



УКРАЇНА

(19) UA (11) 44467 (13) U
(51) МПК (2009)
B22D 19/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА БІМЕТАЛЕВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДРОБАРОК

1

(21) u200902589

(22) 23.03.2009

(24) 12.10.2009

(46) 12.10.2009, Бюл. № 19, 2009 р.

(72) РОМАНЕНКО ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, АФТАНДІЛАНЦ ЄВГЕНІЙ ГРИГОРОВИЧ, ШИНСЬКИЙ ІГОР ОЛЕГОВИЧ, ПЕЛІКАН ОЛЕГ АНАТОЛІЙОВИЧ

(73) ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ НАН УКРАЇНИ

(57) 1. Спосіб виробництва біметалевих робочих органів дробарок, що включає виплавку та заливку у ливарну форму розплаву сталі, нанесення флюсу на її затверділу поверхню, виплавку та заливку

2

зносостійкого легованого чавуну, який **відрізняється** тим, що після виплавки сталі, з вуглецевим еквівалентом ($C_{\text{екв}}^{\text{ст}}$) від 0,3 до 1,2 %, перед її заливкою, визначають температуру солідус сталі, температуру заливки чавуну та його вуглецевий еквівалент ($C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$), за яким визначають хімічний склад чавуну, який виплавляють та заливають в ливарну форму на сталеву основу.

2. Спосіб виробництва біметалевих робочих органів дробарок за п. 1, який **відрізняється** тим, що вуглецевий еквівалент чавуну ($C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$) повинен бути в межах від 3,0 до 4,6 та відповідати співвідношенню $C_{\text{екв}}^{\text{чав}} > 2,59 + 1,17 \cdot C_{\text{екв}}^{\text{ст}}$.

Корисна модель відноситься до області металургії, ливарного виробництва, зокрема, до біметалевих виливків робочих органів дробарок, що працюють в умовах значних динамічних знакозмінних навантажень, інтенсивного абразивного, ударно-абразивного та гідроабразивного зношування.

Відомий спосіб одержання біметалевих литих заготовок [А.с. № 1489922, МПК B22D 19/00, опубл. 30.06.89 бюл. № 24], що включає заливку в ливарну форму розплаву першого металу біметалевої пари, його кристалізацію, формування контактної поверхні за допомогою моделі, що газифікується, та заливку на контактну поверхню розплаву другого металу.

Недоліком цього способу є наявність оксидних плівок, які впливають на міжфазні процеси, перешкоджаючи дифузійній взаємодії між сплавами, значно ускладнюють формування надійної перехідної зони, зменшують міцнісні характеристики біметалевих виливків.

Відомий також спосіб виготовлення біметалевих виливків з двох різнорідних по хімічному складу і з різною температурою плавлення сплавів, в якому на заготовку, яка виготовлена з більш легкоплавкого сплаву і встановлена у ливарній формі, заливають більш тугоплавкий сплав [Патент RU №2 267 378 С1, МПК B22D 19/16, опубл. 10.01.2006, бюл. № 01] і спосіб виготовлення двохшарових виливків, в якому в ливарну форму зали-

вають метал одного хімічного складу, наносять на його затверділу поверхню кисненепроникний шлак і заливають метал іншого хімічного складу, температура кристалізації якого вища за температуру кристалізації 1-го металу. [Патент RU № 93033093 А. МПК B22D 19/00, опубл. 1996.03.20].

Недоліками вищенаведених способів є те, що при заливці більш тугоплавкого сплаву на легкоплавкий, останній розплавляється і формування контактної зони відбувається в результаті перемішування розплавів в площині їх контакту. При охолодженні в процесі твердіння в зоні контакту утворюються усадкові дефекти (пори, рихлості, раковини і тріщини), що знижує якість з'єднання основи і робочого шару і, як наслідок, ресурс робочих органів дробарок.

Найбільш близьким до запропонованої корисної моделі за технічною суттю, метою та результатом, що досягається, є спосіб одержання зносостійких біметалевих виливків, що включає заливку у ливарну форму розплаву сталі, нанесення кисненепроникного покриття на її затверділу поверхню, витримку та заливку зносостійкого легованого чавуну [Деклараційний патент України на корисну модель UA №10827 МПК B22D 19/00, опубл. 15.11.05, бюл. № 11].

Одним із істотних недоліків цього способу є відсутність співвідношення між хімічним складом та температурами твердіння сталі та заливки зносостійкого легованого чавуну. Це не дає можли-

(13) U

(11) 44467

(19) UA

вість гарантувати якість біметалевих виливків, оскільки у випадку коли температура заливки зносостійкого легованого чавуну перевищує температуру твердіння сталі, остання розплавляється і формування контактної зони відбувається в результаті перемішування розплавів в площині їх контакту. При охолодженні в процесі твердіння в зоні контакту утворюються усадкові дефекти (пори, рихлість, раковини і тріщини), що знижує міцність з'єднання основи і робочого шару і, як наслідок, ресурс робочих органів дробарок. Крім того внаслідок незбалансованого співвідношення хімічного складу сталі та чавуну, збільшуються витрати дорогих матеріалів.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити міцність з'єднання чавунного робочого шару зі сталеву основу біметалевого робочого органу дробарки.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виробництва біметалевих робочих органів дробарок, який включає виплавку та заливку у ливарну форму розплаву сталі, нанесення флюсу на її затверділу поверхню, виплавку та заливку зносостійкого легованого чавуну, згідно з корисною моделлю, після виплавки сталі з вуглецевим еквівалентом ($C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$) від 0,3 до 1,2%, перед її заливкою, визначають температуру солідус сталі, температуру заливки чавуну та його вуглецевий еквівалент ($C_{\text{екв}}^{\text{Чав}}$) за яким визначають хімічний склад чавуну, який виплавляють та заливають в ливарну форму на сталеву основу. При цьому вуглецевий еквівалент легованого чавуну ($C_{\text{екв}}^{\text{Чав}}$) повинен бути в межах від 3,0 до 4,6%, та відповідати співвідношенню

$$(C_{\text{екв}}^{\text{Чав}}) > 2,59 + 1,17 \cdot (C_{\text{екв}}^{\text{CT}})$$

Якісне дифузійне з'єднання сталеві основи і чавунного робочого шару (взаємне проникнення, в результаті дифузії, атомів матеріалу основи і робочого шару один в одного) робочих органів дробарок відбувається в результаті контакту затверділої після заливки сталеві основи (Fig.1) з чавунним робочим шаром в процесі його формування після заливки (Fig.2). При цьому міцність дифузійного шару, яка визначається міжатомними силами зв'язку матеріалу, що утворився в результаті дифузії, є ізотропною по поверхні контакту, що підвищує надійність роботи біметалевих робочих органів дробарок.

Проте надійне з'єднання робочого шару і основи за допомогою дифузійного шару є необхідною, але недостатньою умовою для підвищення міцності та зносостійкості робочих органів дробарок, оскільки істотний вплив на працездатність біметалевих виливків мають матеріали основи і робочого шару.

За своїм функціональним призначенням робочі органи дробарок повинні поєднувати високу твердість, зносостійкість матеріалу робочого шару з конструкційною міцністю, ударною в'язкістю, пластичністю матеріалу основи. Для забезпечення високої зносостійкості та міцності матеріали основи та робочого шару повинні мати високий рівень таких властивостей, як опір стиску, згину, зсуву, зрізу, зминанню, а також високу та рівномірну твердість при відсутності крихкості, невелику різницю

коефіцієнтів теплового розширення і стабільну макро- та мікроструктуру основи та робочого шару.

Дослідженнями встановлено, що вищезгаданий рівень властивостей сталеві основи досягається у разі застосування сталей що містять (мас. %) від 0,2 до 0,4 вуглецю; від 0,15 до 0,9 кремнію; від 0,25 до 1,4 марганцю; від 0,20 до 2,5 хрому; від 0,1 до 1,0 нікелю; до 0,025 сірки; до 0,02 фосфору. При цьому значення вуглецевого еквіваленту сталі ($C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$), визначені по формулі (1), яка приведена в ГОСТ 27772-88. «Прокат для строительных стальных конструкций», повинні бути в межах від 0,3 до 1,2%.

$$C_{\text{екв}}^{\text{CT}} = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Cu/13 + V/14 + P/2, \% \quad (1),$$

де C, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P - масові частки вуглецю, марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді, ванадію та фосфору у сталі, %.

При значеннях вуглецевого еквівалента сталеві основи ($C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$) менше 0,3% не забезпечується необхідний рівень міцності і зносостійкості основи.

При значеннях вуглецевого еквівалента сталеві основи ($C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$) більше 1,2% не забезпечується необхідний рівень ударної в'язкості і пластичності основи.

Необхідний рівень властивостей чавунного робочого шару досягається у разі застосування чавунів, які містять (мас. %) від 2,3 до 3,3 вуглецю; від 0,5 до 0,75 кремнію; від 0,5 до 5,0 марганцю; від 11,0 до 24,0 хрому; до 2,4 молібдену; до 0,04 сірки; до 0,05 фосфору. При цьому значення вуглецевого еквіваленту чавуну ($C_{\text{екв}}^{\text{Чав}}$), які визначають по формулі (2), приведений в роботі [Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.. Л.: Машиностроение. 1966. - с. 562.], повинні бути в межах від 3,0 до 4,6%.

$$C_{\text{екв}}^{\text{Чав}} = C + 0,3 \cdot (Si + P) - 0,03 \cdot Mn + 0,4 \cdot S + 0,07 \cdot Ni + 0,05 \cdot Cr + 0,074 \cdot Cu + 0,25 \cdot Al, \% \quad (2),$$

де C, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, Al, S, P - масові частки вуглецю, марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді, алюмінію, сірки та фосфору в чавуні, %.

При значеннях вуглецевого еквіваленту чавуну робочого шару ($C_{\text{екв}}^{\text{Чав}}$) менше 3,0% спостерігаються низькі механічні властивості, зокрема, міцність та корозійна стійкість робочого шару. При цьому не досягається необхідна твердість та зносостійкість робочих органів дробарок та знижуються їх експлуатаційні характеристики.

При значеннях вуглецевого еквіваленту чавуну робочого шару ($C_{\text{екв}}^{\text{Чав}}$) більше 4,6% спостерігається підвищена крихкість внаслідок формування хромо-карбідної евтектики та великих карбідів. Це призводить до зниження механічних характеристик деталей в умовах динамічних навантажень при їх експлуатації. Крім цього має місце підвищення собівартості продукції через значний вміст дорогих та дефіцитних легуючих елементів.

Високоякісне дифузійне з'єднання чавунного робочого шару і сталеві основи, тобто формування дифузійного перехідного шару без пор, тріщин усадкових та інших дефектів відбувається тільки у тому випадку, коли рідкий чавун заливається на тверду основу. Ця умова виконується тоді, коли температура закінчення твердіння ста-

левої основи (температура солідус ($t_{\text{сол}}^{\text{CT}}$)) більше температури заливки чавуну робочого шару ($t_{\text{зал}}^{\text{чав}}$), тобто коли реалізується наступна нерівність

$$t_{\text{сол}}^{\text{CT}} > t_{\text{зал}}^{\text{чав}} \quad (3),$$

Результати виконаних нами експериментів і аналіз результатів роботи [Справочник по чугуному литью. Ленинград. Машиностроение: Под ред. Н.Г. Гиршовича. 1978. -с. 758] показали, що хімічний склад сталі та чавуну визначає температури солідус стальної основи ($t_{\text{сол}}^{\text{CT}}$) і заливки легованого чавуну робочого шару ($t_{\text{зал}}^{\text{чав}}$) наступними залежностями

$$t_{\text{сол}}^{\text{CT}} = 1498 - 55,96 \cdot C_{\text{екв}}^{\text{CT}}, \text{ } ^\circ\text{C}; r = 0,909; \quad (4)$$

$$t_{\text{зал}}^{\text{чав}} = 1622 - 47,94 \cdot C_{\text{екв}}^{\text{чав}}, \text{ } ^\circ\text{C}; r = 0,984 \quad (5)$$

де r - коефіцієнт кореляції; $C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$ і $C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$ - вуглецеві еквіваленти сталі і чавуну, відповідно, %.

З урахуванням рівнянь 3-5 визначили, що для якісного дифузійного з'єднання чавунного робочого шару і сталеві основи необхідно виконання наступного співвідношення

$$C_{\text{екв}}^{\text{чав}} > 2,59 + 1,17 \cdot C_{\text{екв}}^{\text{CT}}, \% \quad (6),$$

Співвідношення 6 дає можливість при відомому значенні температури солідус сталеві основи ($t_{\text{сол}}^{\text{CT}}$) шляхом варіювання значеннями вуглецевого еквіваленту чавуну ($C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$) і температурою заливки чавуну ($t_{\text{зал}}^{\text{чав}}$) визначити їх оптимальні параметри для отримання якісного дифузійного з'єднання чавунного робочого шару і сталеві основи конкретних біметалевих робочих органів дробарок та умов виробництва.

При невиконанні залежності 6 і реалізації іншого співвідношення ($C_{\text{екв}}^{\text{чав}} < 2,59 + 1,17 \cdot C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$) знижується якість з'єднання основи і робочого шару, оскільки в цьому випадку рідкий чавун робочого шару заливатиметься на основу, яка знаходиться в рідкому або рідко-твердому стані. При цьому відбуватиметься змішування розплавів матеріалу основи і робочого шару, при твердінні яких в зоні контакту утворюються усадкові дефекти (пори, рихлість, раковини і тріщини), що знижує міцність з'єднання основи і робочого шару і, як наслідок, зменшується ресурс робочих органів дробарок.

Приклад реалізації способу.

Спосіб виробництва біметалевих робочих органів дробарок реалізується наступним чином. У індукційній плавильній печі ICT-016 виплавляється сталь з вуглецевим еквівалентом ($C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$) від 0,3 до 1,2%. Перед заливкою сталі у ливарну форму визначають її температуру солідус та максимальну температуру заливки чавуну. За допомогою формули 3 визначають оптимальну, для конкретних біметалевих робочих органів дробарок (маса та товщини виливків, та їх співвідношення для основи та робочого шару) та умов виробництва (спосіб формування, матеріал форми та інше) температуру заливки чавуну. За формулою 5 визначають мінімальний вуглецевий еквівалент чавуну ($C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$), а за допомогою формули 2 - оптимальний хімічний склад чавуну для конкретних біметалевих робочих органів дробарок (маса та товщини виливків, та їх співвідношення для основи та робочого шару), умов виробництва (спосіб формування, матеріал форми та інше) та експлуатації. При цьому вуглецевий еквівалент легованого чавуну

повинен бути в межах від 3,0 до 4,6%, та відповідати співвідношенню 6.

Після визначення температури солідус, розплав сталі за допомогою ковша (1) (Фіг.1) через ливникову систему (2) заливають в ливарну форму, де в процесі твердіння і охолодження формується сталева основа (3) біметалевий робочий орган дробарки. Після заливки сталі на відкриту поверхню основи, через надлив, подається флюс, який взаємодіючи з домішками (неметалеві включення, шкідливі домішки, газу та інше), що знаходяться на поверхні, переводить їх в сполуки, щільність яких нижча за щільність розплаву чавуну. Одночасно з виплавою сталі в іншій індукційній печі виплавляється зносостійкий легований чавун визначеного хімічного складу, який за допомогою ковша (1) (Фіг.2) через ливникову систему (2) заливається, при визначеній температурі, в ливарну форму на затверділу основу (5). При цьому відбувається спливання сполук утворених флюсом у зону надливу (6), взаємна дифузія, на поверхні контакту, атомів чавуну і сталі в процесі твердіння і охолодження робочого шару (3) та формування дифузійного перехідного шару (4), який міцно з'єднує робочий шар (3) і основу (5) у високоякісний біметалевий робочий орган дробарки.

Приклад реалізації співвідношення 6. Виплавляють сталь, яка вмістить (мас. %) 0,33 вуглецю; 0,65 кремнію; 0,9 марганцю; 1,3 хрому; 0,5 нікелю; 0,025 сірки; 0,02 фосфору. Перед її заливанням в ливарну форму, по формулі 1, визначають вуглецевий еквівалент сталі, який дорівнює ($C_{\text{екв}}^{\text{CT}}$)=0,78%. По формулі 4 або експериментально визначають температуру солідус сталі, яка дорівнює $t_{\text{сол}}^{\text{CT}}$ =1454°C і є максимальною температурою заливки чавуну, у даному випадку. За формулою 5 визначають максимальний, у даному випадку, вуглецевий еквівалент чавуну ($1454 = 1622 - 47,94 \cdot C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$), який дорівнює $C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$ =3,5%. Тобто, у даному випадку, всі хімічні складі легованих зносостійких чавунів, для яких значення вуглецевих еквівалентів будуть в межах від 3,5% до 4,6%, можливі для використання в якості матеріалу робочого шару. Наприклад, чавун який містить (мас. %) 2,7 вуглецю; 0,5 кремнію; 1,5 марганцю; 15 хрому; 0,5 молібдену; 0,025 сірки; 0,05 фосфору; $C_{\text{екв}}^{\text{чав}}$ =3,58%.

Після цього розплав сталі заливають в ливарну форму, на відкриту поверхню сталеві основи, через надлив, подають флюс, чавун який виплавляють в іншій індукційній печі доводять до визначеного хімічного складу та заливають в ливарну форму, при температурі 1454°C. Ділянки хімічних складів сталеві основи та чавунного робочого шару, що заявляються, та приклад реалізації співвідношення 6 наведено на Фіг.3.

Вищезгаданим способом виготовили біметалеві робочі органи дробарок для випробувань на міцність, які складаються з чавунного робочого шару (1) та сталеві основи (2), які з'єднані дифузійним перехідним шаром (3) у площині якого виконані надрізи (4) (Фіг.4). Випробування біметалевих робочих органів дробарок проводили після наступної термічної обробки: нагрів до 950°C протягом 5 годин (витримка - 4 години), охолодження

під вентилятором, відпуск 200°C (витримка - 4 години), охолодження на повітрі. Після нанесення на перехідний дифузійний шар виливків двосторонніх надрізів (4) довжиною 20мм, радіусом 1мм, на розривній машині ЦДМУ-30Т визначали міцність біметалічних робочих органів дробарок, як силу при якій відбувається руйнування робочого органу дробарки.

З метою порівняння ефективності способу виробництва біметалевих робочих органів дробарок, який заявляється і прототипу, аналогічні іспити були зроблені з біметалевим молотком отриманим відомим способом [Патент України № 10827-прототип]. Хімічний склад, вуглецеві еквіваленти сталюї основи ($C_{екв}^{ст}$) та чавуну робочого шару ($C_{екв}^{чав}$), нерівність 6, зусилля руйнування (P) мо-

лотків отриманих відомим способом (варіант 1 - прототип), способом, який заявляється (варіанти 2-4), та з параметрами, що виходять за межі, які заявляються (варіанти 5, 6) наведені в таблиці. З наведених в таблиці даних видно, що біметалеві робочі органи дробарок, які виконані за способом, що заявляється мають міцність в 2,3 - 2, 4 рази більше ніж прототип, тому є більш ефективними.

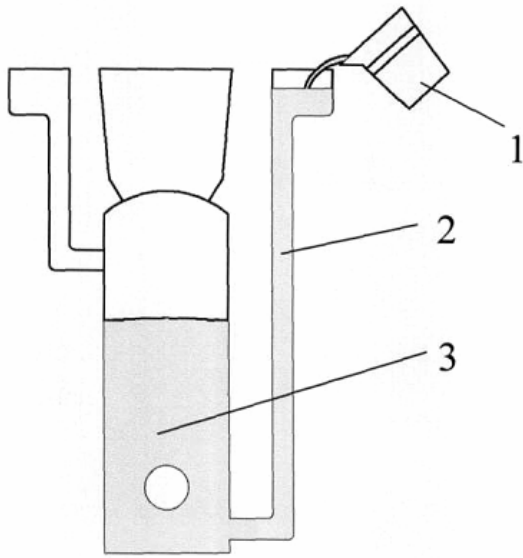
Істотними відмінностями корисної моделі є:

- хімічний склад сталюї основи та чавунного робочого шару;
- певне співвідношення хімічного складу сталі основи та чавуну робочого шару;
- послідовність визначення оптимальної температури заливки та хімічного складу чавуну робочого шару біметалевих робочих органів дробарок.

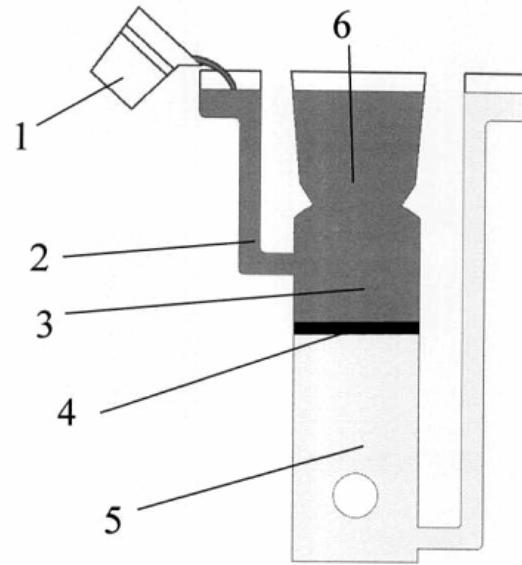
Таблиця

Хімічний склад, вуглецеві еквіваленти сталі основи
($C_{екв}^{ст}$) та чавуну робочого шару ($C_{екв}^{чав}$), нерівність 6, зусилля
руйнування (P) молотків отриманих відомим способом (варіант 1 – прототип), способом,
який заявляється (варіанти 2-4), та з параметрами, що виходять за межі, які заявляються (варіанти 5, 6).

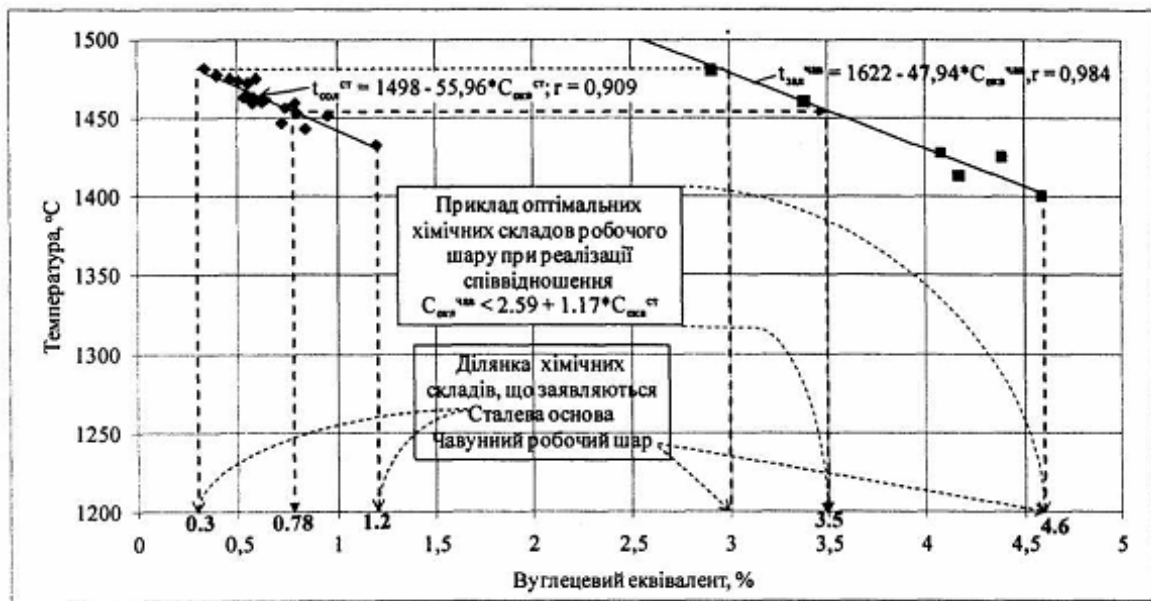
№ варіанту	Матеріал	Вміст елементів, %								$C_{\text{екв}}^{\text{чав}}, \%$	$2,59+1,17 \cdot C_{\text{екв}}^{\text{ст}}$	P, кг
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P	$C_{\text{екв}}^{\text{ст}}, \%$		
Відомий спосіб - прототип												
1	чавунного робочого шару	2,2	0,5	0,5	9	0	0	0,025	0,05	2,81	<2,92	1647
	сталевій основі	0,2	0,15	0,25	0,1	0	0,1	0,025	0,02	0,28	-	
Пропонований спосіб												
2	чавунного робочого шару	2,3	0,5	0,5	11	0	0	0,03	0,05	3,0	>2,99	3800
	сталевій основі	0,2	0,15	0,25	0,2	0	0,1	0,025	0,02	0,3	-	
3	чавунного робочого шару	2,7	0,5	1,5	15	0,5	0	0,025	0,05	3,58	>3,50	3764
	сталевій основі	0,32	0,65	0,9	1,3	0	0,5	0,025	0,02	0,78	-	
4	чавунного робочого шару	3,3	0,75	5	24	2,4	0	0,025	0,05	4,6	>3,99	3900
	сталевій основі	0,4	0,9	1,4	2,5	0	1,0	0,018	0,018	1,2	-	
5	чавунного робочого шару	2,0	0,4	0,4	10	0	0	0,03	0,05	2,63	<2,82	2436
	сталевій основі	0,11	0,12	0,23	0,18	0	0,05	0,025	0,02	0,2	-	
6	чавунного робочого шару	3,6	1	6	25,1	2,4	0	0,025	0,05	5,0	<5,87	2675
	сталевій основі	1,0	2	2	6,7	0	1,5	0,025	0,02	2,80	-	



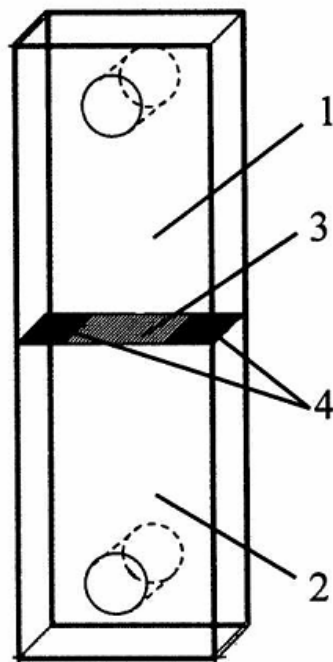
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг. 4