



УКРАЇНА

(19) UA (11) 74799 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01N 27/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТИНОК У РІДКОМУ МЕТАЛІ

1

(21) 2002053889  
(22) 10.09.2001  
(24) 15.02.2006  
(86) PCT/IB01/02405, 10.09.2001  
(31) 60/231,783  
(32) 12.09.2000  
(33) US  
(46) 30.01.2006, Бюл. № 2, 2006 р.  
(72) Конті Річард Ф., US, Макколей Уільям, US, Копанські Грегори, US  
(73) ХЕРАУС ЕЛЕКТРО-НАЙТ ІНТЕРНЕШНЛ Н.В., BE  
(56) US 4555662, 26.11.1986  
FR 2208523, 21.06.1974  
US 5198749, 30.03.1993  
US 5448923, 12.09.1995  
US 3709040, 09.01.1973  
US 5789910, 04.08.1998  
EP 0398719, 22.11.1990  
(57) 1. Зонд для занурення в рідкий метал для виявлення та вимірювання завислих у ньому частинок за допомогою методу електрочутливої зони, який містить, як правило, герметизовану внутрішню трубу, виготовлену з електроізоляційного матеріалу, яка утворює камеру для приймання рідкого металу, причому труба має принаймні один отвір поблизу занурюваного кінця зонда, щоб рідкий метал міг затікати всередину камери, перший електрод, який простягається всередину камери для контактування з металом всередині камери, другий електрод, що оточує принаймні частину внутрішньої труби, для контактування з рідким металом за межами камери, причому перший та другий електроди виконані з можливістю приєднання до вимірювального пристрою для встановлення доріжки струму між електродами, яка проходить принаймні через один отвір, та для вимірювання змін електричного потенціалу між електродами, які (зміни) викликаються частинками, захопленими рідким металом, коли вони проходять через отвір; зовнішню оболонку з теплоізоляційного матеріалу, що оточує принаймні частину другого електрода для забезпечення його теплоізоляції, газовий канал, що виходить за межі внутрішньої труби для приєднання до вакуумного насоса, щоб створювати різницю тисків між внутрішньою і зовнішньою частинами внутрішньої труби і цим сприяти протіканню рідкого металу через

2

отвір; який **відрізняється** тим, що всередині камери міститься знижуючий ліквідус матеріал для сплавлення з рідким металом, який подається у камеру, щоб знизити температуру ліквідусу рідкого металу в камері і забезпечити довший період часу для виявлення та вимірювання частинок у рідкому металі.  
2. Зонд за п. 1, який **відрізняється** тим, що знижуючий ліквідус матеріал вибирають з групи, що містить Al, Au, Be, C, Co, Ge, Mn, Ni, P, S, Sb, Si, Sn та їх сплави.  
3. Зонд за п. 1, який **відрізняється** тим, що знижуючий ліквідус матеріал виконаний з дроту, котрому надано форму спіралі.  
4. Зонд за п. 1, який **відрізняється** тим, що знижуючий ліквідус матеріал розплавиться раніше, ніж будь-яка кількість рідкого металу затече до камери.  
5. Зонд за п. 1, який **відрізняється** тим, що газовий канал спочатку приєднується до джерела очищувального газу, щоб примусити очищувальний газ текти в камеру, принаймні під час занурення зонда в рідкий метал, і так повернути потік рідкого металу всередину камери.  
6. Зонд за п. 5, який **відрізняється** тим, що містить, крім того, клапан для приєднання газового каналу або до вакуумного насоса, або до джерела очищувального газу.  
7. Зонд за п. 1, який **відрізняється** тим, що газовий канал простягається всередину внутрішньої труби на попередньо визначену відстань, щоб установити ту кількість металу, яка може увійти в камеру.  
8. Зонд за п. 1, який **відрізняється** тим, що перший електрод складається з газового каналу і принаймні однієї дротини, що простягається від газового каналу всередину камери.  
9. Зонд за п. 1, який **відрізняється** тим, що внутрішні розміри другого електрода більші, ніж зовнішні розміри внутрішньої труби, щоб між ними утворювався кільцевий простір.  
10. Зонд за п. 9, який **відрізняється** тим, що додатково містить розпірну деталь, розміщену в кільцевому просторі поблизу занурюваного кінця другого електрода.  
11. Зонд для занурення в рідкий метал для виявлення та вимірювання завислих у ньому частинок за допомогою методу електрочутливої зони, який

(13) C2

(11) 74799

(19) UA

містить камеру для приймання металу, виготовлену з електроізоляційного матеріалу, причому камера має отвір, щоб рідкий метал міг затікати в неї, перший електрод, який простягається всередину камери для контактування з металом всередині камери, другий електрод, розташований за межами камери для контактування з рідким металом за межами камери, причому перший та другий електроди виконані з можливістю приєднання до вимірювального пристрою для встановлення доріжки струму між електродами, яка проходить через отвір, та для вимірювання змін електричного потенціалу між електродами, які (зміни) викликаються частинками, захопленими рідким металом, коли вони проходять через отвір всередину камери; який **відрізняється** тим, що всередині камери міститься знижуючий ліквідус матеріал для сплавлення з рідким металом, який подається у камеру, щоб знизити температуру ліквідусу рідкого металу в камері і забезпечити довший період часу для виявлення та вимірювання частинок у рідкому металі.

12. Спосіб виявлення та вимірювання завислих у рідкому металі частинок за допомогою зонда, який

містить, як правило, загалом герметизовану внутрішню трубу, виготовлену з електроізоляційного матеріалу, яка утворює приймальну камеру, причому труба має отвір, щоб рідкий метал міг затікати в камеру, перший електрод, який простягається всередину камери для контактування з металом всередині камери, другий електрод, який оточує принаймні частину внутрішньої труби, для контактування з рідким металом за межами камери, зовнішню оболонку з теплостійкого матеріалу, що оточує принаймні частину другого електрода для забезпечення його теплоізоляції, і газовий канал, що виходить за межі внутрішньої труби, за який розміщують знижуючий ліквідус матеріал всередині камери, приєднують перший та другий електроди до вимірювального пристрою, приєднують газовий канал до вакуумного насоса, вводять зонд в рідкий метал так, щоб рідкий метал затікав через отвір всередину камери, встановлюють вимірювальним пристроєм доріжку струму між електродами, яка проходить через отвір, вимірюють зміни електричного потенціалу між електродами, які (зміни) викликаються частинками, захопленими рідким металом, коли вони проходять через отвір.

Дана заявка претендує на пріоритет попередньої заявки на патент США за №60/231,783, заявленої 12 вересня 2000 року під назвою "Пристрій для виявлення та вимірювання частинок у рідкому металі", яка згадується тут у вигляді посилання.

Винахід загалом стосується пристрою для виявлення та вимірювання частинок у рідкому металі, а більш конкретно, удосконаленого пристрою, який містить матеріал, що знижує ліквідус, тобто знижує температуру, при якій відібрана проба рідкого металу почне нормально твердіти, що дає можливість впродовж довшого часу дослідити більшу кількість рідкого металу з більш досконалим вимірюванням частинок.

Рідкі метали, зокрема, рідкі алюміній та сталь, часто до деякої міри забруднені захопленими неметалевими вкрапленнями, які потенційно є джерелом різних недосконалостей або дефектів в готовій металевій продукції. Частіше, неметалеві вкраплення певного розміру або діапазону розмірів, як наприклад, оксид алюмінію в заготовці глибокої витяжки, виявляються згубними для тягнутої заготовки, інформація про кількість таких вкраплень була б корисною для визначення придатності готової продукції до використання.

В патенті США №2,656,508, виданому 20 жовтня 1953р. Уолласу А. Култеру, описано пристрій для виявлення з допомогою електричної зони частинок, завислих у рідині. Типовий пристрій складається з труби з отвором у стінці, яка розміщується всередині посудини більших розмірів. Суспензію рідкого електроліту, що містить частинки, які мають бути виявленими та вимірними, поміщають у посудину і шляхом створення різниці тисків рідини всередині труби і в посудині примушують рідину текти в трубу через отвір, і посудину, і трубу виготовляють з ізоляційного матеріалу, наприклад,

скла, а через отвір пропускають електричний струм незмінної величини. Наявність частинок в рідині, що тече через отвір, спричинює до змін електричного опору, вимірюного в отворі, а тому кожного разу, коли частинка проходить через отвір, електрична напруга, яка підтримує постійну величину струму, змінюється відразу зі зміною опору, із зміни опору, викликаної кожною частинкою, що проходить через отвір, схема реєстрації визначає її розмір, причому ця зміна залежить від об'єму електроліту, який було витіснено з отвору частинкою, і від питомого опору матеріалу частинки. Отримані сигнали підсилюються і обробляються відповідними електронними схемами.

В патенті США №4,555,662 описано спосіб та пристрій для виявлення і вимірювання частинок, завислих у пробі рідкого металу, які мають розміри, більші попередньо заданого, а електропровідності яких відрізняються від електропровідності рідкого металу. Пристрій складається з електроізоляційної посудини, що має невеликий канал (звичай, від 200 до 500 мікронів у діаметрі), який проходить крізь неї; пари електродів, які розташовані всередині та зовні посудини і між якими через рідкий метал проби створюється доріжка струму, що проходить через цей невеликий канал; засобів для пропускання проби рідкого металу через канал; та засобів для пропускання електричного струму через розплавлений метал по доріжці струму між двома електродами та для реєстрації змін напруги, які виникають внаслідок проходження частинок через канал. Пристрій містить також засоби для підрахунку числа змін напруги протягом певного часу вимірювання, як представника числа цих частинок, та для вимірювання величини кожної зміни напруги, як представника розміру частинок, котрі створюють такі зміни. Описаний пристрій

містить тугоплавку трубу з малим отвором в її нижній частині, яка заглиблюється в рідкий метал, наприклад, у лоток, уздовж якого тече цей рідкий метал. Один електрод розміщено всередині труби, інший - зовні труби. Рідкий метал примушують проходити через малий отвір, створюючи різницю тисків всередині і зовні труби.

Принцип роботи пристроїв, описаних у двох зазначених вище патентах, стосується вимірювань неметалевих частинок в рідкому алюмінії. Через велику різницю між відповідними температурами обробки ці пристрої, застосовані для вимірювання частинок в рідкому алюмінії, не придатні для використання в рідкій сталі. Описані лічильники частинок зазвичай використовуються під час досліджень рідкого алюмінію при температурі порядку 750°C тоді, як температура при вимірюваннях у сталі буде ближче до порядку 1550°C. Тому не можна скористатися простою заміною матеріалів деталей пристрою на більш придатні. Кількість металів, які здатні протистояти таким високим температурам і які при цих температурах стабільні протягом відносно тривалих проміжків часу, необхідних для виконання результативних вимірювань, обмежена, а крім того, ці матеріали дуже дорогі.

У патенті США №5,198,749 зроблена спроба розібратися з численними відмінностями в конструкції пристрою, зумовленими високою температурою обробки сталі ті її сплавів, і запропонувати стратегію вимірювань з метою подолання складнощів, які виникають під час відносно тривалих вимірювань при високих температурах. Пристрій, запропонований у цьому патенті, містить зонд одноразового використання, який з можливістю відокремлення приєднано до елемента опори. Відокремлюваність пристрою є звичним явищем для спеціалістів, що мають справу із сенсорами одноразового використання в чорній металургії. Зонд має електрод і отвір з конфігурацією попередніх пристроїв більш тривалого використання та вставку, яка обмежує струмінь і сприяє охолодженню металу, що входить, безпосередньо після занурення зонда в рідкий метал. Перед зануренням зонда його отвір прикривається плавким чохлам, а чохол захищається плавким екраном (ковпаком захисту від шлаку), який дає можливість зонду пройти через поверхневий шлаковий шар без проникнення шлаку всередину зонда. Застосування такого ковпака також добре відоме спеціалістам, що мають справу із сенсорами одноразового використання для рідкого металу. Наповнення внутрішньої камери рідким металом може бути прискорене зниженням тиску всередині труби або може бути уповільнене позитивним тиском, який утримує потік з числом Рейнольдса меншим 2000. Внутрішня камера розділена вузьким отвором на два відсіки, тому коли метал входить і заповнює один відсік, він буде тверднути в отворі; внаслідок цього він не може увійти в другий відсік, забезпечуючи тим самим захист вакуумного пристрою, якщо такий використовується, та забезпечуючи входження в трубу заданої кількості металу.

Хоча для подолання проблем довготермінових вимірювань при високій температурі у пристрої, згідно з патентом №5,198,749, застосовано принцип сенсора одноразового використання з корот-

ким терміном вимірювань, приблизно 2 хвилини, запропоноване в ньому рішення викликало низку нових проблем. Конструкція описаного вище пристрою для короткотермінових вимірювань не забезпечує достатнього часу для попереднього прогрівання внутрішніх компонентів зонда. Рідкий метал, який входить у зонд, виливається на матеріал його внутрішньої частини, що має близьку до кімнатної температуру, а тому метал швидко охолоджується. Брак відповідного попереднього прогрівання призводить до передчасного твердіння рідкого металу, що входить у внутрішню камеру, фактично обмежуючи ту кількість металу, яка може бути досліджена. Температура ліквідусу рідкого матеріалу це та температура, при якій з рідини, що охолоджується, починає виділятися тверда фаза. Різниця між температурою обробки рідкого металу і температурою ліквідусу називається перегрівом. Ще одна проблема виникає тоді, коли такі зонди призначені для занурення у рідку сталь проміжного розливного пристрою під час безперервного розливання. Температура рідкої сталі в проміжному пристрої, як правило, приблизно на 20-40°C перевищує температуру ліквідусу сталі, створюючи перегрів у 20-40°C. Рідка сталь має низький тепловміст і не здатна підняти температуру внутрішніх стінок камери зонда, аби підтримати умови для дослідження незатверділої проби. За рахунок теплопровідності до холодніших частин зонда маса вимірювального пристрою сама по собі охолоджує рідкий метал в камері протягом и наповнення, обмежуючи тим самим успішне застосування таких зондів до металів, що мають відповідний перегрів.

Згідно з даним винаходом пропонується датчик одноразового використання для виявлення вкраплень у рідкому металі, який занурюється в рідкий метал при температурі, близькій до його температури твердіння, тобто із незначним перегрівом, і виявляє вкраплення в рідкому металі з допомогою відомого методу електрочутливої зони. Даний винахід відрізняється тим, що зонд, який з метою виявлення вкраплень занурюється в рідкий метал, має гарно теплоізольовану внутрішню камеру, а внутрішня камера містить одну або більше добавку, котра ефективно знижує ліквідує або температуру твердіння металу, що надходить.

Даний винахід містить пристрій для виявлення непровідних частинок у ванні рідкого металу, зокрема, сталі та сплавів із великим вмістом заліза. Під час роботи рідкий метал прокачують через отвір в електроізоляційній тугоплавкій стінці для встановлення доріжки струму від внутрішнього резервуару через отвір до ванни рідкого металу. Струм іде вздовж цієї доріжки. Індикатором проходження завислих частинок через отвір є зміни напруги, у вигляді імпульсів, які вимірюються. Розміри імпульсів указують на розміри частинок, а підрахунок числа імпульсів дає розподіл за розмірами неметалевих вкраплень, виявлених у рідкому металі.

Даним винаходом запропоновано пристрій одноразового використання для виявлення і вимірювання концентрації та розподілу за розмірами частинок, завислих у рідкому металі; в пристрої застосовано метод електрочутливої зони, який діє відносно швидко і має мінімальну масу датчика. В

одному варіанті здійснення винаходу електрод(и) внутрішньої камери розташований(и) вздовж стінки камери так, що метал, який входить в камеру і "піднімається" вгору до її теплового центру, передчасно не охолоджується електродом. Коли метал заповнює камеру, він тече вгору через тепловий центр, потім контактує зі стінками і електродом, де він охолоджується і твердне. Даний винахід може бути використаним під час операцій обробки рідкого металу і здатний досліджувати метал поблизу його температури твердіння. Даний винахід містить добавку, яка знижує температуру ліквідусу металу у внутрішній камері шляхом сплавлення металу, який входить у камеру, з іншим металом або металами, вибраними з кількох металів, про яку, відомо, що вони знижують температуру ліквідусу того металу, що надходить, ефективно підвищуючи його перегрів і даючи можливість довший час проводити ефективні вимірювання зондом.

Даний винахід містить удосконалений зонд, який занурюється в рідкий метал з метою виявлення і вимірювання завислих у ньому частинок з допомогою методу електрочутливої зони. Зонд містить, як правило, герметизовану внутрішню трубу, виготовлену з електроізоляційного матеріалу, яка утворює камеру для приймання рідкого металу. Труба має принаймні один отвір поблизу занурюваного кінця зонда, щоб рідкий метал міг затікати всередину камери. Всередину камери виходить перший електрод для контактування з металом всередині камери. Другий електрод оточує принаймні частину внутрішньої труби для контактування з рідким металом за межами камери. Перший та другий електроди виконані з можливістю приєднання до вимірювального пристрою з метою встановлення доріжки струму між електродами, яка проходить через отвір для вимірювання змін електричного потенціалу між електродами, які (зміни) викликаються частинками, захопленими рідким металом, коли вони проходять через отвір. Тому, аби забезпечити теплоізоляцію, принаймні частина другого електроду оточена зовнішньою оболонкою з теплостійкого матеріалу. Для сприяння потоку рідкого металу через отвір, за межі внутрішньої труби виходить газовий канал, який з'єднується з вакуумним насосом для створення різниці тисків між внутрішньою і зовнішньою частинами внутрішньої труби. Удосконалення полягає в застосуванні матеріалу, який знижує ліквідус і який розміщують всередині камери для його сплавлення з рідким металом, що входить у камеру, аби знизити температуру ліквідусу рідкого металу в камері і забезпечити довший період часу для виявлення та вимірювання частинок у рідкому металі.

Викладений вище короткий зміст, як і наступний детальний опис варіантів винаходу, яким віддається перевага, будуть краще зрозумілими у поєднанні з доданими ілюстраціями. Для ілюстрації винаходу на кресленнях подані варіанти, яким віддається перевага. Однак, слід розуміти, що винахід не обмежується лише показаними засобами та розміщенням компонентів. На ілюстраціях:

Фіг.1 - вертикальний розріз варіанту зонда, якому віддається перевага, згідно з даним винаходом;

Фіг.2 - збільшений вертикальний розріз з'єднувального кінця зонда, показаного на Фіг.1;

Фіг.3 - збільшений вертикальний розріз занурюваного кінця зонда, показаного на Фіг.1; і

Фіг.4 - фазова діаграма, яка ілюструє ефект добавки понижуючого ліквідусу матеріалу, якому віддається перевага, в камеру зонда з Фіг.1.

На Фігурах 1-3 показано варіант, якому віддається перевага, здійснення зонда 10, згідно з даним винаходом, для виявлення та вимірювання частинок, завислих у рідкому металі. Зонд 10, як правило, видовжений і циліндричний, містить занурюваний кінець 12 і з'єднувальний кінець 14. З'єднувальний кінець 14 зонда пристосований для кріплення до опорної конструкції (не показана), яка добре відома спеціалістам і яка використовується для занурення вимірювальних зондів у рідкий метал. Інші деталі, що стосуються структури і роботи опорної конструкції, не мають значення для повного розуміння даного винаходу.

Зонд 10 містить видовжену внутрішню трубу 16 із закритим кінцем, яка виготовлена з електроізоляційного матеріалу, здатного витримувати високі температури, котрі мають місце у ванні рідкої сталі або іншого рідкого металу. В даному варіанті здійснення винаходу внутрішня труба 16 виготовлена з кварцу. Однак, спеціалістам зрозуміло, що, як альтернатива, можуть бути застосовані й інші матеріали, які мають необхідні електроізоляційні та високотемпературні властивості. Як видно, занурюваний кінець внутрішньої труби 16 закритий, а з'єднувальний кінець ущільнюється з допомогою відповідної, як правило, циліндричної електроізоляційної заглушки або ущільнюючого елемента 18. Ущільнюючий елемент 18, який виготовлено переважно з полімерного матеріалу, прикріплюється всередині відкритого кінця внутрішньої труби 16, переважно з використанням відповідного сполучного матеріалу 20, для утворення газонепроникного ущільнення із з'єднувальним кінцем внутрішньої труби 16. Хоча ущільнюючий елемент 18 виготовлено переважно з полімерного матеріалу, спеціалістам зрозуміло, що, як альтернатива, може бути застосованим також інший підходящий матеріал, який здатний утворити газонепроникне ущільнення з внутрішньою трубою 16, як самостійно, так і в комбінації з іншими матеріалами, герметиками, сполучними матеріалами тощо. Сполучним матеріалом 20, переважно, є товщина епоксидна смола класу, придатного для створення ущільнення з кварцом або з іншим матеріалом, що використовується для виготовлення внутрішньої труби 16. Альтернативно можуть бути використані й інші сполучні матеріали, відомі спеціалістам.

Занурюваний кінець внутрішньої труби 16 сформовано у вигляді камери 15 для приймання рідкого металу. У внутрішній трубі 16 поблизу занурюваного кінця виконано принаймні один отвір 17, який дозволяє рідкому металу текти всередину приймальної камери 15, коли зонд 10 занурено в рідкий метал. Отвір 17 переважно круглий з діаметром порядку від 300 до 1000 мікронів. Спеціалістам зрозуміло, що діаметр отвору 17, за бажанням, може бути більшим або меншим та/або що отвір 17 не обов'язково повинен бути круглим. Внутрішня труба 16 має стінку, переважно, товщи-

ною приблизно 1мм. Однак, спеціалістам зрозуміло, що внутрішня труба 16, за бажанням, може мати більшу або меншу товщину стінки. Об'єм камери 15 для приймання рідкого металу в кожному окремому експерименті буде мінятися описаним нижче способом.

В даному варіанті здійснення винаходу газовий канал 22 складається, як правило, з циліндричного, загалом трубчастого елемента, який проходить через ущільнюючий елемент 18 і поширюється принаймні частково у внутрішню трубу 16. Газовий канал 22 виконано, переважно, з електропровідного металу, наприклад, сталі. Однак, альтернативно для виготовлення газового каналу 22 можуть бути застосовані й інші електропровідні матеріали. Як видно з Фігур 1 і 3, газовий канал 22 не поширюється на всю довжину внутрішньої труби 16 до занурюваного кінця.

До газового каналу 22 прикріплено (механічно або із застосуванням електричних методів, переважно, із застосуванням зварювання або паянням м'яким або твердим припоєм) принаймні один, а переважно пару видовжених, як правило, циліндричних елементів 24, які поширюються вздовж внутрішньої частини внутрішньої труби 16 і закінчуються поблизу занурюваного кінця цієї внутрішньої труби 16. Видовжені циліндричні елементи 24 виготовлені з електропровідного матеріалу, і в комбінації з газовим каналом 22 вони утворюють перший електрод, який продовжується в приймальну камеру 15. Видовжені циліндричні елементи 24 виготовлені, переважно, з тугоплавкого електропровідного електродного дроту, матеріалом якого є Мо, W, Fe або якийсь інший електропровідний матеріал з високою температурою плавлення. Таким чином, перший електрод проходить фактично від занурюваного кінця внутрішньої труби 16 до зовнішнього кінця газового каналу 22.

Внутрішня труба 16 принаймні вздовж суттєвої частини її довжини оточена, як правило, трубчастим електропровідним елементом 26. Цей трубчастий електропровідний елемент 26 виконано, переважно, із сталі, але альтернативно може бути застосований інший електропровідний матеріал. Внутрішні розміри трубчастого елемента 26 принаймні незначно більші, ніж зовнішні розміри внутрішньої труби 16, тому трубчастий елемент 26 і зовнішня поверхня внутрішньої труби 16 розділяються невеликим кільцевим простором 28. Принаймні суттєва частина трубчастого елемента 26 оточена зовнішньою оболонкою 30, виготовленою з теплостійкого матеріалу для забезпечення теплоізоляції трубчастого елемента 26, коли зонд 10 занурюється в рідкий метал. У даному варіанті здійснення винаходу зовнішня оболонка 30 виготовлена з піску, покритого смолою, яка при нагріванні створює фенопластичне зв'язуюче. Однак, спеціалістам зрозуміло, що альтернативно можуть бути використані й інші ізоляційні матеріали.

На Фіг.3 добре видно, що частина трубчастого елемента 26 виходить за межі зовнішньої оболонки 30 так, що коли зонд 10 занурюється в рідкий метал, трубчастий елемент 26 відкритий безпосередньо до рідкого металу. Інший кінець трубчастого елемента 26 виходить за межі з'єднувального кінця внутрішньої труби 16, що найкраще видно на

Фіг.2. Трубчастий елемент 26 служить другим електродом, розташованим зовні внутрішньої труби 16. З'єднувальний кінець трубчастого елемента 26 кріпиться до ущільнюючого елемента 18 з допомогою механічного фіксатора, який добре відомий спеціалістам. Коли фіксатор з'єднується з ущільнюючим елементом 18, він міцно скріплює разом з'єднувальний кінець трубчастого елемента 26 і з'єднувальний кінець внутрішньої труби 16, зберігаючи між ними кільцевий простір 28. Між занурюваним кінцем трубчастого елемента 26 і внутрішньою трубою 16 вставлена розпірка 34 для підтримання кільцевого простору 28 та для того, щоб запобігти хитанню занурюваного кінця внутрішньої труби 16 і уберегти внутрішню трубу 16 від поломки під час перевезення і обслуговування. Розпірка 34 являє собою, переважно, О-подібне кільце, виготовлене з придатного еластомеру. Спеціалістам зрозуміло, що трубчастий елемент 26 може бути прикріплено до внутрішньої труби 16 із застосуванням іншого методу з'єднання і що розпірка 34 може бути виготовлена з іншого матеріалу.

На Фіг.3 добре видно, що занурюваний кінець внутрішньої труби 16 спочатку закритий ковпаком 36 для захисту від шлаку на поверхні металу та паперовим ковпаком 38. Ковпак 36 для захисту від шлаку на поверхні металу та паперовий ковпак 38 захищають від забруднення внутрішню трубу 16 і особливо отвір 17, коли зонд 10, занурюючись, проходить через шар шлаку, який зазвичай покриває рідкий метал під час його обробки. Ковпак 36 для захисту від шлаку виготовлено, переважно, із сталі або іншого придатного матеріалу з тих, що добре відомі спеціалістам.

З'єднувальний кінець 14 зонда 10 пристосований для тимчасового кріплення до відповідної опорної конструкції (не показана), яка добре відома спеціалістам і зазвичай використовується для занурення вимірювальних зондів у рідкий метал. Для забезпечення газонепроникного з'єднання між газовим каналом 22 і регульованим клапаном 42 використовується ущільнення 40. У свою чергу клапан 42 з'єднано з вакуумним насосом 44 та джерелом 46 очищувального газу. Коли клапан 42 знаходиться в першому положенні, вакуумний насос 44 з'єднано по потоку через газовий канал 22 з внутрішньою трубою 16, щоб у такий спосіб створювати вакуум всередині камери 15 для приймання рідкого металу. Створення вакууму всередині камери 15 полегшує протікання рідкого металу через отвір 17 всередину цієї камери 15. Коли клапан 42 знаходиться в другому положенні, газ із джерела 46 очищувального газу подається через газовий канал 22 у внутрішню частину внутрішньої труби 16, щоб перешкодити потоку рідкого металу або забруднень через отвір 17 всередину камери 15. Ущільнюючий елемент 18 забезпечує площу герметизації для сполучного матеріалу 20, газонепроникне припасування для газового каналу 22, засоби кріплення для трубчастого елемента 26 і гніздо під О-подібну ущільнюючу прокладку 40. Хоча всі ці функції виконуються одним елементом, зрозуміло, що за бажанням може бути застосовано кілька деталей.

Коли зонд 10 приєднують до опорної констру-

кції, між з'єднувальним кінцем газового каналу 22 (перший електрод), з'єднувальним кінцем трубчастого елемента 26 (другий електрод) і зовнішнім вимірювальним пристроєм 48 створюється повне електричне сполучення. Вимірювальний пристрій 48 відноситься до тих, що добре відомі спеціалістам при застосуванні методу електрочутливої зони з метою виявлення та вимірювання частинок, завислих у рідкому металі. Коли зонд 10 занурюється в рідкий метал, вимірювальний пристрій 48 створює доріжку струму між першим і другим електродами, яка проходить через отвір 17 з метою вимірювання змін електричного потенціалу між першим і другим електродами, які (зміни) викликаються частинками, захопленими рідким металом, коли вони проходять через отвір 17. Інші деталі, що стосуються конструкції і роботи вимірювального пристрою 48, добре відомі спеціалістам, і їх можна знайти в інших опублікованих джерелах, включно з описаними вище патентами, на які було зроблено посилання. Відповідно, для повного розуміння даного винаходу немає потреби в детальному обговоренні конструкції і роботи вимірювального пристрою 48.

На Фіг.3 добре видно, що матеріал 50, який знижує ліквідус, знаходиться всередині занурюваного кінця внутрішньої труби 16 поблизу отвору 17. В даному варіанті здійснення винаходу, якому віддається перевага, понижуючий ліквідус матеріал 50 має форму загалом спіральних витків дроту. Однак, спеціалістам зрозуміло, що понижуючий ліквідус матеріал 50 може бути і в іншій формі, наприклад, зернистим, або ж мати, наприклад, трубчасту форму, дископодібну тощо. В даному варіанті здійснення винаходу, якому віддається перевага, матеріалом 50, що знижує ліквідус, є мідь. Однак, понижуючим ліквідус матеріалом 50 може бути інший придатний матеріал або комбінація матеріалів, яким властивий ефект зниження температури ліквідусу заліза або сталі. До переліку таких матеріалів входять Al, Au, Be, C, Co, Ge, Mn, Ni, P, S, Sb, Si та Sn, а також інші окремі елементи, матеріали або комбінація елементів або матеріалів, що добре відомі спеціалістам. Відповідно, слід чітко усвідомлювати, що хоча в даному варіанті здійснення винаходу, якому віддається перевага, використано мідь, її використання має лише ілюстративну мету. Як добре відомо спеціалістам, матеріал 50, що знижує ліквідус, сплавляється з рідким металом, який входить в камеру 15 через отвір 17, і отриманий в результаті сплав має температуру ліквідусу, котра нижча за температуру ліквідусу рідкого металу, який входить в камеру 15. Охолодженню рідкого металу, що піднімається по центру, запобігають завдяки тому, що дроти 24 знаходяться поблизу стінки внутрішньої труби 16.

На Фіг.4 ілюструється ефект додавання міді, як понижуючого ліквідусу матеріалу 50, в камеру 15. Наприклад, для рідкої сталі, що містить в розчині 0,10% вуглецю, температура ліквідусу становитиме приблизно 1528°C, і уявімо, що сталь цього сорту розливається методом безперервного литва з проміжного розливного пристрою при температурі приблизно 1570°C. В даному варіанті здійснення винаходу в камеру 15, яка при наповненні вміщуватиме порядку 100г досліджуваної сталі,

додають приблизно 10г міді 50. Під час занурення зонда 10 в рідку сталь, мідь 50 в камері 15 швидко нагрівається за рахунок теплового випромінювання у внутрішній трубі 16. Нижня горизонтальна вісь фазової діаграми з Фіг.4 відображує процентний склад суміші заліза і міді, причому крайня ліва точка діаграми відповідає чистій міді, а крайня права точка - чистому залізу. На вертикальній осі можна знайти температуру, яка відповідає фазовому стану при заданому ваговому процентному співвідношенні суміші міді і заліза. Спочатку при відсутності сталі в камері 15 мідь буде повністю розплавлена в цій камері 15 при температурі порядку 1085°C, що показано точкою перетину лінії ліквідусу для 100% міді з лівою вертикальною віссю, яка відповідає 100% міді. В даному прикладі сталь, що входить у камеру 15, вважається 100-відсотковим залізом. Спеціалісти можуть легко знайти таблиці і графіки, аби зробити поправку для сталі відносно чистого заліза. Після того, як в камеру 15 увійде 10г рідкої сталі, в наближенні, що в даному прикладі сталь з домішкою 0,1% вуглецю вважається фактично 100% Fe, температура ліквідусу для суміші 50-50 міді і сталі виявляється трохи більшою 1425°C. Після того, як в камеру 15 увійшла достатня кількість сталі, сталь сплавляється з міддю, і процентний вміст міді знижується до 15%, а температура ліквідусу складає приблизно 1480°C. Додавання міді або іншого понижуючого ліквідусу матеріалу 50 зменшує температуру, при якій досліджуваний рідкий метал почне нормально тверднути, за рахунок чого досягається можливість дослідити більше рідкого металу перед тим, як камера 15 затвердне. Можна вважати, що зниження температури ліквідусу, яке є наслідком сплавлення, до деякої міри компенсує втрати тепла пробкою рідкого металу, взятою до камери 15. Кількісне співвідношення матеріалу або матеріалів, що знижують ліквідус, і взятої проби металу визначається конструкцією зонда, кількістю матеріалу, який має бути дослідженим, та перегрівом рідкого металу в момент взяття проби. При ретельному виборі матеріалу 50 можна отримати додаткову вигоду, яка полягає в тому, що хімічна теплота розчину може бути екзотермічною, а тому змішування рідкого металу і матеріалу 50, що знижує ліквідус, викликає нагрівання рідкого матеріалу в камері 15.

Зонд 10 кріпиться до опорної конструкції (не показана) так, що перший і другий електроди електрично сполучаються з вимірювальним пристроєм 48, а газовий канал 22 з'єднується по потоку з клапаном 42. Спочатку клапан 42 знаходиться в другому положенні, внаслідок чого інертний очищувальний газ із джерела 46 тече через газовий канал 22 у внутрішню трубу 16 і виходить через отвір 17. Тиск інертного очищувального газу вимірюється; потім клапан 42 виключають, а швидкість витікання інертного газу через отвір 17 вимірюють, як зниження тиску в часі. Швидкість витікання інертного газу через отвір 17 пропорційна розміру цього отвору 17. На основі даних про початковий тиск та швидкість зміни тиску вираховують розмір отвору 17 для майбутнього використання зонда. Далі клапан 42 повертають у друге положення. По мірі того, як зонд 10 занурюється в рідкий метал

через поверхневий шар шлаку, паперовий ковпак 38 руйнується, а ковпак 36 для захисту від шлаку плавиться, відкриваючи занурюваний кінець внутрішньої труби 16 і трубчастий елемент 26 до рідкого металу. Як тільки рідкий метал входить у контакт з внутрішньою трубою 16, отвір 17 надійно ущільнюється, спричинюючи підвищення тиску очищувального газу, що вимірюється зовнішнім приладом (не показаний). У цей час клапан 42 переключають у перше положення, внаслідок чого вакуумний насос 44 з'єднується по потоку з газовим каналом 22 і внутрішнім об'ємом внутрішньої труби 16, щоб всередині камери 15 створити вакуум і цим примусити рідкий метал текти через отвір 17 всередину камери 15. Як тільки рідкий метал контактує з дротами 24, створюється замкнене електричне коло, і вимірювальний пристрій 48 примушує струм текти між електродами та через отвір 17 з метою вимірювання змін електричного потенціалу між електродами, які (зміни) викликаються частинками, захопленими рідким металом, коли вони проходять через отвір 17. Рідкий метал, потрапляючи в камеру 15, сплавляється з понижуючим ліквідус матеріалом 50 для зменшення температури ліквідусу рідкого металу, який надходить, щоб таким чином проводити виявлення та вимірювання частинок протягом більшого відрізка часу порівняно з тим, що було б можливим без присутності понижуючого ліквідус матеріалу 50. Процес виявлення та вимірювання частинок продовжується до тих пір, поки камера 15 не заповниться рідким металом, і рівень рідкого металу повністю не заблокує занурюваний кінець газового каналу 22, чим перешкодить подальшому зниженню тиску в камері 15. Цей метод блокування надійно обмежує подальше надходження досліджуваного матеріалу в камеру 15 і, таким чином, забезпечує засоби для формування попередньо обумовленого фіксованого об'єму досліджуваного металу без необхідності додавати компоненти, які поглинають тепло. Газовий канал 22 відокремлено

від інших компонентів зонда 10 проміжками і теплоізолювано від них з допомогою ущільнюючого елемента 18, аби він залишався холоднішим, а отже, відповідним чином охолоджував метал в камері при контакті з ним. Тривалість часу, протягом якого очищувальний газ подається в камеру 15, вибирається достатнім для того, щоб перед затіканням рідкого металу всередину камери 15 встиг згоріти паперовий ковпак 38, розплавитися ковпак 36 для захисту від шлаку та розплавитися матеріал 50, що знижує ліквідус. Спеціалістам зрозуміло, що немає необхідності, аби весь матеріал 50, що знижує ліквідус, розплавився або став повністю рідким до початку затікання рідкого металу через отвір 17.

Спеціалістам зрозуміло, що використання певного матеріалу, який знижує ліквідус, та використана кількість цього матеріалу будуть змінюватися в залежності від особливостей застосування рідкого металу, котрий підлягає дослідженню, та хімічних умов у ньому. Зрозуміло також, що розмір камери 15 і кількість рідкого металу, що входить у цю камеру 15, може змінюватися шляхом зміни довжини газового каналу 22 та довжини і діаметра внутрішньої труби 16. Матеріал, що знижує ліквідус, дозволяє більшій кількості металу текти через отвір 17 загалом з постійною швидкістю протягом усього циклу вимірювань і, таким чином, забезпечити більш ефективні та більш точні вимірювання захоплених частинок.

З викладеного вище зрозуміло, що даним винаходом пропонується вдосконалений зонд для виявлення і вимірювання частинок, завислих у рідкому металі. Спеціалістам зрозуміло, що без відхилення від основної ідеї винаходу можуть бути запропоновані інші варіанти його здійснення. Тому цей винахід не обмежений, зокрема, викладеними варіантами здійснення, а поширюється й на інші варіанти в межах його сутності та обсягу, які визначені формулою, що додається.

