



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 92322

(13) C2

(51) МПК (2009)  
C21C 7/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ДРІТ З СЕРЦЕВИНОЮ

1

2

(21) а200613012

(22) 10.06.2005

(24) 25.10.2010

(86) PCT/FR2005/001447, 10.06.2005

(31) 0406257

(32) 10.06.2004

(33) FR

(46) 25.10.2010, Бюл.№ 20, 2010 р.

(72) ПУЛАЛЬЙОН АНДРЕ, FR/FR

(73) АФФИВАЛЬ, FR

(56) FR 2821626, 06.09.2002

FR 2392126, 22.12.1978

JP 55122834, 20.09.1980

FR 2711376, 28.04.1995

UA 6743, 16.05.2005

UA 67016, 15.06.2004

UA 63428, 15.01.2004

UA 74795, 17.06.2002

UA 53114, 15.01.2003

UA 56524, 15.05.2003

UA 30276, 29.12.1999

JP 02061006, 01.03.1990

JP 51098780, 31.08.1976

(57) 1. Дріт з серцевиною, який містить:  
серцевину з порошкового/гранульованого матеріалу,

внутрішнє металеве облицювання, що обгортає матеріал серцевини,

принаймні один шар, який є бар'єром для передачі тепла, що обгортає внутрішнє металеве облицювання, де зазначений принаймні один бар'єр для передачі тепла виготовлений з матеріалу, який піддається піролізу при контакті з ванною рідкого металу, та

просочувальну рідину, заповнену в згаданий бар'єр для передачі тепла, причому зазначена просочувальна рідина має латентну теплоту випаровування, вищу за 2 МДж/кг, та де

поруч із зазначеним матеріалом, що піддається піролізу при контакті з ванною рідкого металу, немає кисню,

причому зазначений матеріал має теплопровідність, яка до піролізу становить від 0,15 до 4 Вт/м<sup>2</sup>К включно.

2. Дріт з серцевиною за п. 1, який відрізняється тим, що матеріалом, який піддається піролізу, є крафт-папір, алюмінований папір або множина шарів, який містить принаймні одну стрічку крафт-

паперу й принаймні один шар алюмінованого паперу.

3. Дріт з серцевиною за п. 2, який відрізняється тим, що матеріал, який піддається піролізу, покритий тонким металевим листом, що є відокремленим від внутрішнього металевого облицювання.

4. Дріт з серцевиною за п. 3, який відрізняється тим, що тонкий металевий лист виготовлений з алюмінію або алюмінієвого сплаву.

5. Дріт з серцевиною за п. 1, який відрізняється тим, що матеріал, який піддається піролізу, має радіальну товщину, яка до піролізу становить від 0,025 до 0,8 мм включно.

6. Дріт з серцевиною за п. 1, який відрізняється тим, що матеріал, який піддається піролізу, має температуру початку піролізу, що становить порядку 500 °С.

7. Дріт з серцевиною за п. 1, який відрізняється тим, що просочувальна рідина являє собою воду.

8. Дріт з серцевиною за п. 7, який відрізняється тим, що матеріал, який піддається піролізу, містить шар зволоженого паперу.

9. Дріт з серцевиною за п. 1, який відрізняється тим, що матеріал, який піддається піролізу, прикріплений за допомогою приклеювання матеріалу, що піддається піролізу, до внутрішнього металевого облицювання.

10. Дріт з серцевиною за п. 1, який відрізняється тим, що матеріал, який піддається піролізу, розміщений між внутрішнім металевим облицюванням та зовнішньою металеву оболонкою.

11. Дріт з серцевиною за п. 10, який відрізняється тим, що зовнішня металева оболонка з'єднана швом, і матеріал, що піддається піролізу, уміщений всередині зшиті стрічки так, щоб уникнути повністю прямого контакту метал/метал усередині зшиті стрічки.

12. Дріт з серцевиною за п. 10, який відрізняється тим, що внутрішнє металеве облицювання має радіальну товщину, що становить від приблизно 0,2 до 0,6 мм включно, і що зовнішня металева оболонка має радіальну товщину, що становить від приблизно 0,2 до 0,6 мм включно.

13. Дріт з серцевиною за п. 11, який відрізняється тим, що внутрішнє металеве облицювання має радіальну товщину, що становить від приблизно 0,2 до 0,6 мм включно, і що зовнішня металева

(13) C2

(11) 92322

(19) UA

оболонка має радіальну товщину, що становить від приблизно 0,2 до 0,6 мм включно.

14. Дріт з серцевиною за п. 12, який **відрізняється** тим, що матеріалом, який піддається піролізу, є крафт-папір, одношаровий чи багатшаровий, товщиною від 0,1 до 0,8 мм включно.

15. Дріт з серцевиною за п. 13, який **відрізняється** тим, що матеріалом, який піддається піролізу, є крафт-папір, одношаровий чи багатшаровий, товщиною від 0,1 до 0,8 мм включно.

16. Дріт з серцевиною за п. 1, який **відрізняється** тим, що порошок або гранули матеріалу серцевини є або ущільненими, або зануреними у смолу, і

матеріал серцевини вибраний з групи, яка складається з Ca, Bi, Nb, Mg, CaSi, C, Mn, Si, Cr, Ti, B, S, Se, Te, Pb, CaC<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, CaO, MgO, та рідкоземельних елементів.

17. Спосіб обробки ванни рідкого металу, який включає наступні етапи: забезпечують дріт з серцевиною відповідно до одного з пп. 1-16, введення цього дроту з серцевиною у ванну рідкого металу.

18. Спосіб за п. 17, що додатково включає етап продування аргону над ванною рідкого металу, коли дріт з серцевиною вводять у ванну рідкого металу.

Винахід стосується технічної галузі трубчастих оболонок, які містять ущільнені порошкові або гранульовані матеріали, причому ці оболонки з серцевиною використовують для обробки металів у рідкому стані, зокрема, заліза та сталі, і їх у продажу називають "дротами з серцевиною".

Конкретно уведення цих дротів з серцевиною у ванну рідкого металу забезпечує здійснення очищення, розкислення, дегазації, травлення і/або модифікацію композиції цих ванн.

Так, наприклад, звільнення від сірки залізної болванки, одержаної дуттям в печі, призначеної для перетворення в сталь, було досягнуто, використовуючи дроти з серцевиною, які містять Mg та C<sub>2</sub>Ca, або навіть Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, MgO.

Дроти з серцевиною зазвичай використовують у вторинній обробці (металургії) сталі, серед інших засобів, таких як перемішування в ливарному ковші, вдування порошку, ковшова електродугова піч, RH (Ruhrstahl Heraeus) дегазація та різноманітні вакуумні процеси.

Головними функціями дротів з серцевиною у операціях виробництва сталі є розкислення, звільнення від сірки, контроль форми вкраплень, покращення текучості у рідкому стані і регулювання якості композиції.

Спосіб розкислення полягає у поєднанні кисню, розчиненого в рідкій сталі, яка надходить від конвертора або електродугової печі (500млн<sup>-1</sup> або більше кисню) з агентом розкислення, який значно зменшує вміст розчиненого кисню в рідкому металі (наприклад, 10млн<sup>-1</sup> кисню або менше). Вивчення кривих активності розчиненого кисню в рідкому залізі при температурі 1600°C, у рівновазі з різними окислювальними елементами, показує, що відносно помірне додавання алюмінію дає можливість значно зменшити вміст залишкового розчиненого кисню, призводячи до утворення твердих окислів алюмінію. В результаті алюміній широко використовують як агент розкислення в промисловості виробництва сталі.

Рідкий метал, одержаний в електродуговій печі, є більш-менш вільним від вуглецю, фосфору, але він є кипучим; через високий вміст в ньому кисню відбувається спонтанна реакція між вуглецем у сталі і киснем, утворюючи газоподібний CO всередині ванни рідкої сталі.

Далі розкислення може також позначатись як травлення (ліквідування бурного спінування) ванни рідкої сталі.

Агентами розкислення, які містяться в дротах з серцевиною, часто є залізисті сплави (феросиліцій, феромарганець) або алюміній. Процес розкислення призводить до утворення окислів (окису кремнію, окису марганцю, окису алюмінію), які за допомогою помірного збовтування ливарного ковша до великої міри абсорбуються в шлак.

Не дивлячись на всі перестороги, які можуть бути здійснені, залишкові включення окису алюмінію можуть спричинити блокування ливарних сопел або появу тріщин в кінцевих продуктах з малим поперечним перерізом, таких як ті, що надходять з машин для безперервного лиття тонких листових заготовок.

Додавання кальцію до розкислених алюмінієм сталей призводить до модифікації твердих включень окису алюмінію через часткове відновлення кальцієм, утворюючи рідкі алюмінати кальцію при температурах виробництва сталі. Тому алюмінати кальцію є сферичними, коли в них вміст CaO становить від 40% до 60% включно. Кількість кальцію у розчині, необхідна для одержання модифікації включень, залежить від вмісту алюмінію у ванні металу. Тому більша частина кальцію, уведена за допомогою дроту з серцевиною, перебуває в рідкому металу у формі рідких включень алюмінієвих кальцій, і не перевищує декількох млн.<sup>1</sup>. Утворення рідких сферичних алюмінієвих кальцій зменшує або усуває засмічення сопла під час операцій лиття, і з цієї причини розкислені алюмінієм сталі зазвичай обробляють кальцієм через уведення дроту з серцевиною в ківш для розливання розплавленої сталі.

На практиці важко уникнути інтенсивної турбулентності рідкої сталі, спричиненої раптовим випаровуванням кальцію, який міститься в дроті з серцевиною. Тиск пари кальцію дійсно становить приблизно 1,8 атм при 1600°C. Якщо турбулентність дуже інтенсивна, то вона може порушувати умови проникнення дроту з серцевиною до сталевих ванн і може спричинити те, що сталь стає знову окисленою і/або азотованою. Якщо випаровування кальцію стає значним, то рідка сталь може розбризкуватись через шлак і ставати ще окисленою. При екстремальних реакціях рідка сталь може розбризкуватись через сторони ливарного ковша на підлогу цеху, навколишнє обладнання або персонал цеху. Ці реакції випаровування можуть призводити до збільшення вмісту O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> і навіть H<sub>2</sub> в сталі. Турбулентність можна зменшити за допомогою

уведення кальцію у формі  $\text{CaSi}$ . Однак може бути значним недоліком введення кремнію в рідку сталь, таку як призначену для глибокого витягування, де вміст кремнію обмежений. Іншим запропонованим вирішенням було введення кальцію у формі сплаву  $\text{CaNi}$ , можливо, змішаного з невеликою кількістю сплаву  $\text{CaSi}$ . Інші рішення представлені в документі EP-0.190.089.

Іншим наближенням до зменшення турбуленції, спричиненої випаровуванням і реакцією кальцію з атмосферою, є розгляд продування об'єму, розміщеного між поверхнею металу і кришкою ливарного ковша, інертним газом, таким як аргон. На практиці, оскільки печі не є герметичними від проникнення повітря, сильне продування аргоном може спричинити втягування повітря, а слабе продування аргоном може спричинити надмірну кількість кисню, який залишається в атмосфері над рідкою сталлю.

Слід також зазначити, що збівтування або бабробування аргону через пористу заглишку в ливарному ковші спричиняє збільшення поверхні шлаку, що далі збільшує втрату кальцію через випаровування або окислення під час одночасного введення дроту з серцевиною, причому струмінь сталі, що зростає, і бульбашки аргону спричиняють прямий контакт рідкого металу (і, таким чином, розчиненого кальцію) з повітрям.

Очевидне відновлення додавання кальцію є, головним чином, відображенням вмісту включення в сталі. Більша частина кальцію, доданого через дріт з серцевиною, втрачається через випаровування і/або окислення атмосферою, шлак і тугоплавкі сполуки, при тільки мінімальних кількостях кальцію, захоплених включеннями. Таким чином, дуже важливо, щоб звести до мінімуму ці вторинні реакції, додавати кальцій після хорошого продування включень і регулювати додавання до бажаного ступеню перетворення цих включень.

Екзогенні включення (окисли), утворені в результаті контакту кальцію з тугоплавкими сполуками і/або порошками в розливальному пристрої, фактично важко усунути перед твердінням металу. Ці включення окислу алюмінію є твердими і більш шкідливими, ніж включення алюмінату кальцію, і спричиняють накопичення, які заважають безперервному потоку сталі через ливарні сопла.

Нарешті, обробка сталі, розкисленої алюмінієм, дротом з серцевиною з кальцію, також може спричинити утворення сульфідів кальцію, що перешкоджає вільному потоку сталі через ливарні сопла в сталях з малим вмістом алюмінію і високим вмістом сірки. Сталі, призначені для високошвидкісного різання, (тобто, сталі для вільної обробки), характеризуються високим вмістом сірки. Таким чином, контролювання стану включень шляхом додавання хімічних компонентів (наприклад, кальцію), уміщених в дроти з серцевиною, по суті втягує окисли та сульфідів.

Тому розкислення і контролювання стану включень сталей є складними операціями, які залежать від знання, як робити, виробників сталі, операціями, для яких якість дротів з серцевиною є дуже важливою, зокрема, правильність композиції і щільність сплаву всередині дроту.

Тому виробництво і використання дротів з серцевиною представляють велику кількість практичних проблем, деякі з яких зазначені нижче.

Недостатнє або неправильне ущільнення

Недостатнє ущільнення матеріалу, який міститься в дроті з серцевиною, позначається на недостатній кількості уведеного матеріалу на одиницю часу в сталеву ванну або рідкий метал.

Недостатнє ущільнення матеріалу, який міститься в дроті з серцевиною, зменшує кількість на одиницю часу матеріалу, уведеного в рідкий метал.

Якщо ущільнення недостатнє, то матеріал може переміщуватись всередині дротів з серцевиною, призводячи до подальшого зростання непередбачуваних результатів.

Надмірні механічні сили при розмотуванні

Якщо процес ущільнення робить необхідною значну пластичну деформацію металеві оболонки, то збільшена жорсткість завдяки збільшенню міцності на розтягування оболонки дроту з серцевиною може спричинити значне збільшення сил розмотування. Зокрема, цей ефект помітний в малій упаковці дроту з серцевиною з малим радіусом кривизни.

Недостатня жорсткість дроту з серцевиною

Деякі дроти з серцевиною, зокрема, з прямим поперечним перерізом, мають недостатню жорсткість, щоб надати можливість вводити їх в певні металеві ванни з високою щільністю на будь-яку помітну глибину, особливо, якщо ці ванни покриті шлаком з високою в'язкістю.

Спиральна деформація під час розмотування.

Під час розмотування дроту з серцевиною, який зберігається на статичній обоймі, спостерігається спиральна деформація дроту, так що цей дріт з серцевиною не проникає у рідку металеву ванну, але викривляється назад на себе і залишається на поверхні.

Розщеплення оболонки дроту з серцевиною.

Іноді під час розмотування дроту з серцевиною з котушки, на якій він зберігається, або з обойми, або під час випрямлення дроту перед його введенням в рідку ванну, відбувається пошкодження шва (спаю) в оболонці дроту з серцевиною. Такі пошкодження шва спричиняють втрати матеріалу або затори в обладнанні для введення дроту.

Зменшення часу, необхідного для введення у ванну заданої кількості добавок.

Збільшення швидкості введення дроту у ванну може спричинити аварії, якщо дріт стикається з дном резервуару або виходить з ванни до того, як він мав би достатньо часу, щоб розплавитись.

Збільшення діаметра дроту призводить до збільшення радіусу намотки, і тому шпулі, необхідні для намотування цього типу дроту, стають занадто великими, щоб їх можна було легко використовувати в наявному зменшеному просторі в сталеливарному виробництві.

З метою інформації, для того, щоб увести 1 кг  $\text{CaSi}$  на тону сталі в ливарний ківш на 150 тон, тобто 150 кг порошку  $\text{CaSi}$ , уміщеного в дріт з щільністю 240 г/м, потрібний дріт з серцевиною довжиною 625 м, причому введення кілометра цього

го дроту при швидкості 2м/сек, вимагає робочого часу більше, ніж п'ять хвилин.

Передчасна деструкція дроту з серцевиною

Якщо оболонка дроту з серцевиною зруйнована передчасно, при раптовому плавленні негайно після проникнення в металеву ванну, то вміст дроту вивільняється поблизу від поверхні ванни і тому не може бути відновлений до рівня, помітно достатнього, щоб бути ефективним.

Деформація дроту у формі літери U у ванні рідкого металу.

Крім того, заявлено в документі з попередньої практики, що дріт з серцевиною може втратити свою жорсткість і поступово вигнутись у формі літери U у ванні рідкого металу таким чином, що його кінець підіймається до поверхні перед тим, як вміст дроту випущений, причому ця дія підймання відбувається через, зокрема, феростатичний удар, і видима щільність дроту є зазвичай меншою, ніж щільність металеві ванни.

Якщо дріт з серцевиною містить Ca, Mg, то вивільнення цих елементів при малій глибині ванни рідкого металу спричиняє дуже високі втрати виходу кінцевого продукту.

Вивільнення великої маси кальцію поблизу від поверхні ванни рідкого металу спричиняє інтенсивну реакцію, значне розбризкування розплавлено металу і дуже погане відновлення кальцію.

Недостатня глибина проникнення дроту з серцевиною у ванну рідкого металу.

Як приклад, документ США 4.085.252, для якого існує таке співвідношення між глибиною проникнення L, товщиною (e) металеві оболонки дроту і діаметром (d) стрижню церію:

$$L = 1,7 (e + 0,35d) \nu \cdot 10^{-2}$$

де  $\nu$  є швидкість уведення дроту, яка становить від 3 до 30м/хв. включно, з метою безпеки.

Якщо L є малим, наприклад, 30см, то існує збільшений ризик, що продукт, який міститься в дроті з серцевиною, може надійти в контакт з шлаком, і таким чином бути втраченим.

Якщо L є занадто малим, то є також ризик гетерогенності в розподіленні хімічного елемента (елементів), які містяться в дроті з серцевиною, у ванні рідкого металу.

Реактивність порошоків, які містяться в дроті, і блокування установок безперервного лиття

Як вказано в документі США 4.143.211, хімічна спорідненість елементів, таких як рідкоземельні, Al, Ca, Ti, до кисню призводить до утворення окислів, які можуть прилипати до внутрішніх стінок сопел, які регулюють потік, яких використовують в установках безперервного лиття, і таким чином спричиняти їх часткове або повне блокування.

Тому необхідно забезпечити виробників сталі дротами з серцевиною, які полегшують гомогенне уведення точно правильної кількості реагентів для одержання бажаного результату (розкислення, контролю форми включень, механічної стійкості та іншого).

Для того, щоб спробувати вирішити принаймні одну з цих технічних проблем, в попередній практиці запропонована дуже велика кількість структур і способів виробництва дротів з серцевиною, наприклад, ілюстрованих в таких документах:

- Європейські патентні заявки, опубліковані під номерами: 0.032874, 0.034.994, 0.044.183, 0.112.259, 0.137.618, 0.141.760, 0.187.997, 0.236.246, 0.273.178, 0.277.664, 0.281.485, 0.559.589;

- Французькі патентні заявки, опубліковані під номерами: 2.235.200, 2.269.581, 2.359.661, 2.384.029, 2.392.120, 2.411.237, 2.411.238, 2.433.584, 2.456.781, 2.476.542, 2.479.266, 2.511.039, 2.576.320, 2.610.331, 2.612.945, 2.630.131, 2.688.231;

- Американські патенти, опубліковані під номерами: 2.705.196, 3.056.190, 3.768.999, 3.915.693, 3.921.700, 4.085.252, 4.134.196, 4.147.962, 4.163.827, 4.035.892, 4.097.267, 4.235.007, 4.364.770, 4.481.032, 4.486.227, 4.671.820, 4.698.095, 4.708.897, 4.711.663, 4.738.714, 4.765.599, 4.773.929, 4.816.068, 4.832.742, 4.863.803, 4.906.292, 4.956.010, 6.053.960, 6.280.497, 6.346.135, 6.508.857.

Коротке представлення декількох наведених документів показує велику різноманітність технічних рішень, які розглядаються, щоб відповідати різним технічним проблемам, викладеним у вступі.

Документ EP-B2-0.236.246 описує дріт з серцевиною, який складається з металеві оболонки, зшиті за допомогою складки, яка закінчується по колу, замкненої на собі, і край якої входить в контакт всередину ущільненої маси, яка утворює серцевину дроту з серцевиною.

Зшивання здійснюють вздовж профільної пластини оболонки дроту з серцевиною, і воно може бути зміцнене швом взамок, утвореним поперечними зубцями по всій ширині стрічки, яку зшивають. Ущільнення серцевини дроту з серцевиною здійснюють шляхом утворення відкритої складки, протилежної до зони зшивання, потім закриваючи цю складку радіальним стискуванням. Оболонка дроту з серцевиною зроблена із сталі або алюмінію і містить, наприклад, порошковий сплав CaSi з 30% Ca за вагою.

Документ США-4.163.827 описує дріт з серцевиною, який містить серцевину з феросиліцією основою, яка складається з Ca, Al у формі порошку, зануреного в смолу або зв'язуючий полімер, такий як поліуретан, причому цю серцевину екструдують перед тим, як її уміщують в одиничну або подвійну спіральну обмотку тонкої стрічки металу, пластика або паперу товщиною від 0,025мм до 0,15мм. Цей тип дроту з серцевиною має численні недоліки. На першому місці перебуває недолік, який полягає в тому, що матеріали, що утворюють смолу, є джерелом забруднення, яке є неприйнятним для ванни рідкого металу. На другому місці перебуває недолік, який полягає в тому, що механічна стійкість і жорсткість дроту є дуже недостатніми. На третьому місці перебуває недолік, який полягає в тому, що порошок феросиліцію практично не захищений відносно підвищеної температури рідкого металу.

Документ EP-0.032.874 описує дріт з серцевиною, який складається з металеві зварного облицювання з тонкого листа, яке містить додаткове оточення принаймні частково оболонкою із синтетичного органічного або металеві матеріалу в формі листа товщиною меншою, ніж 100 мікрон.

Дріт має сплюснену форму. Тонкий лист виготовлений з поліетилену, складного поліефіру або полівінілхлориду і утворює засіб, непроникний для води, який може бути таким, що він скорочується під дією тепла. Жоден спосіб виробництва не описаний для цього сплюсненого дроту з серцевиною, концепція якого здається більше домислом уяви, ніж промисловим відкриттям.

Документ FR-2.610.331 від заявника описує дріт з серцевиною, який має у своєму складі зону по осі, яка містить головний порошковий або гранульований матеріал, оточений проміжною металеву трубчастою стінкою, і кільцеву зону, розміщену між цією проміжною стінкою і оболонкою дроту з серцевиною, причому ця кільцева зона містить другий порошковий або гранульований матеріал. Зона по осі містить, що є сприятливим, матеріали, які є найбільш реактивними відносно ванни, яку мають обробляти.

До тих пір, поки зовнішня металева оболонка цього дроту з серцевиною не зруйнована, матеріал, який заповнює кільцеву зону, здійснює роль теплового ізолятора, який зменшує підвищення температури проміжної стінки, таким чином зменшуючи ризик згинання дроту, яке могло б перешкодити йому увійти до ванни, оскільки проміжна стінка зберігає певну жорсткість.

Документ США-3.921.700 описує дріт з серцевиною зі сталеву оболонкою, яка містить магнієвий дріт у напрямі по осі і залізний порошок з низькою теплопровідністю і високою теплотворною здатністю, таким чином утворюючи тепловий ізолятор, який захищає магній від нагрівання дуже швидко, коли дріт з серцевиною занурений в рідку сталь. Як варіант, графіт або вуглець змішують з залізним порошком.

Серед технічних проблем, поставлених використанням дротів з серцевиною, декілька виникають з того факту, що практично неможливо визначити, що точно відбувається з цим дротом, коли він занурений у ванну рідкого металу, таку як литварний ківш зі сталлю при температурі 1600°C. Зокрема, такі запитання є делікатними: якою є форма дроту у ванні (пряма, вигнута у формі літери "U")? І до якої глибини він руйнується при плавленні. У попередньому рівні техніки нічого не знайдено з цього предмету, крім окремих і іноді суперечливих інформаційних повідомлень.

Документ FR-2.384.029 описує дріт, за допомогою якого до розплавленого металу додають невелику кількість речовин з метою зміни властивостей металу, який складається з сталеву оболонки, яка обгортає композит ущільненого порошкового феросиліцію з більше, ніж 65% кремнію за вагою. Відповідно до цього раніше запропонованого документа, відбувається дифузія кремнію до сталеву оболонки дроту під час уведення в рідкий метал таким чином, що:

- температура плавлення речовини, що змінює властивості металу, яка міститься в дроті, зменшується;

- температура плавлення сталі в обгортці дроту зменшується, в той час як відбувається дифузія вуглецю через зовнішню поверхню обгортки дроту.

Відповідно до цього раніше запропонованого документа дріт з серцевиною, який містить обгорт-

ку з м'якої сталі (температура плавлення 1538°C), яка містить феросиліцій з 75% кремнію (температура плавлення 1300°C), плавиться при температурі приблизно 1200°C, коли він занурений, наприклад, в сірий чавун при температурі 1400°C, причому цей розплав витікає з внутрішньої частини обгортки через той факт, що дифузія кремнію в обгортку знижує температуру плавлення м'якої сталі.

Документ США-4.174.962 зазначає, крім цієї дифузії кремнію, розчинення зовнішньої стінки обгортки дроту з серцевиною через ерозію та дифузію, навіть якщо температура плавлення обгортки більша, ніж температура ванни рідкого металу.

Документ США-4.297.133 описує трубку з паперу, намотану шарами, причому ця трубка закрита ущільненням з металевої плівки. Визначений час горіння паперу становить три секунди, якщо трубка уміщена у ванну рідкої сталі при температурі 1600-1700°C.

Заявник описав в публікаціях FR-2.821.626 та FR-2.810.919 дроти з серцевиною, які мають оболонки, які, оскільки вони є горючими, не залишаючи шкідливих залишків, моментально повільно поширюють тепло до серцевини дроту, оскільки ці оболонки зроблені з паперу, відомого як папір піротехнічного призначення, який є горючим і теплоізоляційним.

Відповідно до цих двох запропонованих раніше заявником документів, при збільшенні кількості шарів паперу летючість дроту з серцевиною, який містить кальцій, або випаровування цього кальцію, зменшується, і таким чином дріт з серцевиною можна увести на достатню глибину у ванну рідкого металу, щоб уникнути поверхневої реакції ванни з вмістом дроту, а також ризиків, які виникають з цього: окислення або утворення нітридів у ванні, розбризкування рідкого металу, виділення диму, дуже низький вихід продукту за способом уведення добавок за допомогою дроту з серцевиною.

Відповідно до цих запропонованих раніше документів, повільне горіння піротехнічного паперу не спричиняє появу залишків горіння, які впливають на композицію (склад) ванни рідкого металу і не утворюють включень, які змінюють поведінку ванни, коли вона тече. У втіленні, описаному документом FR-2.821.626, над цією обгорткою з горючого піротехнічного паперу, який не залишає шкідливих слідів у ванні рідкого металу, застосований металевий захист, щоб перешкодити руйнуванню шарів піротехнічного паперу, коли вони намотані на котушку дроту з серцевиною, або коли дріт з серцевиною змотують з цієї котушки.

Заявник був також здивований, що дроти з серцевиною, описані в документах FR-2.821.626 або FR-2.810.919, не завжди дають вихід продукту, який є вищим, ніж у дротах з серцевиною, які були оголені від стрічок паперу, намотаних спіральною намоткою.

Заявник вирішив знайти рішення цієї технічної проблеми шляхом забезпечення, крім того, дроту з серцевиною, тривалість життя якого у ванні рідкого металу збільшена порівняно зі звичайними дротами, так щоб можна було досягти наперед визначену глибину у ванні рідкого металу.

Заявник після складних і тривалих випробувань зробив відкриття, зокрема:

1) що важливо уникнути повного згоряння намотаного паперу, описаного в документах FR-2.821.626 та FR-2.810.919 до того, як дріт з серцевиною увійде у ванну рідкого металу,

2) засіб для уникнення цього горіння,

3) що збільшення тривалості життя дроту з серцевиною було гарантоване, коли горіння паперу не відбувається до того, як дріт з серцевиною входить у ванну рідкого металу, якщо папір був не обов'язково піротехнічним або класу M1, або зі збільшеною стійкістю до займання, на противагу до того, що зазначено у документах FR-2.821.626 або FR-2.810.919, оскільки папір не горів у ванні рідкого металу, але відбувався піроліз, так що він перетворюється в матеріал, теплофізичні властивості якого до цього часу невідомі заявникові, тому що цей піроліз не досягнутий, крім відносно певних вимірювань, які деталізовані нижче.

Таким чином, заявник відкрив недорогі і реальні засоби для збільшення тривалості життя дротів з серцевиною у ваннах рідкого металу, причому ці засоби сумісні з усіма структурами, описаними раніше для дроту з серцевиною, і ці засоби приносять сприятливий технічний ефект на додаток до кожної з індивідуальних переваг різних типів відомих раніше дротів з серцевиною.

Тому винахід стосується, відповідно до його першого аспекту, дроту з серцевиною, який складається з принаймні одного шару, який є бар'єром для передачі тепла, причому згаданий шар виготовлений з матеріалу, який піддається піролізу при контакті з ванною металу, такою як рідка сталь.

Відповідно до різних способів втілення, дріт з серцевиною має такі характеристики, якщо таке трапляється, у поєднанні:

- він має зовнішній шар, який є бар'єром для передачі тепла, який обгортає металеве внутрішнє облицювання, причому згаданий зовнішній шар, який є бар'єром для передачі тепла, виготовлений з матеріалу, який піддається піролізу при контакті з ванною рідкого металу;

- матеріалом, який піддається піролізу, є крафт-папір, алюмінований папір або багатшаровий папір, який складається з принаймні однієї стрічки крафт-паперу і може мати принаймні один шар алюмінованого паперу;

- матеріал, який піддається піролізу, покритий тонким металевим листом;

- тонкий металевий лист виготовлений з алюмінію або алюмінієвого сплаву;

- матеріал, який піддається піролізу, має теплопровідність в межах від 0,15 до 4 ват/м.К включно до піролізу;

- матеріал, який піддається піролізу, має температуру на початку піролізу, що становить порядку 500°C;

- матеріал, який піддається піролізу, може бути заповнений водою або хімічною сполукою з високою латентною теплою випаровування, зокрема, вищою, ніж 2МДж/кг;

- матеріал, який піддається піролізу, може складатися з шару змоченого паперу;

- матеріал, який піддається піролізу, прикріплений приклеюванням його до металевого облицювання всередині дроту з серцевиною;

- матеріал, який піддається піролізу, розміщений між металевим облицюванням всередині дроту з серцевиною і зовнішньою металевою оболонкою;

- зовнішня металева оболонка має шов з матеріалом, що піддається піролізу, розміщеним між зшивною стрічкою, так що всі прямі контакти метал/метал у зшивальній стрічці усунуто;

- внутрішнє металеве облицювання має радіальну товщину, що становить від приблизно 0,2 до 0,6мм включно, причому зовнішня металева оболонка має радіальну товщину, що становить від приблизно 0,2 до 0,6мм включно;

- матеріалом, який піддається піролізу, є крафт-папір, одношаровий або багатшаровий, товщиною від 0,1 до 0,8мм включно;

- дріт з серцевиною містить принаймні один матеріал, вибраний із групи, яка складається з Ca, Bi, Nb, CaSi, C, Mn, Si, Cr, Ti, B, S, Se, Te, Pb, CaC<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, CaO, MgO, рідкоземельні елементи, у формі порошку, ущільнених зерен або зерен, занурених в смолу, або інші хімічні елементи, які можуть бути корисними для уповільнення реакції всередині металевої ванни.

Інші об'єкти та переваги винаходу стануть очевидними під час подальшого опису способів втілення, причому цей опис буде зроблено з посиланням на додані креслення, на яких:

- фігура 1 є представленням принципу введення дроту з серцевиною у ванну рідкої сталі;

- фігури 2-12 є температурними кривими як функція часу, одержаними з кількісних моделювань;

- фігури 13-21 є температурними кривими як функція часу, і є результатами програм випробувань, направлених заявником.

Посилання на фігуру 1, яка є представленням принципу введення дроту з серцевиною у ливарний ківш з рідкою сталлю.

Дріт з серцевиною (1) видаляють із обойми (2), як описано в документі FR-2.703.334 заявником, або видаляють з котушки (3) і уводять в інжектор (4).

Цей інжектор (4) подає дріт у спрямовуючу трубку (5), і дріт з серцевиною виходить із спрямовуючої трубки (5) на висоті порядку від 1,00 до 1,40 метра над поверхнею ванни рідкої сталі (6), яка міститься в ливарному ковші (7).

Таким чином, дріт з серцевиною (1) розміщений у трьох зонах, які є дуже різними за термічними умовами:

- перша зона, в якій дріт з серцевиною перебуває всередині спрямовуючої трубки;

- друга зона, розміщена над ванною рідкої сталі, в якій дріт з серцевиною уміщений в прямий контакт з навколишньою атмосферою;

- третя зона, якою є сама сталь або ванна рідкого металу.

Для того, щоб обмежити кількість випробувань, проведених з інструментованим дротом з серцевиною (тобто, оснащеним вимірювальною апаратурою), була розроблена модель, яка моде-

лювала термічну поведінку дроту з серцевиною за цих трьох умов.

Для цієї моделі були розроблені трьохвимірні обміни випромінювання тепла між плоскою, теплою, сірою та дифузною поверхнею шляхом розрахунку факторів форми та переносу.

Фактори форми були розраховані за допомогою моделі плоского потоку, а фактори переносу були розраховані за допомогою методу покриття, беручи до уваги дифузне багаторазове відбиття.

Припустили, що всередині спрямовуючої трубки одержаний потік є таким, що випромінюється з спрямовуючої трубки, в яку вставлений дріт з серцевиною, з фактором форми, що дорівнює 1.

Для вільного проходження дроту з серцевиною після виходу з спрямовуючої трубки (5) і перед його входженням у ванну рідкого металу (6) потік розглядають як такий, що випускає випромінювання від ванни рідкого металу (6) і стінок ливарного ковша (7).

Всередині ванни рідкого металу (6) перенос розглядають як такий, що передається теплопровідністю з коефіцієнтом теплообміну, що становить порядку 50,000 Вт/м<sup>2</sup>К, коли прикладена температура поверхні.

Загальна здатність випромінювати тепло зовнішньої поверхні дроту з серцевиною розглядається такою, що становить 0,8, а така здатність спрямовуючої трубки становить 1, в той час як така здатність ванни розглядається такою, що становить 0,8.

Тепловий потік, що випромінюється, змінюється, відповідно до закону Стефана-Больцмана, за такою формулою:

$$\Phi = \epsilon \times F \times \sigma \times (T_1^4 - T_2^4),$$

де:

$\Phi$  - тепловий потік, який обмінюється між двома поверхнями, в Вт/м<sup>2</sup>

$\epsilon$  - коефіцієнт, який бере до уваги здатність випромінювати тепло двох поверхонь;

$F$  - коефіцієнт форми, який бере до уваги поверхні, форми та орієнтацію двох поверхонь відносно одна одної;

$\sigma$  - константа Стефана-Больцмана, яка дорівнює  $5,67 \times 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>К;

$T_1$  та  $T_2$  є абсолютна температура у градусах Кельвіна двох поверхонь, причому  $T_1$  більша, ніж  $T_2$ .

Фігура 2 подає коливання фактору переносу між дротом з серцевиною і ванною рідкого металу ( $\epsilon \times F$ ) як функцію відстані над цією ванною рідкого металу, причому значення нуль на осі абсцис відповідає поверхні ванни рідкого металу.

Дріт розглядають як такий, що складається з трьох концентричних циліндричних шарів, а саме, серцевини з кальцію, облицьованої сталлю, причому це сталеве внутрішнє облицювання покрите папером.

Для кількісної моделі діаметр серцевини з кальцію становить 7,8мм, товщина сталевого внутрішнього облицювання становить 0,6мм, в той час як товщина паперу може мати різні значення, наприклад, 0,6мм для восьми шарів пачки паперу.

Для моделювання дрів з серцевиною розглядають як такий, що має прийняти форму з твер-

дою кальцієвою серцевиною, уміщеною в оболонку і в контакт з сталевим внутрішнім облицюванням, яке само уміщене в оболонку і перебуває в контакт з папером.

Спрямовуюча трубка (5) представлена порожнистим сталевим циліндром при постійній температурі, яка дає енергію дротам з серцевиною впродовж часу  $t_1$ , так що:

$$t_1 = L_1 / v, \text{ де}$$

$L_1$  є довжина спрямовуючої трубки (5) і

$v$  є швидкість проходження дроту з серцевиною в трубку (5).

Ванна рідкого металу і стінки ливарного ковша (7) представлені в кількісній моделі температурою, яка становить 1600°C з випромінюванням і конвекцією у напрямі до дроту з серцевиною, відповідно до якої дріт розміщений над ванною (6) або в цій ванні рідкого металу (6).

Тепловий обмін відбувається шляхом конвекції з дуже високим коефіцієнтом обміну (50000Вт/м<sup>2</sup>К), починаючи з температури  $T_2$ , коли дріт з серцевиною входить у ванну рідкого металу (6).

$T_2$  розрахована так:

$$T_2 = L_1 + L_2 / v, \text{ де}$$

$L_2$  є відстань між найнижчою частиною спрямовуючої трубки (5) і поверхнею ванни рідкого металу (6).

Швидкість подачі дроту з серцевиною становить 2м/сек., причому початкова температура дроту з серцевиною становить 50°C.

Вільна подача дроту з серцевиною за межами спрямовуючої трубки (5) і перед введенням у ванну рідкого металу розглядають як таку, що повинна мати довжину, що становить 1,4м.

Дріт розглядають як такий, що має руйнуватися тоді, коли, за розрахунком, поверхня кальцієвої серцевини має температуру більшу, ніж 1400°C.

Як показано на фігурі 3, модель означає, що для послання на дріт з серцевиною без теплової ізоляції температура поверхні кальцієвої серцевини збільшується тільки на 70°C під час вільної подачі, і що вона досягає порогу, що становить 1400°C за 0,15сек. після проходження тільки 30см у ванну рідкого металу зі швидкістю 2м/сек.

Гradient температури між сталевим внутрішнім облицюванням і кальцієвою серцевиною, за розрахунком, не перевищує 65°C.

Таким чином, коли температура поверхні кальцієвої серцевини становить 1400°C, температура зовнішньої поверхні сталевого облицювання становить 1465°C, так що сталеве облицювання не плавиться до того, як зруйнується дріт з серцевиною, причому латентне тепло плавлення сталевого облицювання в цьому кількісному моделюванні не беруть до уваги.

Фігура 4 подає чотири кривих зростання температури поверхні кальцієвої серцевини дроту з серцевиною як функцію часу, причому кожна з цих чотирьох кривих відповідає різній товщині захисного паперу, а саме:

0,025мм для кривої 4a,

0,05мм для кривої 4b,

0,1мм для кривої 4c,

0,6мм для кривої 4d.

Порівняння фігур 3 та 4 показує, шляхом кількісного моделювання, захисний ефект паперу, який оточує сталеве облицювання, причому захисний ефект цього паперу збільшується зі збільшенням товщини паперу.

Криві, показані на фігурі 4, були одержані, беручи до уваги, що шари паперу залишаються нешкодженими, без горіння.

Відповідно до цієї гіпотези, ізоляція товщиною 0,025мм може бути достатньою, щоб захистити дріт з серцевиною до тих пір, поки він не досягне дна ванни рідкого металу. Однак, треба мати на увазі, що температура горіння паперу становить приблизно 550°C.

Вивчення збільшення температури поверхні паперу під час вільної подачі було здійснено, не враховуючи ефект конвекції відносно випромінювання, який фактично переважає.

Фігура 5 показує розвиток температури поверхні паперу як функцію теплопровідності цього паперу під час першої секунди вільної подачі дроту з серцевиною, якщо товщина паперу становить 0,6мм і якщо швидкість розмотування дроту з серцевиною становить 2м/сек.

Крива 5a відповідає теплопровідності 0,1Вт/К.м, крива 5b відповідає теплопровідності 0,15Вт/К.м і крива 5c відповідає теплопровідності 0,2Вт/К.м.

Фігура 5 показує, що горіння паперу можливе, і деструкцію паперу під час вільної подачі дроту з серцевиною не можна виключати.

Фігура 6 показує розвиток температури поверхні паперу для теплопровідності цього паперу, що становить 0,15Вт/К.м, при швидкості уведення дроту з серцевиною, що становить 2м/сек., причому товщина паперу на кривій 6a становить 0,6мм, на кривій 6b становить 0,2мм і на кривій 6c становить 0,1мм.

Фігура 6 показує, що при зменшенні товщини паперу температура поверхні цього паперу зменшується, і тому існує ризик загорання під час вільної подачі дроту з серцевиною над ванною рідкого металу.

Як відомо досвідченим спеціалістам, поверхня ванни рідкого металу, такого як сталь, покрита шаром шлаку, який утворює тепловий екран, фігура 7 показує, що на температуру паперу, який покриває дріт з серцевиною, широко впливає зміна температури джерела випромінювання тепла.

Криві 7a, 7b, 7c та 7d відповідають температурам поверхонь, що випромінюють тепло, відповідно 1500, 1400, 1300 та 1200°C.

Для моделі, показаної на фігурі 7, швидкість уведення дроту з серцевиною становила 2м/сек., а теплопровідність паперу становила 0,15Вт/К.м.

Через ці кількісні моделі, які були підтверджені експериментальним випробуванням, заявник міг підтвердити гіпотезу, що коливання результатів, одержаних під час реалізації структури, такої, як описано в документі FR-2.810.919, було результатом горіння паперу під час вільного проходження дроту з серцевиною над ванною рідкого металу, і після цього пункту папір більше не впливав на тепловий захист дроту з серцевиною, як тільки він опинився всередині ванни рідкої сталі.

Заявник встановив таку додаткову гіпотезу: папір піддається піролізу і не горить всередині ванни рідкої сталі.

Потім заявник пішов далі з кількісними моделями, розглядаючи папір як тіло, що має дві різні теплопровідності залежно від температури:

- першу теплопровідність, що є теплопровідністю первинного паперу (0,15Вт/К.м), причому ця перша теплопровідність підтримується до тих пір, поки вона досягає температуру порядку 500°C на початку піролізу;

- другу теплопровідність (300Вт/К.м), яку, як припускають, досягають, коли температура паперу, що піддається піролізу, становить 600°C, тобто, температура, коли, як припускають, піроліз має закінчитись.

Припускають, що між температурою 500 та 600°C зміна теплопровідності від 0,15Вт/К.м до 300Вт/К.м є лінійною.

Фігура 8 подає результати кількісної моделі для температури поверхні кальцію, який міститься в дроті з серцевиною, коли припускають, що папір має розчинитись у ванні рідкого металу зразу ж після того, як він піддався піролізу.

Крива 8a відповідає звичайному дроту з серцевиною без захисного паперу.

Крива 8b відповідає дроту з серцевиною, який був забезпечений захисним папером товщиною 0,6мм.

Крива 8c відповідає дроту з серцевиною, який був забезпечений захисним папером товщиною 1,2мм.

Фігура 8 пропонує, що коли папір зникає після піролізу, то неможливо захистити дріт з серцевиною достатньо обґрунтовано, що він досягає дна сталеві ванни. Це залишається дійсним навіть тоді, якщо товщина паперу подвоєна.

Під час промислових випробувань заявник визначив, що дріт з серцевиною іноді досягає дна ванни, коли дріт покритий захисним папером. Тому можливо, що папір не зникає після піролізу, який відбувається у ванні рідкої сталі.

Піроліз крафт-паперу був здійснений при підвищенні температури аркушів паперу при відсутності кисню, поки була досягнута температура приблизно 600°C, і було здійснено вимірювання теплопровідності паперу перед і після піролізу. З цього дослідження стало очевидним, що теплопровідність паперу мало змінюється після піролізу.

Тому заявник знову здійснив кількісне моделювання, розглянуте у даний час, на відміну від гіпотези, яка відповідає фігурі 8, що папір не зникає після піролізу, коли теплопровідність паперу після піролізу розглядається як така, що становить 0,15, 1, 2, 4 Вт/К.м для кривих 9a, 9b, 9c, 9d відповідно. Це моделювання краще відображує результати випробувань, як ми зможемо побачити пізніше.

Для того, щоб уникнути повного згорання паперу, який обгортає сталеве внутрішнє облицювання дроту з серцевиною, заявник передбачив поглинання випромінювання, або відбивання його при зволоженні цього паперу або при покритті його алюмінієм.

Фігура 10 показує результати кількісного моделювання зміни температури поверхні паперу як



функції часу, причому криві 10a, 10b, 10c та 10d відповідають, відповідно, вологості 0%, 59%, 89% та 118%.

Для моделі, показаної на фігурі 10, швидкість уведення дроту з серцевиною становить 2м/сек., причому теплопровідність паперу становить 0,15Вт/К.м.

Фігура 11 подає результати розрахунку випромінювання, здійснені при додаванні дуже тонкого шару алюмінію як покриття на папері, що обгортає сталеве внутрішнє облицювання дроту з серцевиною.

Ця фігура 11 показує, що фактор переносу випромінювання зменшується у вісім разів порівняно з фактором переносу паперу, коефіцієнт випромінювання якого становить 0,8.

Фігура 12 дає нам можливість порівняти зміни температури поверхні паперу як функцію часу з та без алюмінієвого покриття, причому швидкість уведення дроту з серцевиною залишається на рівні 2м/сек., і теплопровідність паперу становить 0,15Вт/К.м.

Температура поверхні паперу збільшується дуже мало, відповідно до цієї кількісної моделі, під час вільного проходження дроту з серцевиною, показуючи, що алюміній забезпечує дуже ефективний тепловий захист паперу на дроті з серцевиною.

Для того, щоб перевірити гіпотезу, сформульовану заявником під час моделювань, представлених вище, заявник здійснив випробування за допомогою дроту з серцевиною, оснащеного вимірювальною апаратурою.

Дріт з серцевиною, оснащений вимірювальною апаратурою, виготовлений за три стадії:

- випорожнення дроту з серцевиною;
- розміщення термопар в контакт з внутрішнім сталевим облицюванням дроту з серцевиною, на 180 градусів від шва;
- заповнення дроту з серцевиною порошком.

Електричні з'єднання і дроти під'єднаної термопарі захищені сталеву трубою.

Дріт з серцевиною, оснащений вимірювальною апаратурою, увели у металургійний ливарний ківш з рідкою сталлю, а потім видалили після визначеного наперед періоду часу.

Ванни безперервно перемішували аргонем, який створив інертну атмосферу над поверхнею ванни рідкої сталі, яка обмежує ризик випадкового загоряння паперу на дроті з серцевиною.

На фігурах 13-21 точка 1 відповідає входженню дроту з серцевиною у рідку сталь.

Спочатку згадане випробування було здійснене з дротом з серцевиною, який не був покритий папером, і де зміна температури всередині згаданого дроту з серцевиною як функція часу подана на фігурі 13.

Падіння температури в точці D на фігурі 13 пов'язане з руйнуванням термопар.

Фігура 14 порівнює результати, одержані зі згаданим дротом (посилання 14a) і дротом з серцевиною, який містить шар крафт-паперу, розміщений між кальцієвою серцевиною і сталевим внутрішнім облицюванням (посилання 14b).

Фігура 14 демонструє вплив застосування крафт-паперу всередині дроту з серцевиною, який

уповільнює збільшення температури на 0,4 секунди і загальний час перед деструкцією на 0,7 секунд.

Фігура 15 порівнює результати, одержані зі згаданим дротом (крива 15a) і двома дротами, оснащеними вимірювальною апаратурою, оснащеними двома зовнішніми шарами крафт-паперу (криві 15b, 15c). Одержане уповільнення зростання температури становить 0,8 секунди; і 1,2 секунди дає можливість дроту з серцевиною досягти дна ливарного ковша.

Різка підвищення температури кривих 15b та 15c відповідає моменту, коли крафт-папір повністю зруйнований, оскільки сталеве внутрішнє облицювання дроту з серцевиною входить в прямий контакт з ванною рідкої сталі.

Фігура 16 дає нам можливість порівняти результати, одержані зі згаданим дротом (фігура 16a) і дротом з серцевиною, захищеним двома шарами крафт-паперу і двома шарами алюмінованого паперу (дві криві випробування 16b та 16c). Криві на фігурі 16 показують, що присутність двох шарів крафт-паперу і двох шарів алюмінованого паперу уповільнюють збільшення температури приблизно на 1 секунду відносно згаданого звичайного дроту.

Фігура 17 показує результати, одержані з двома зразками, захищеними трьома шарами крафт-паперу і двома шарами алюмінованого паперу, (криві 17b та 17c) порівняно зі значеннями для згаданого дроту (крива 17a).

Фігура 18 показує результати, одержані з сімома шарами крафт-паперу і двома шарами алюмінованого паперу, (криві 18b та 18c) порівняно зі згаданим дротом (крива 18a). Тут збільшення температури уповільнене на більше, ніж 1,2 секунди.

Крива 19b на фігурі 19 подає результати, одержані для дроту з серцевиною, захищеного чотирма шарами крафт-паперу і шаром алюмінію, і показує уповільнення збільшення температури на 0,6 секунди відносно згаданого дроту, крива 19a.

Крива 20b на фігурі 20 подає результат, одержаний з дротом з серцевиною, захищеним вісьмома шарами крафт-паперу і шаром алюмінію. Уповільнення збільшення температури становило 0,8 секунди відносно згаданого дроту, крива 20a.

Крива 20c відповідає випробуванню, в якому дріт з серцевиною був занурений збоку у шлак і не проник всередину розплавленої сталі, причому це випробування непрямо дає температуру шлаку, тобто, 1200°C.

Криві 21b та c на фігурі 21 подають результати, одержані для дроту з серцевиною, захищеного двома шарами алюмінованого паперу. Уповільнення збільшення температури становило приблизно 0,7 секунди відносно згаданого дроту, крива 21a. Ці результати потрібно порівняти з такими на фігурі 18.

Кількісні та експериментальні результати, представлені вище з посиланням на фігури 2-12, підтверджують, що шари паперу, які облицьовують дріт з серцевиною, складають теплоізолятор, який забезпечує захист дроту з серцевиною впродовж періоду часу від 0,6 до 1,6 секунд відносно звичайного дроту з серцевиною.

Заявник зробив відкриття, що цей захисний ефект одержаний завдяки піролізу паперу у ванні рідкого металу, причому папір має бути захищений від всього горіння, зокрема, під час його вільного проходження над ванною рідкого металу.

Ризик горіння можна зменшити вдуванням аргону над ливарним ковшем з рідким металом або змочуванням паперу у воді або шляхом покривання паперу металевою стрічкою.

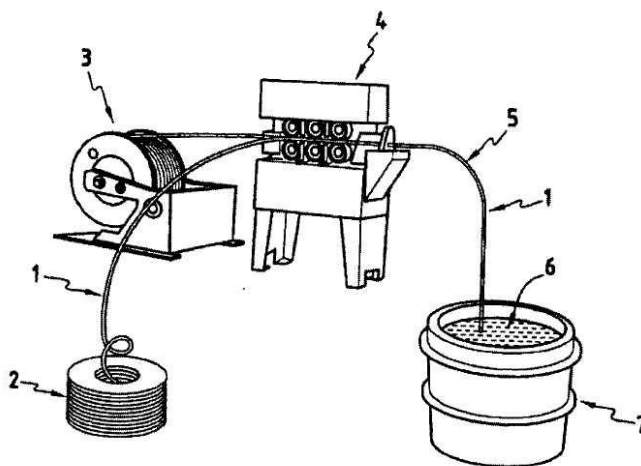
Документ FR-2.810.919 заявника описує розміщення тепло ізолюючого паперу між зовнішньою сталеву обгорткою і сталевим внутрішнім облицюванням, яке містить порошкову або гранульовану добавку.

Зовнішнє сталеве облицювання призначене для перешкоджання руйнуванню паперу в той час,

як дріт з серцевиною переміщують, і під час процесу подачі дроту.

Заявник зробив відкриття, що ці "гібридні" драти, як описано в документі FR-2.810.919, не дають нам можливості одержати значного уповільнення збільшення температури, якого можна було б досягнути, поки папір не забезпечить повну ізоляцію внутрішньої сталеві оболонки від зовнішньої сталеві оболонки дроту з серцевиною, таким чином даючи можливість паперу піддаватись піролізу у ванні рідкого металу.

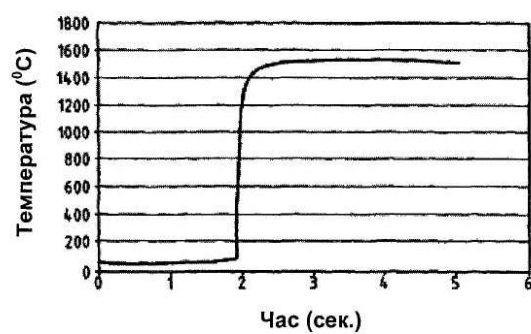
Експериментальні процедури були здійснені в співробітництві з Armines, Centre d'Energetique, Ecole des Mines de Paris.



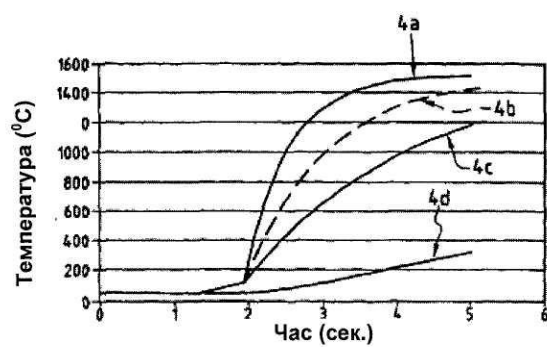
ФІГ. 1



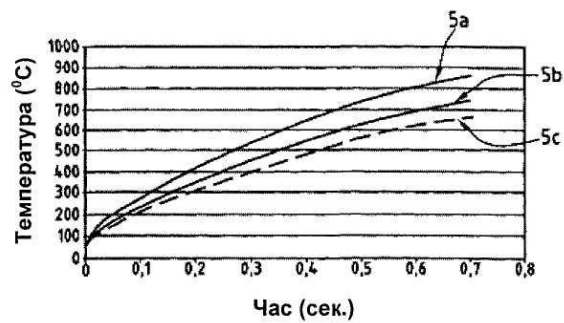
ФІГ. 2



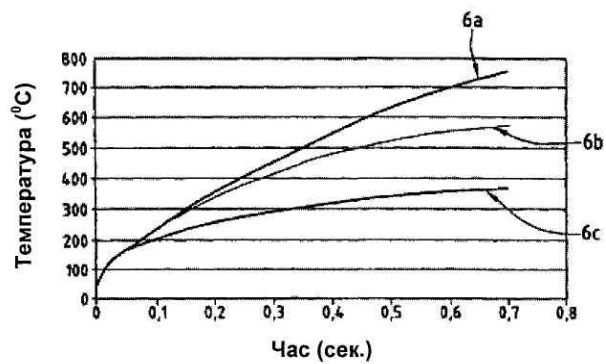
ФИГ. 3



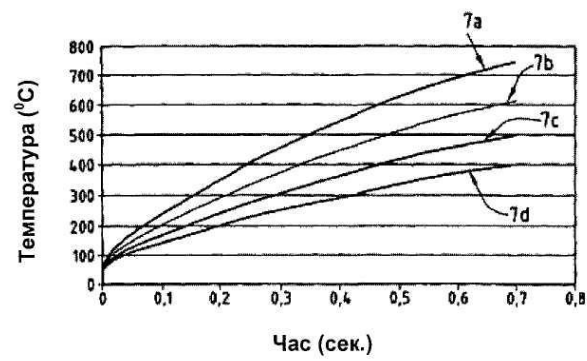
ФИГ. 4



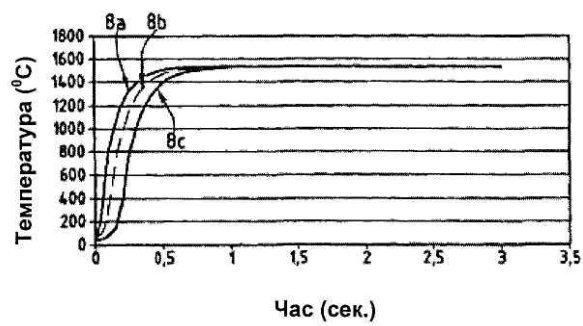
ФИГ. 5



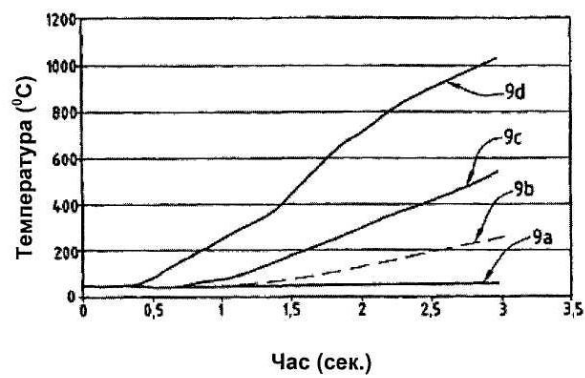
ФИГ. 6



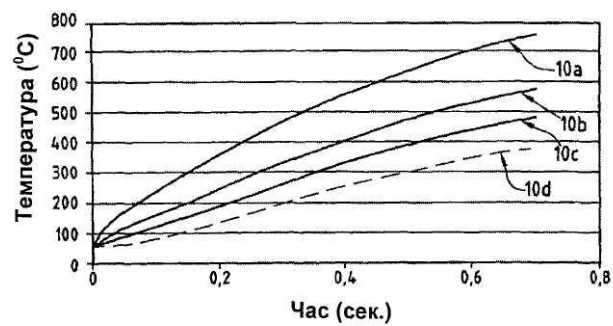
ФІГ. 7



ФІГ. 8



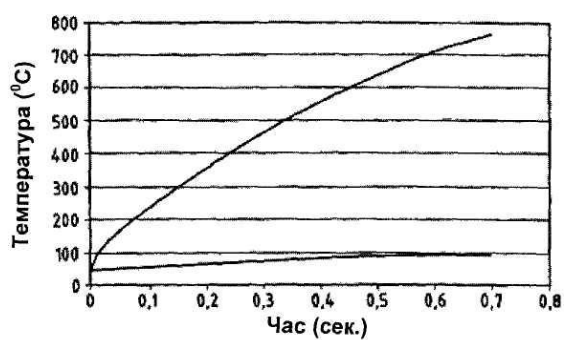
ФІГ. 9



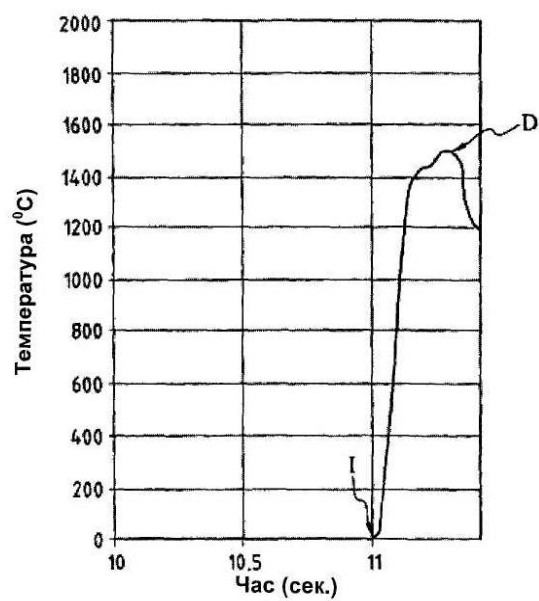
ФІГ. 10



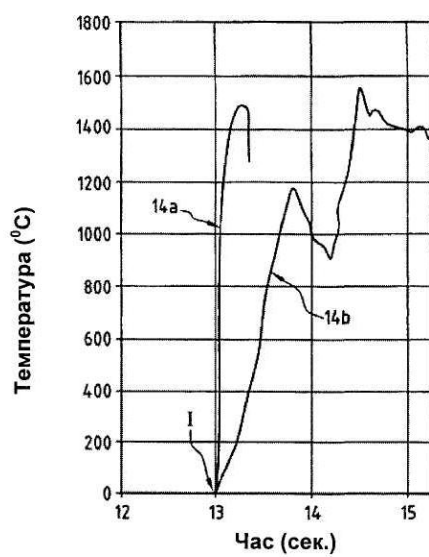
ФІГ. 11



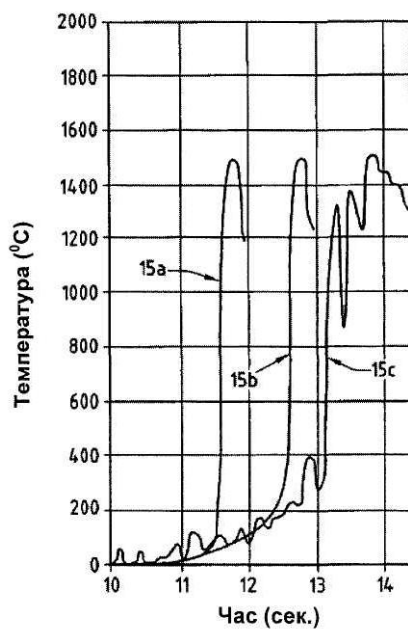
ФІГ. 12



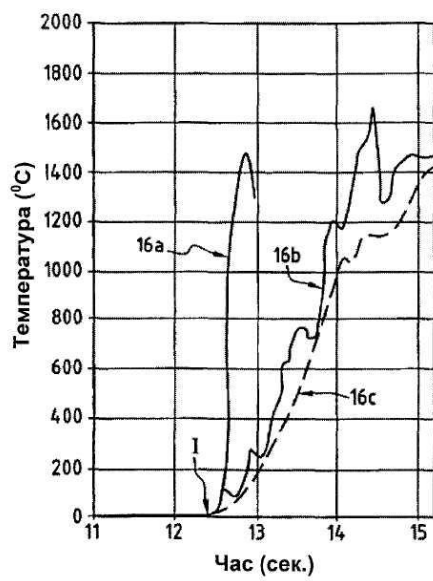
ФІГ. 13



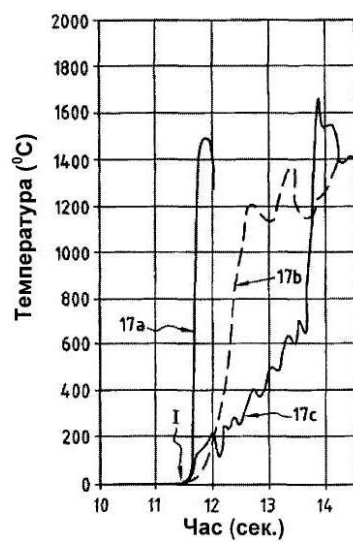
ФИГ. 14



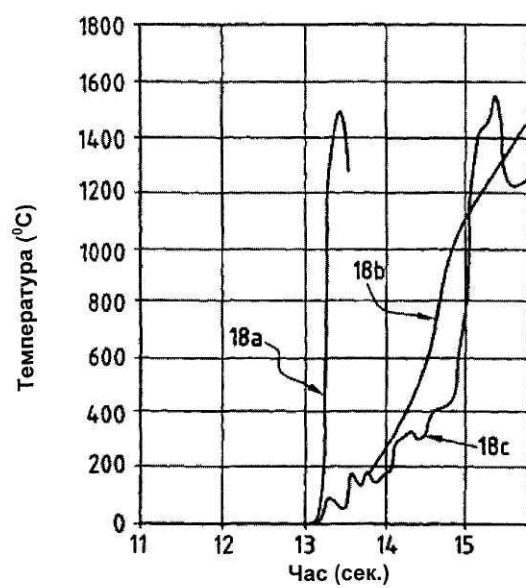
ФИГ. 15



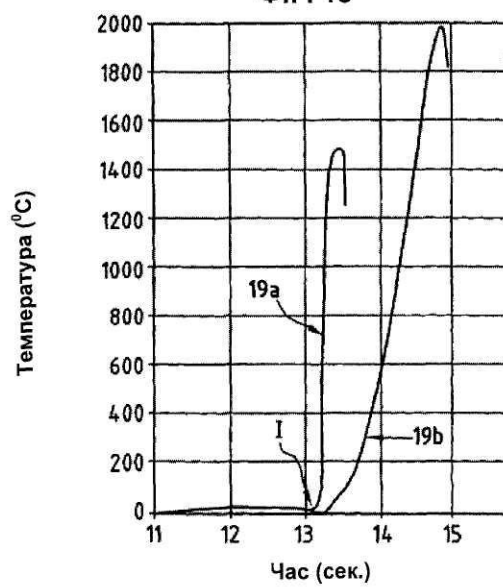
ФИГ. 16



ФИГ. 17

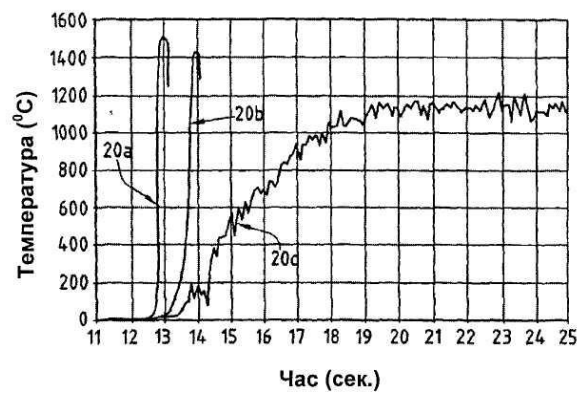


ФІГ. 18

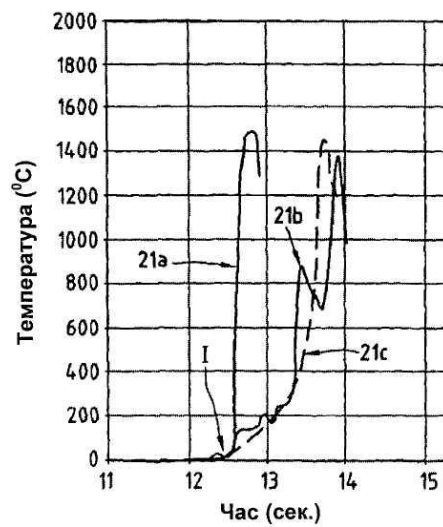


ФІГ. 19





ФІГ. 20



ФІГ. 21