількістю суспендуєної рідини. Фракцію, яка містить абразивні зерна, висушують у печі, а фракцію верхнього продукту з верхньої частини гідроциклону фільтрують, видобуваючи водний потік, який служить для розведення мокрих порошоків перед процесом гідроциклонного розділення та отриманням твердого залишку, який складається здебільшого з кремнієвого порошку та металів.

Суспендуєну рідину, яку видобувають після першого фільтрування гарячої відпрацьованої суспензії, очищають від інших залишків порошоків за допомогою операції подальшого фільтрування, після чого спрямовують на процес різання.

Стосовно якості відновлених абразивних зерен процес, описаний у патенті EP 0968801, також не дозволяє досягти практично повного видалення тонких частинок, які залишаються у кількості приблизно 2% в абразивних зернах, які повертаються у процес різання. Іншим суттєвим недоліком процесу, який розглядається, крім потреби у попередньому нагріванні відпрацьованої суспензії з метою зниження її в'язкості, є потреба у додаванні значної кількості води до мокрих порошоків, отриманих після першого фільтрування, для здійснення процесу розділення у гідроциклоні. І нарешті, також необхідно зазначити, що втрачається менша кількість мастильно-охолоджувальної рідини, оскільки вона залишається у твердій речовині після першого фільтрування.

Інший запропонований спосіб переробки відпрацьованих абразивних суспензій, які мають водорозчинну рідку основу (зокрема, поліетиленгліколь, PEG), описується у міжнародній патентній заявці WO 02/096611 (MEMC Electronic Materials and Garbo Servizi), згідно з якою відпрацьовану суспензію спочатку розділяють на тверду фракцію та рідку фракцію, практично вільну від твердих речовин, за допомогою фільтрування. Відокремлені тверді речовини, які включають придатні для повторного використання абразивні зерна, невідновлювані зерна і кремнієві та металеві порошки, а також незначну кількість суспендуєної рідини, промивають у воді, а потім обробляють розчином гідроксиду натрію (агентом лужного вилуговування) для здійснення розчинення тонких частинок кремнію та їх видалення. Фільтрат, отриманий від вищезгаданої операції, після цього обробляють агентом кислотного вилуговування (таким, як розчин сірчаної кислоти) для здійснення розчинення металевих порошоків та їх видалення, таким чином, отримуючи суміш лише зерен придатного та не придатного для повторного використання абразивного матеріалу після промивання твердої фракції. Ця тверда фракція, очищена від тонких забруднювачів шляхом хімічного травлення, може бути розділена згідно з розміром зерен на придатні для повторного використання зерна та відпрацьовані зерна - через обробку в гідроциклоні, очевидно, після відповідного розведення водою.

Отже, на відміну від інших описаних вище способів, ця складна серія операцій дозволяє повністю видалити небажані тонкі частинки, які зазвичай

залишаються на абразивних зернах, видобутих з відпрацьованої суспензії і повернутих у процес.

Слід зазначити, що після кожної з вищезгаданих операцій хімічного травлення, промивання та фільтрування твердий залишок повинен забиратися з фільтрувального обладнання і подаватися на наступну фазу, а це також має недолік додаткового стирання абразивних зерен, які підлягають відновленню.

По відношенню до відновлення рідкої фракції, первісно відокремленої шляхом фільтрації від відпрацьованої суспензії, у заявці WO 02/096611 повідомляється, що вищезгадана фракція може безпосередньо повторно використовуватися у процесі різання як мастильно-охолоджувальна рідина. Цю фракцію змішують з меншою кількістю рідини, видобутої шляхом промивання шару осаду від першого фільтрування, і, таким чином, можна вважати, що відновлення водорозчинної становить практично 100%.

Великим недоліком описаного вище способу, крім складності серії операцій, необхідних для видобування та очищення твердої фракції, є високе споживання хімічних агентів у розчині, необхідному для здійснення етапу вилуговування.

Враховуючи існуючий рівень техніки, метою даного винаходу є забезпечення способу переробки відпрацьованих абразивних суспензій, які належать до типу, який застосовується для нарізання тонких кремнієвих дисків за допомогою дровових пилкоз з метою відновлення компонентів багаторазового використання, причому спосіб дозволяє практично повністю відновлювати абразивні зерна багаторазового використання та суспендуєну рідину за допомогою економічно вигідного процесу нескладного керування. Цей спосіб також повинен гарантувати повне видалення з відновленого і придатного для повторного використання матеріалу небажаних компонентів тонкого порошку, який утворюється від процесу різання і від подрібненого і витраченого абразивного матеріалу.

На основі відомих і представлених вище процесів, тобто, способів, які передбачають, як першу операцію у розділенні відпрацьованої суспензії, видобування повторно використовуваних абразивних зерен з решти суспензії за допомогою мокро-го сортування за розміром у гідроциклоні, згідно з даним винаходом було розроблено систему, в якій це мокре сортування здійснюють в оптимальному варіанті не в одному гідроциклоні, а - після первісного відокремлення шляхом центрифугування більшості мастильно-охолоджувальної рідини разом з частиною дрібніших твердих речовин - у групі гідроциклонів, послідовно сполучених відповідним чином. До гідроциклонів, які також можуть бути замінені на подібну групу послідовно з'єднаних центрифуг, у протитечії подають суспензію очищеної рідини, повернутої з однієї з наступних фаз обробки суспендуєної рідини і відповідним чином нагрітої. У запропонованій групі гідроциклонів суспензія, збагачена абразивними зернами, отримана як нижній продукт (UF) з нижньої частини одного гідроциклону подається у наступний гідроциклон у групі, а з нижнього продукту останнього з них отримують суспензію частинок абрази-

ву з оптимізованим розміром зерен. Відпрацьована суспензія, що подається на першу центрифугу для розділення твердої та рідкої фаз, не потребує попередньої обробки у формі розведення або нагрівання, і кількість рідкого розчинника, включеного у процес (як правило, води у разі водорозчинної суспензії) лише відповідає кількості розчинника, необхідного для відновлення, нехай навіть незначного, кількості втраченої на наступних етапах.

Згідно з іншим новим аспектом винаходу, UF-суспензію, видобуту за допомогою групи гідроциклонів, піддають подальшій обробці з метою видобування з неї залишкової кількості суспендуючої рідини та розчинника, які в ній містяться, і для подальшого очищення абразивних зерен, здійснюючи всі необхідні операції в одному багатофункціональному фільтрувальному пристрої без необхідності переміщення твердої речовини від однієї операції до наступної. У цій фазі фільтрування та обробки відновлених абразивних зерен суспензію, яка надходить з групи гідроциклонів, фільтрують і осад на фільтрі піддають наступним операціям гарячого промивання, вилуговування шляхом хімічного травлення - як кислотного, так і лужного - тонких частинок, які ще містяться в агломераті твердих речовин, з наступним промиванням та висушуванням очищених таким чином зерен без будь-якого видалення твердого матеріалу з пристрою. Це забезпечує значне заощадження часу та технологічних витрат і поліпшення якості отриманих абразивних зерен. Зрозуміло, що оскільки пристрій цього типу функціонує з переривчастим циклом, він повинен бути відокремлений від попередньої безперервної обробки шляхом мокрого сортування за розміром. Для цього процес передбачає проміжний резервуар для UF групи гідроциклонів, з якої суспензію беруть для подальшої обробки у багатофункціональному фільтрувальному пристрої.

Таким чином, даний винахід забезпечує спосіб переробки відпрацьованих абразивних суспензій, які включають суспендуючу рідину, придатні для повторного використання абразивні зерна, тонкі абразивні зерна, тонкі частинки кремнію та тонкі частинки металу, який включає такі етапи:

а) розділення відпрацьованої суспензії шляхом мокрого сортування за розміром на: i) рідку суспензію, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна у суміші суспендуючої рідини з рідким розчинником та ii) рідку суспензію в тій самій суміші, яка містить тонкі абразивні зерна, а також тонкі частинки кремнію та тонкі частинки металу;

б) видобування суспендуючої рідини з вищезгаданої рідкої суспензії, яка містить тонкі зерна та частинки, за допомогою обробки для відокремлення твердих речовин від рідин у поєднанні перегонкою рідкого розчинника;

і характеризується тим, що вищезгадану обробку з мокрим сортуванням за розміром на етапі а) здійснюють шляхом обробки суміші у центрифугі для розділення рідкої та твердої фаз, який, у свою чергу, подає утворену в результаті фракцію з вмістом твердої речовини у групу з принаймні двох послідовно з'єднаних гідроциклонів або двох

центрифуг у протитечії з рідкою фракцією, яка включає частину очищеної рідини, отриманої на вищезгаданих етапах б) видобування суспендуючої рідини з отриманням, таким чином, з нижнього продукту останнього гідроциклона або останньої центрифуги у групі рідкої суспензії, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна і яка є практично очищеною від тонких абразивних зерен. В оптимальному варіанті кількість гідроциклонів або центрифуг у групі згідно з даним винаходом становить від трьох до шести.

Центрифуга для розділення рідкої та твердої фаз, яка здійснює першу обробку відпрацьованої абразивної суспензії, розділяє її на дві суспензії, одна з яких є збагаченою твердими речовинами і містить в середньому 10-30% суспендуючої рідини та твердих частинок розміром понад 2 мкм, а інша є практично рідкою суспензією, яка містить 70-90% суспендуючої рідини та менші, тонкіші тверді частинки.

Також згідно з даним винаходом рідку суспензію, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна, отримані з нижнього продукту останнього гідроциклона або центрифуги з групи, піддають подальшій обробці з метою отримання абразивних зерен у сухому стані, очищених від залишків тонких зерен та макрочастинок, у багатофункціональному пристрої, включаючи здійснення таких послідовних етапів без будь-якого перенесення матеріалу: фільтрування вищезгаданої рідкої суспензії, промивання одержаних в результаті зерен та вилуговування з них, шляхом хімічного травлення, будь-яких тонких кремнієвих та металевих частинок і, нарешті, висушування зерен очищеного абразивного матеріалу.

На відміну від відомих систем існуючого рівня техніки, відпрацьовану суспензію подають безпосередньо до секції для мокрого сортування за розміром, без додавання будь-якої рідини, з метою видобування фракції, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна. Кількість рідкого розчинника, який додають у систему, в іншу секцію пристрою, лише служить для відновлення, нехай навіть незначного, кількості розчинника, втраченої системою.

Згідно з одним конкретним варіантом втілення даного винаходу, у багатофункціональному пристрої для фільтрування та обробки абразивних зерен здійснюють такі послідовні операції:

А) фільтрування рідкої суспензії, яка містить придатні для повторного використання абразивні зерна, отримані з нижнього продукту останнього гідроциклона або останньої центрифуги у групі;

В) промивання твердої фракції, одержаної в результаті операції А), з застосуванням рідкого розчинника;

С) вилуговування, шляхом хімічного травлення, тонких частинок кремнію та металу з твердої фракції, одержаної в результаті операції В), з утворенням силікатних розчинів та розчинів солей металевих забруднювачів, розчинених у рідкому відході;

Д) промивання твердої фракції, одержаної в результаті операції С), з застосуванням рідкого розчинника;

Е) висушування абразивних зерен, які складають тверду фракцію, одержану в результаті операції D).

В оптимальному варіанті операцію С) вилугування шляхом хімічного травлення здійснюють у такі два послідовні етапи:

С1) каустичне травлення тонких частинок кремнію шляхом обробки твердої фракції, одержаної в результаті операції В), розчином лужного агента, зокрема, каустичної соди або гідроксиду калію;

С2) кислотне травлення металевих тонких частинок шляхом обробки твердої фракції, одержаної в результаті операції С1), розчином кислотного агента, зокрема, азотної кислоти, хлористоводневої кислоти, оксалатної кислоти, сірчаної кислоти, лимонної кислоти або винної кислоти або їх сумішей.

У процесі згідно з даним винаходом рідка фракція, яка надходить у протитечії до групи гідроциклонів або центрифуг, в оптимальному варіанті включає, крім частини очищеної рідини, отриманої на етапах б) видобування суспензуючої рідини, також рідину, отриману в результаті операції А) фільтрування суспензії, отриманої, з нижньої частини останнього гідроциклону або центрифуги у групі, та рідину, отриману в результаті операції В) наступного промивання.

З вищевикладеного випливає, що процес згідно з даним винаходом може бути ідеально поділений на три секції. Перша секція складається з сепаратора для розділення твердої та рідкої фаз (центрифуга) та групи гідроциклонів або центрифуг, а друга виконує обробку видобутих абразивних зерен з застосуванням різних операцій, які здійснюються з двома фільтрами та додатковим резервуаром, у якому здійснюються хімічні реакції, або, іншими словами, у спеціальному багатофункціональному пристрої. Третя секція складається з серії операцій, які здійснюються на верхньому продукті з групи гідроциклонів або центрифуг, об'єднаному з рідкою фракцією, відокремленою первісним сепаратором для розділення твердої та рідкої фаз, з метою видалення небажаних тонких частинок та забезпечення можливості повторного використання суспензуючої рідини у процесі різання.

Згідно з варіантами втілення даного винаходу, яким віддають найбільшу перевагу, вищезгадану рідку суспензію ii), яка містить тонкі абразивні зерна та тонкі частинки кремнію та металу, отриману з верхнього продукту першого гідроциклону або першої центрифуги з вищезгаданої групи, піддають подальшій обробці у захисному гідроциклоні або центрифугі, і суспензію, отриману з верхнього продукту вищезгаданого захисного гідроциклону або центрифуги, піддають вищезгаданим етапам б) видобування суспензуючої рідини. Захисний гідроциклон або центрифуга призначається для захисту першого гідроциклону (або першої центрифуги) у групі від ризику насичення.

Таким чином, вищезгадані етапи б) видобування суспензуючої рідини, яке здійснюють у третій секції запропонованого процесу, включають як перший етап фільтрацію з прийманням також рідини, отриманої в результаті операцій А) та В) і

поданої на багатофункціональний пристрій для обробки абразивного зерна. Фільтрація дає очищену рідину, яка здебільшого містить суспензуючу рідину, рідкий розчинник та тонкі частинки металу, які потім розділяють на дві частини: більша з вищезгаданих частин складає вищезгадану частину очищеної рідини, яка подається у протитечії у перший гідроциклон або центрифугу з групи, а менша зазнає меншої обробки для відновлення суспензуючої рідини. Як стане більш зрозуміло нижче з посиланням на детальний опис деяких конкретних варіантів втілення даного винаходу, більша частина очищеної рідини зазвичай складає 40-90% очищеної рідини, отриманої шляхом фільтрування OF з групи гідроциклонів або центрифуг, і в оптимальному варіанті нагрівається перед подачею в вищезгадану групу.

В оптимальному варіанті меншу частину очищеної рідини, яку піддають подальшій обробці для відновлення суспензуючої рідини, з'єднують з фракцією, отриманою з вищезгаданої центрифуги для розділення рідкої та твердої фаз, яка виконує першу операцію процесу. Потім рідина може піддаватися подальшому очищенню згідно з однією або іншою з двох альтернативних процедур. На основі першої альтернативної процедури рідку фракцію, отриману в результаті вищезгаданого додавання, підлугуюють до pH 9-10 шляхом додавання лужного розчину, а потім піддають мікрофільтрації для видалення гідроксиду заліза, який утворюється після підлугування. Очищену рідину після мікрофільтрації нейтралізують шляхом додавання розчину кислоти і піддають перегонці для відокремлення вищезгаданого розчинника від суспензуючої рідини шляхом випарювання (розчинник спеціально вибирають таким чином, щоб він був легшим з двох компонентів). Таким чином, суспензуючу рідину піддають подальшому очищенню шляхом фільтрації, видаляючи сіль, яка утворюється після нейтралізації.

Згідно з альтернативною процедурою очищення суспензуючої рідини, вищезгадану меншу частину очищеної рідини піддають мікрофільтрації з метою видалення більшості тонких частинок металу з очищеної рідини і очищену рідину, отриману в результаті мікрофільтрації, піддають подальшій обробці на іонообмінних смолах з метою видалення іонів металу та інших забруднювачів з вищезгаданої очищеної рідини.

Для оптимального відокремлення останніх залишків небажаних тонких частинок вищезгадана обробка на іонообмінних смолах включає першу обробку на катіонних смолах та другу обробку на аніонних смолах.

Очищена рідина, отримана в результаті обробки іонообмінними смолами, складається з суміші суспензуючої рідини та рідкого розчинника, вільного від суспендованих твердих частинок або металів у розчині. Нарешті, таку суміш піддають перегонці для відокремлення - шляхом випарювання - вищезгаданого розчинника від очищеної суспензуючої рідини. Суспензуючу рідину, яка залишається після цієї операції, повертають безпосередньо у процес різання, і вона має такі самі

характеристики, що й свіжа мастильно-охолоджувальна рідина.

В обох із цих альтернативних процедур відновлення суспендуєної рідини після випарювання розчинник конденсується й повторно використовується у фазах промивання В) та/або D) абразивних зерен у вищезгаданому багатофункціональному пристрої. Завдяки відновленню та повторному використанню розчинника, весь процес потребує незначної кількості самого розчинника, яка по суті є рівноцінною кількості залишкової води, яка залишається у шарі абразивного матеріалу наприкінці першого процесу гарячого промивання відновлених абразивних зерен.

Слід зазначити, що спосіб згідно з даним винаходом може бути втілений як для обробки абразивних суспензій на олійній основі, так і для обробки водорозчинних абразивних суспензій, які на даний час є більш поширеними. В останньому разі оптимальною суспендуєною рідиною є поліетиле-н-гліколь (PEG), а рідким розчинником є вода.

Згідно з іншим аспектом, даний винахід забезпечує пристрій для переробки відпрацьованих абразивних суспензій згідно з описаним вище способом, включаючи такі послідовно взаємозв'язані елементи:

I. центрифугу для розділення рідкої та твердої фаз, яка подає першу відокремлену нею фракцію з вмістом твердих речовин у перший з групи послідовно з'єднаних принаймні двох гідроциклонів або центрифуг; нижній продукт з кожного гідроциклонів або центрифуг, який подається у наступний гідроциклон або центрифугу, разом з верхнім продуктом з розташованого далі через один гідроциклон або центрифуги, причому у вищезгадану групу гідроциклонів або центрифуг у протитечії подається рідка фракція, яка включає частину очищеної рідини, отриманої з вищезгаданих етапів b) відновлення суспендуєної рідини;

II. багатофункціональний пристрій для фільтрування та обробки абразивних зерен, призначений для здійснення нижчезазначених послідовних етапів без будь-якого перенесення матеріалу: фільтрації рідкої суспензії, яка містить абразивні зерна, отримані з нижнього продукту останнього гідроциклонів або центрифуги, наступного промивання отриманих в результаті зерен та вилугування з них, шляхом хімічного травлення, тонких частинок кремнію та металу і, нарешті, висушування очищеного гранулярного абразивного матеріалу;

III. секцію для обробки вищезгаданої рідкої суспензії ii), яка містить тонкі абразивні зерна та тонкі частинки кремнію та металу, отриману з верхнього продукту першого гідроциклонів або центрифуги з вищезгаданої групи, з метою відновлення рідкої суспензії.

Згідно з оптимальним варіантом втілення пристрою, група гідроциклонів або центрифуг включає ще один захисний гідроциклон або центрифугу для приймання верхнього продукту першого гідроциклонів або центрифуги з вищезгаданої групи, верхній продукт з якого(ї) надходить у вищезгадану секцію для обробки рідкої суспензії ii) замість вер-

хнього продукту вищезгаданого першого гідроциклонів або центрифуги.

В оптимальному варіанті, як було зазначено, вищезгаданий багатофункціональний пристрій для фільтрації та обробки абразивних зерен є пристроєм періодичної дії, який складається з камери тиску, яка містить фільтрувальний пристрій, на якому розміщуються абразивні зерна під час фільтрації та всіх наступних фаз промивання, вилугування та висушування.

Між вищезгаданими двома секціями I. та II. пристрою згідно з даним винаходом передбачено проміжний резервуар для збирання суспензії абразивних зерен, отриманих з вищезгаданої групи гідроциклонів або центрифуг, а отже, від'єднання безперервно функціонуючої секції установки від періодично функціонуючої секції.

Згідно з деякими конкретними варіантами втілення запропонованого пристрою, секція III. для обробки рідкої суспензії, отриманої з верхнього продукту першого гідроциклонів або центрифуги або з захисного гідроциклонів або центрифуги, включає фільтрувальний пристрій, з якого очищена рідина частково надходить на інші пристрої з метою відновлення суспендуєної рідини, а частково надходить у протитечії до вищезгаданої групи гідроциклонів або центрифуг. Крім того, до вищезгаданих інших пристроїв для відновлення суспендуєної рідини, належать пристрій для мікрофільтрації та випарник, придатний для відокремлення розчинника у формі пари від суспендуєної рідини, та, можливо, фільтрувальний пристрій для видалення з суспендуєної рідини залишків соляного розчину, які залишилися від вищезгаданої перегородки.

Згідно з альтернативним варіантом втілення системи, до вищезгаданих інших пристроїв для відновлення суспендуєної рідини також належать один або кілька пристроїв для обробки іонообмінними смолами.

Конкретні особливості даного винаходу, а також його переваги та відповідні способи застосування, більш наочно пояснюються з посиланням на представлений нижче детальний опис, який подається лише для прикладу і стосується деяких з оптимальних варіантів його втілення. Вони пояснюються на супровідних фігурах, серед яких:

Фігура 1 показує загальну блок-схему першого процесу переробки відпрацьованих абразивних суспензій згідно з даним винаходом;

Фігура 2 показує загальну блок-схему другого процесу переробки відпрацьованих абразивних суспензій згідно з даним винаходом;

Фігура 3 показує спрощене розташування групи послідовно з'єднаних гідроциклонів, які, разом з центрифугою для розділення рідкої та твердої фаз, представляють першу секцію пристрою, а також першу операцію третьої секції пристрою, що здійснює відновлення суспендуєної рідини;

Фігура 4 показує спрощене розташування групи центрифуг як альтернативу групі гідроциклонів з Фігури 3.

Як показано на блок-схемі з Фігури 1, спосіб згідно з даним винаходом та спеціально сконструйований пристрій для його втілення складаються,

головним чином, з трьох взаємозв'язаних секцій, з яких перші дві (представлені лівою колонкою діаграми) призначаються для видобування та очищення придатних для повторного використання зерен абразивного матеріалу, а третя секція (права колонка) призначається для обробки та відновлення суспендуючої рідини.

Відпрацьована суспензія, яка надходить із секції різання кремнієвої заготовки, має вміст твердих речовин 50-55% за масою і у представленому для прикладу випадку містить:

- придатні для повторного використання абразивні зерна з карбіду кремнію, які, для абразивної суспензії з великим розміром зерен (типу F500), мають розміри від 4 до 35 мкм, а для суспензії з дрібнішим розміром зерен (типу JS 1500 або JS 2000) мають розміри від 4 до 25 мкм; у даному разі вони складають 34-39% від маси відпрацьованої суспензії;

- непридатні для повторного використання абразивні зерна, які складають приблизно 7% від маси суспензії, з розміром зерен, дрібнішим за 4 мкм;

- тонкі частинки кремнію, які утворюються у вигляді пилу від процесу нарізання кремнієвої заготовки, які складають приблизно 7% від маси суспензії і мають розміри не більше 4 мкм - ці значення є середніми значеннями, оскільки розмір та кількість тонких частинок кремнію залежать від умов різання, від стану вичерпання суспензії, від діаметра кремнієвої заготовки, яку піддають різанню, і т. ін.;

- тонкі частинки металу, зокрема, заліза, які надходять з металевого дроту різача та з інших частин цього пристрою, які складають приблизно 2% від маси відпрацьованої суспензії - у даному разі кількість також може бути різною, залежно від умов процесу нарізання;

- суспендуючу рідину (мастильно-охолоджувальну рідину), яка може мати водорозчинну основу, наприклад, PEG, або олійну основу; у представленому прикладі абразивна суспензія виготовляється на основі PEG.

Вищезгадана відпрацьована суспензія надходить до сепаратора для розділення твердої та рідкої фаз (центрифуги), який подає отриману з нього суспензію (а), багату на тверді речовини, яка містить приблизно 30% PEG разом із зернами з розміром > 2 мкм, до групи гідроциклонів, показаних лише як єдиний блок на Фігурі 1. Вищезгадана група, у прикладі, більш детально показаному на Фігурі 3, включає п'ять послідовно з'єднаних гідроциклонів плюс захисний гідроциклон.

Як показано на Фігурі 3, група гідроциклонів приймає відпрацьовану суспензію у перший гідроциклон, а останній гідроциклон з групи у протитечії приймає частину (приблизно 40-90%, в оптимальному варіанті - 70-80%) очищеної рідини, отриманої від першої операції (фільтрації) обробки верхнього продукту групи гідроциклонів для видобування PEG. До цієї рідини, яка піддається фільтрації, також додають фракцію рідини, відновленої в результаті фільтрації абразивних зерен та наступного гарячого промивання, яке здійснюють у секції для обробки абразивного зерна (див. Фігуру

1). До рециркульованої очищеної рідини додають певну кількість свіжої води, яка у показаному прикладі складає приблизно 5% від загальної кількості води, яка циркулює в системі, і за кількістю дорівнює воді, втраченій у формі вологи у кінцевій фазі висушування відновлених абразивних зерен (див. Фігуру 1).

Як було зазначено, UF кожного гідроциклона подається у наступний гідроциклон, разом з верхнім продуктом з наступного через один гідроциклон. Гранулометричний склад суспензії абразивних зерен дедалі зменшується з проходженням від одного гідроциклона до наступного, доти, доки з нижнього продукту останнього гідроциклона не отримують суспензію, яка є практично вільною від тонких частинок карбіду кремнію і яка містить як небажані тверді речовини лише частину (приблизно 2-5%) тонких частинок кремнію та металу. Як показано на Фігурі 3, перед надходженням до секції фільтрації верхній продукт першого гідроциклона має пройти через інший, захисний гідроциклон, який захищає систему від насичення першого гідроциклона. Верхній продукт захисного гідроциклона надходить на фільтрацію, яка, як було зазначено, представляє першу операцію третьої секції процесу, з метою відновлення PEG, а нижній продукт комбінують з нижнім продуктом першого гідроциклона.

Як показано на Фігурі 1, багатий на абразивні зерна потік, отриманий з групи гідроциклонів, подається у проміжний резервуар, який від'єднує безперервний процес, який здійснюється у групі гідроциклонів, від періодичного процесу, який здійснюється у багатофункціональному пристрої для фільтрації та обробки відновлених абразивних зерен.

Згідно з альтернативним втіленням першої секції процесу, така сама серія заходів з обробки шляхом мокрого сортування за розміром, які здійснюються у групі гідроциклонів з Фігурі 3, може здійснюватися подібним чином у групі центрифуг, які належать до типу, показаного на Фігурі 4, з подібною схемою з'єднання різних пристроїв.

Як показано на Фігурі 1, суспензію повторно використовуваних абразивних зерен потім забирають з проміжного резервуару для обробки у багатофункціональний пристрій згідно з даним винаходом, де вона спочатку піддається фільтрації під тиском з утворенням твердої фракції, яка здебільшого містить придатні для повторного використання абразивні зерна, і яка залишається у пристрої, та рідкої фракції, яка здебільшого містить воду, PEG та тонкі частинки карбіду кремнію. Ця фракція повертається до секції для фільтрації суспендуючої рідини, отриманої як верхній продукт групи гідроциклонів.

Слід зазначити, що на Фігурі 1 всі блоки, які стосуються операцій, які здійснюються без перенесення твердої фракції всередині багатофункціонального пристрою згідно з даним винаходом, виділено сірим кольором.

Після фільтрування масу абразивних зерен промивають у гарячій воді, яка надходить із третьої секції системи, відновлюють шляхом прогонки суміші з PEG, з наступною конденсацією отрима-

ного потоку. Крім того, рідина, отримана в результаті промивання, повертається до секції фільтрації PEG. Абразивні зерна, які залишилися всередині багатофункціонального пристрою, потім обробляються у дві послідовні фази водним розчином каустичної соди або каустичного калію з метою травлення частинок кремнію, а потім промиваються водою, яка надходить із зовнішньої системи. Потім їх обробляють у розчині оксалатної кислоти (або азотної, хлористоводневої, сірчаної або винної кислоти) з метою травлення частинок металу, які залишаються абсорбованими у зерна, а потім промивають водою, яка надходить із зовнішньої системи. Потоки рідини, отримані в результаті цих операцій лужного та кислотного травлення, змішують і зливають як солевмісні відходи, а потік рідини, отриманий в результаті промивання після каустичного травлення, змішують зі свіжим розчином гідроксиду натрію або калію і використовують для каустичного травлення. Подібним чином потік рідини, отриманий в результаті промивання після кислотного травлення, змішують зі свіжим розчином оксалатної кислоти з додаванням сірчаної/хлористоводневої кислоти і використовують для кислотного травлення.

Остання фаза відновлення придатних для повторного використання абразивних зерен, яка здійснюється в цьому пристрої, складається з висушування очищених зерен - операція, яка може здійснюватися шляхом нагнітання гарячого повітря на шар зерен. Максимальний вологовміст відновлених зерен не перевищує 0,05%, а загальний вихід відновлюваних абразивних зерен у процесі становить 85-95%.

Крім уже зазначеної переваги, яка полягає у відсутності необхідності перенесення гранулярного матеріалу з одного пристрою до іншого для здійснення різних необхідних типів обробки, запропонований багатофункціональний пристрій згідно з даним винаходом завдяки роботі під тиском також має перевагу, яка полягає у допустимості високих робочих температур (до 180°C) без викликання проблеми закипання рідини, яку піддають обробці. Крім того, споживання води становить приблизно 1/10 порівняно з традиційним безперервним фільтром, і він також може застосовуватися навіть для дуже тонких частинок абразивного матеріалу без ризику забиття фільтра осадом, і, нарешті, вимагає операцій з чищення фільтра, які є дуже простими порівняно з тими, які застосовувалися б, якби такі самі операції здійснювалися в різних резервуарах.

Також на Фігурі 1 показано, що третя секція процесу, призначена для відновлення суспензуючої рідини та розчинника, включає - як було зазначено і згідно з альтернативним варіантом, показаним на цій фігурі - фільтрацію верхнього продукту, який надходить із групи гідроциклонів (тобто, з верхньої частини захисного гідроциклона групи). Ця суспензія у показаному прикладі містить тонкі частинки карбиду кремнію, а також 95-98% тонких частинок металу та кремнію у суміші PEG та води. Співвідношення між водою та PEG становить у межах (1-5):1, в оптимальному варіанті - дорівнює

приблизно 3:1. Як було зазначено, до цієї суспензії також додаються певні частини суспензії, яка повертається до системи з перших фаз секції для обробки абразивних зерен.

Кількість, яка становить приблизно 40-90% (в оптимальному варіанті 70-80%) рідини, отриманої в результаті фільтрації, повертається - при додаванні будь-якої свіжої води - у групу гідроциклонів після відповідного нагрівання, а рідина, що залишається, надходить на наступну фазу відновлення PEG та води.

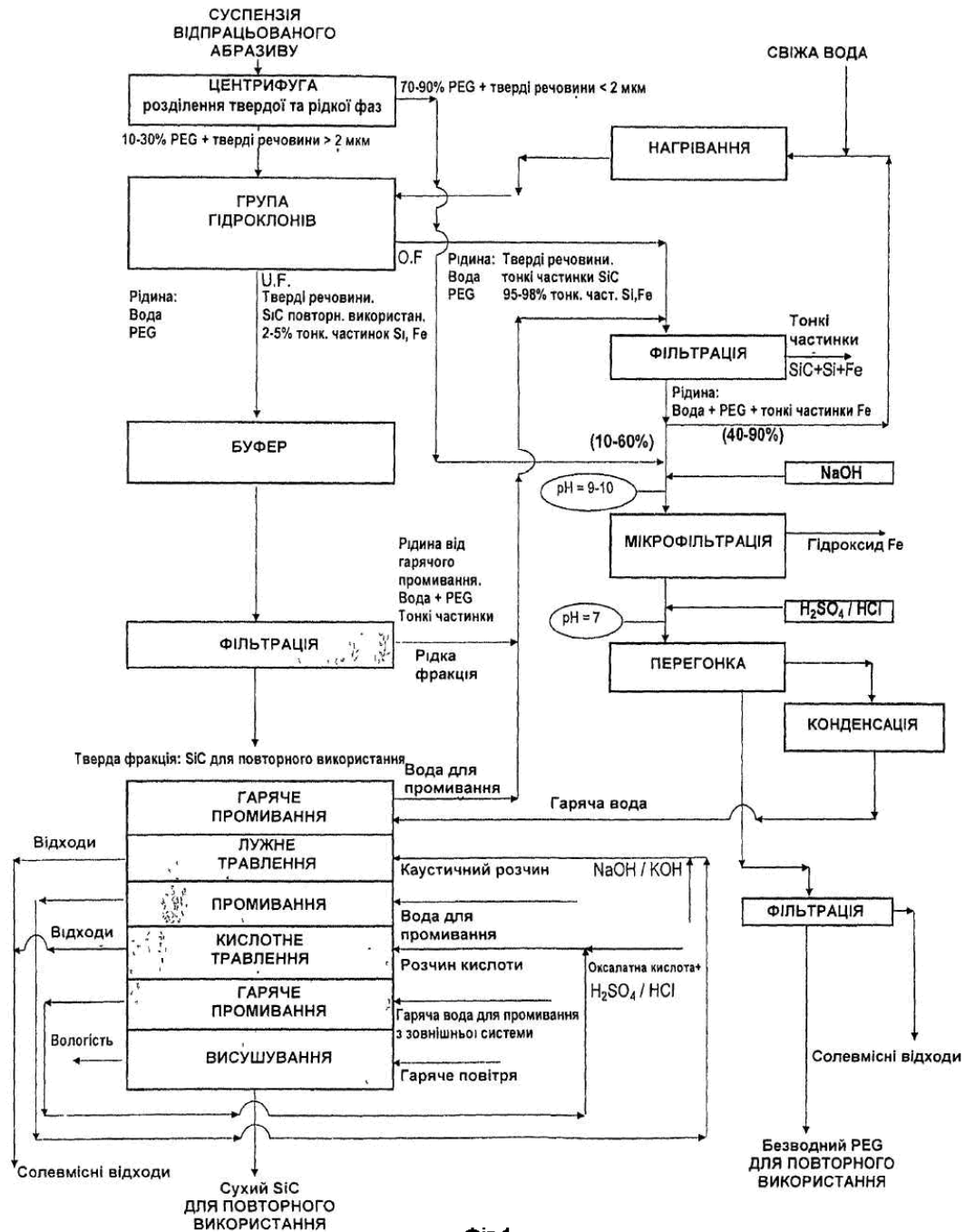
До рідини, яка з'єднується з рідкою фракцією, яка містить 70-90% PEG, присутнього у відпрацьованій суспензії, відокремлюється первісним центрифугувальним сепаратором, спочатку додають розчин гідроксиду натрію з метою підлугування фільтрату до pH від 9 до 10, а потім піддають мікрофільтрації. Це дозволяє видалити тонкі частинки осажденного гідроксиду заліза. Потім суспензію нейтралізують хлористоводневою або сірчаною кислотою і піддають перегонці. Після цієї операції випарена вода може бути видобута шляхом конденсації з метою повторного використання при гарячому промиванні абразивних зерен, видобутих у другій секції пристрою.

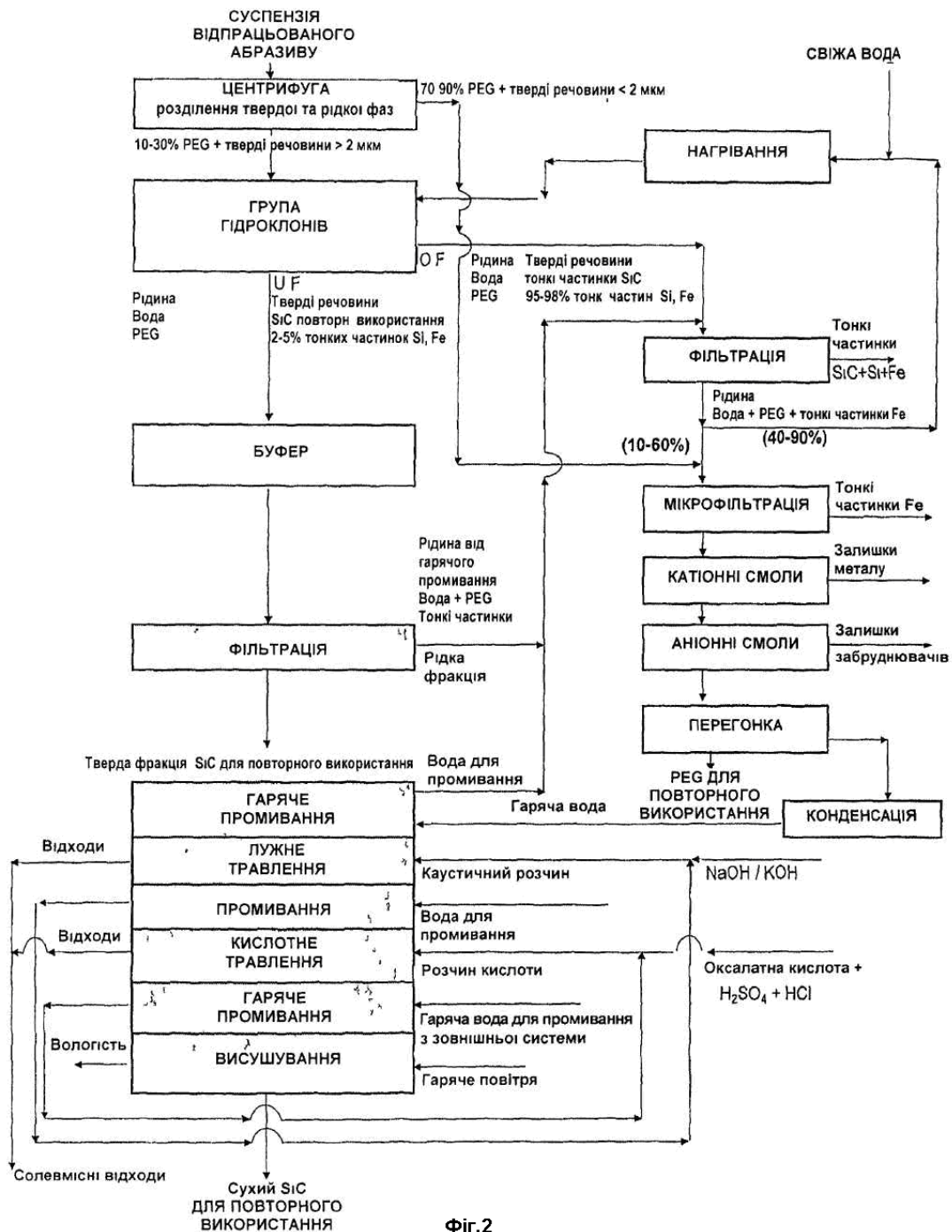
Висококиплячий компонент, який залишається як залишок від перегонки, складається з безводного PEG, який підлягає фільтруванню з метою видалення солі (хлориду/сульфату натрію), утвореної під час операції нейтралізації.

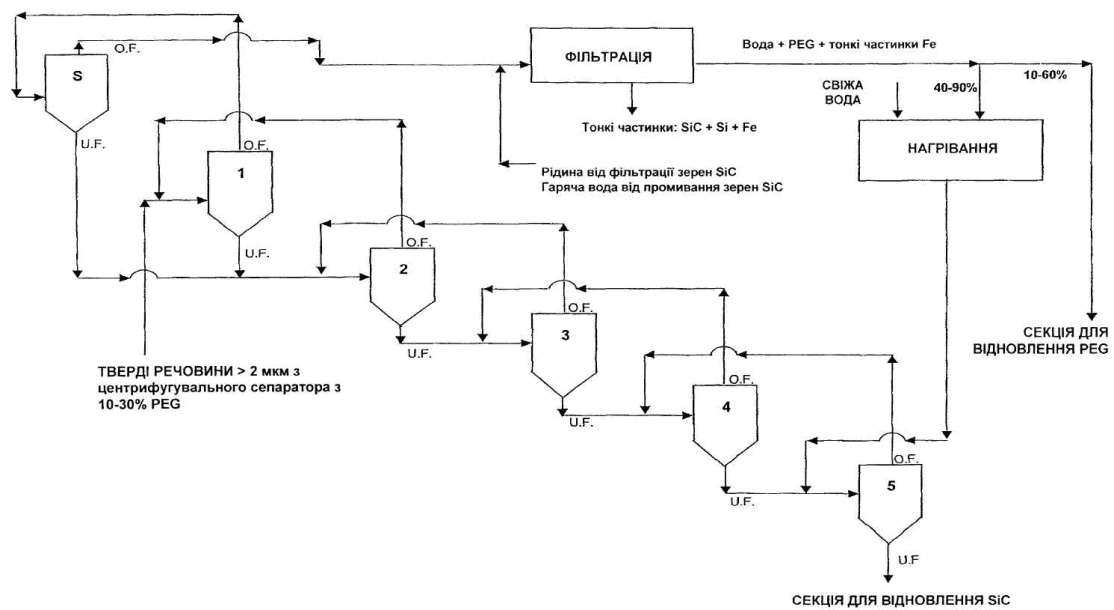
Альтернативну схему процесу для третьої секції процесу згідно з даним винаходом, тобто, секції для відновлення PEG, показано на Фігурі 2. На ній представлено фази, подібні до фаз, показаних на Фігурі 1 для перших двох секцій, і відрізняється лише третя секція. У цьому разі потік рідини, яка надходить після мікрофільтрації і до якої додають рідку фракцію з первісного центрифугувального сепаратора, не підлугуюють, а безпосередньо піддають мікрофільтрації, яка видаляє частинки металу (здебільшого заліза). Інші залишки розчинених металів та інших забруднювачів видаляються шляхом пропущення потоку рідини над шаром іонообмінних смол. В оптимальному варіанті, замість застосування змішаних шарів, потік рідини спочатку пропускають над шаром катіонних смол, а потім над шаром аніонних смол.

Наприкінці цієї обробки потік рідини складається лише з двокомпонентної суміші PEG та води, з якої вода може бути видобута шляхом випарювання, і залишається PEG, очищений і повністю вільний від твердих речовин. Він може безпосередньо подаватися на процес різання. Загальний вихід суспензуючої рідини, тобто, співвідношення між PEG, отриманим як кінцевий продукт третьої секції описаного процесу, та тим, що надходить з відпрацьованою абразивною суспензією, становить 85-95%.

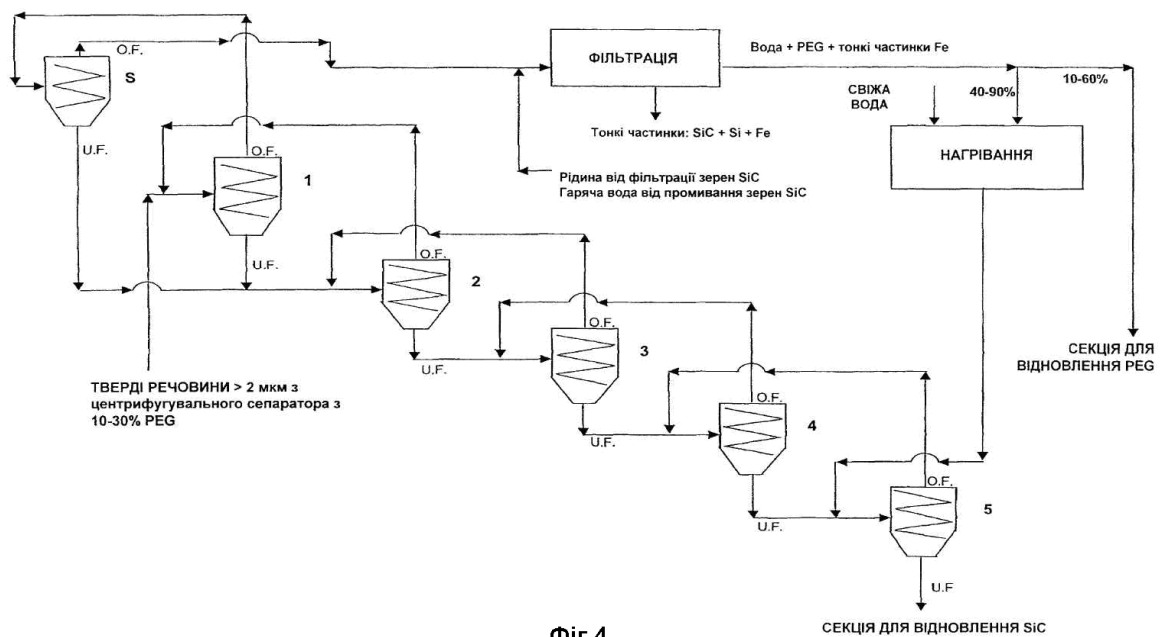
Даний винахід було описано з посиланням на конкретні варіанти його втілення, але слід розуміти, що спеціалістами у даній галузі можуть бути здійснені модифікації та зміни без відхилення від обсягу винаходу, який визначається супровідною формулою винаходу.







Фіг.3



Фіг.4