



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **94415** (13) **U**  
(51) МПК (2014.01)  
**G01K 17/06** (2006.01)  
**C21C 5/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2014 06199</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Скребцов Олександр Михайлович (UA),</b> <b>Кузьмін Юрій Дмитрович (UA),</b> <b>Качіков Олексій Сергійович (UA),</b> <b>Терзі Вікторія Віталіївна (UA),</b> <b>Секачов Олександр Олегович (UA),</b> <b>Балакін Вадим Володимирович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>05.06.2014</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.11.2014</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.11.2014, Бюл.№ 21</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ",</b> вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Донецька обл., 87500 (UA)

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВЕДЕНОЇ ТЕПЛОТИ (ПТ) МЕТАЛУ У ВАННІ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТУ**

**(57) Реферат:**

Спосіб визначення приведеної теплоти плавки металу (ПТ) включає вимір температури по ходу плавки. Температуру вимірюють у кінці кожного періоду плавки, визначають тривалість даних періодів і відносний перегрів металу над точкою ліквідуса і на основі отриманих даних, шляхом побудови графіка, розраховують площу кожного періоду плавки, обмежену віссю абсцис (час) і лінією збільшення відносного перегріву металу, і, підсумовуючи значення площ, визначають приведену теплоту (ПТ).

**UA 94415 U**



Корисна модель належить до галузі металургії чорних металів, а саме, до характеристик способів виплавки сталі, вироблених в різних плавильних агрегатах (електропіч, мартенівська піч і т.п.).

Одне з головних питань виробництва сталі - це статті приходу і витрати теплової енергії, підведеної до плавильному агрегату і зв'язок його з якістю виплавлюваного металу. Необхідно знати також температуру, при якій тепла енергія підводиться до тіла. У рівноважному процесі [1, с. 18] приведена теплота (ПТ), - це кількість тепла  $Q_i$ , поділена на температуру  $T_i$ , при якій вона підведена до тіла, в рівноважному процесі. Для нерівноважного сталеплавильного процесу таким же чином можна визначити умовну приведену теплоту. Наприклад, через екзотермічні реакції в розплавленій ванні або з інших джерел енергії (факел полум'я в мартенівській печі, електрична дуга в електропечі, тощо) в рідкий метал надходить одиниця тепла при температурі 1450 °C або при 1550 °C. Очевидно, що дія на розплав цієї кількості тепла буде різною.

Відома робота [2 - с. 607-617], в якій проаналізовано тепла робота мартенівських печей по тепловому балансу наведені статті приходу і витрати тепла, в тому числі і тепла, поглиненого розплавленим металом. Показано, що частка корисного тепла рідкого металу на весь процес плавки становить для печей ємністю 500 т, 250 т, і 185 т відповідно - 27,4 %, 27,3 % і 19,8 % від загальної витрати теплової енергії [2 - с. 613]. Недолік цієї роботи - немає і не використовуються дані про перегрів металу над точкою ліквідуса і кількістю тепла, поглинутого ванною при певному перегріві над температурою ліквідуса, також немає даних про зв'язок температурних даних плавки і будь-яких характеристик якості металу.

Відома робота [3 - с. 107-108], в якій вимірювали температуру рідкого розплаву термпарою занурення по ходу плавки металу в 200-тонній мартенівській печі. Наведені графіки температур металу по ходу плавки ([3] - рис. 46; 47, с. 108). Недолік цієї роботи полягає в тому, що невідомо, яка кількість тепла ( $Q=?$ ) і при якій конкретно температурі ( $T, K - ?$ ) це тепло підведене до розплаву.

Як найближчий аналог корисної моделі вибрали роботу авторів [4 - с. 238-242]. Досліди проводили в 350-тонній мартенівській печі в період доведення плавки. При різних температурах металу (1500 або 1560 °C) в піч вводили 0,5 мільди руди для окислення домішок сталі. У період засвоєння ванною добавки руди вимірювали швидкість нагріву металу в печі. Автори роботи [4] знайшли, що одна і та ж присадка руди діє на ванну по-різному при різній її температурі. При більш високій температурі ванни присадка викликає більше зниження швидкості нагріву ванни факелом палаючого газу, в порівнянні з більш низькою температурою. Це явище не завжди враховується в сучасній практиці виробництва сталі і в способах покращення її якості. Вона пов'язана з оптимальними температурами випуску металу з печі і швидкістю видалення з нього шкідливих домішок - сірки і фосфору. Останній приклад показує, що будь-який температурний вплив на розплавлену ванну, які полягають у введенні різних матеріалів (руда, окалина, вапно тощо) або стрибкоподібній зміні режиму її нагрівання факелом полум'я газу або електричною дугою, має бути функціонально пов'язаний з її температурою в відповідний момент плавки.

Таким чином, в даний час в літературі відсутні дані про приведену теплоту під час плавки сталі (ПТ) у певний її момент або про величини, пропорційні їй. Цей факт гальмує розвиток способів покращення якості сталі, пов'язаних з тепловими режимами її виплавки.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалити спосіб визначення приведеної теплоти (ПТ) металу у ванні сталеплавильного агрегату, в якому за рахунок зміни теплових режимів плавки досягнуто покращення якості металу через зниження вмісту в ньому шкідливих домішок - сірки і фосфору.

Для вирішення поставленої задачі в способі визначення приведеної теплоти плавки металу, що включає вимірювання зміни температури по ходу плавки металу, згідно з корисною моделлю, температуру вимірюють у кінці кожного періоду плавки, визначають тривалість даних періодів і відносний перегрів металу над точкою ліквідуса розплаву  $T_i / T_{\text{л}}$ , де  $T_i$  - поточна температура, К,  $T_{\text{л}}$  - температура ліквідус металу, К, і на основі отриманих даних, шляхом побудови графіка, розраховують площу кожного періоду плавки, обмежену віссю абсцис (час) і лінією збільшення відносного перегріву металу, і, підсумовуючи значення площ, визначають приведену теплоту (ПТ).

При цьому при плавці металу в електропечах додаткові параметри вимірюють у періоди плавлення шихти, окислення домішок, відновлення.

При плавці металу в мартенівських печах параметри вимірюють у періоди плавлення шихти, доведення, чистого кипіння.

Нижче наводиться послідовність обчислення ПТ.

Елемент впливу приведеної теплоти ( $\Delta IT$ ) на рідку ванну можна виразити так [1 - с. 18]:

$$\Delta IT = \frac{\Delta Q_i}{T_i}, (1)$$

де:  $\Delta Q_i$  - теплота, передана ванні при її температурі  $T_i$ , К.

З літератури відомо, що температура ліквідус різних марок сталі  $T_{\text{л}}$ , °С може розрізнятися більш ніж на 100 градусів. Наприклад, сталь 20ГСП має  $T_{\text{л}} = 1500^\circ\text{C}$ , а сталь 110М13Л  $T_{\text{л}} = 1370^\circ\text{C}$  [5 - с. 171]. Тому, щоб мати можливість об'єктивно порівнювати  $IT$  металу різного хімічного складу, при його обчисленні в корисній моделі температуру розплаву  $T_i$  висловили безрозмірною величиною  $T_i / T_{\text{л}}$ , де  $T_i$  і  $T_{\text{л}}$  наведені в градусах Кельвіна.

Температуру ліквідус різних марок сталі  $T_{\text{л}}$  обчислювали за їх хімічним складом за відомою з літератури формулою [6]:

$$T_{\text{л}} = 1539 - (70 * C\% + 8 * Si\% + 5 * Mn\% + 25 * S\% + 30 * P\% + 3 * Ni\% + 1.5 * Cr\% + 3 * Mo\% + 1 * W\% + 2 * V\%) + 273, K$$

. (2)

При обчисленні величини  $IT$  зробили такі спрощення і допущення.

Перше. Відомо, що при введенні у ванну печі будь-яких матеріалів (руда, вапно, феросплави тощо) температура розплаву спочатку стрибком знижується, а потім уповільнено підвищується до вихідного значення. При обчисленні  $IT$  наближено взяли, що температура металу в печі постійно збільшується від кінця розплавлення шихти до випуску металу з печі.

Друге. У виразі (1) чисельник  $Q_i$  замінили пропорційною їй величиною:

$$\Delta Q_i = K \Delta \tau_i, (3)$$

де  $\Delta \tau_i$  - елемент часу впливу теплового джерела на розплавлену ванну;

$K$  - постійний коефіцієнт, можна прийняти умовно  $K = 1$ , тому далі в розрахунках використовуються пропорційні величини.

З виразу (1) і (3) можна записати:

$$\Delta IT = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \dots + \frac{Q_i}{T_i} = \frac{K \Delta \tau_1}{T_1} + \frac{K \Delta \tau_2}{T_2} + \dots + \frac{K \Delta \tau_i}{T_i}. (4)$$

Величина  $IT$ , у відповідності з виразом (4), дорівнює:

$$IT = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{T_i} = \sum_{i=1}^n \frac{K \Delta \tau_i}{T_i}. (5)$$

З виразу (5) видно, що  $IT$  є сума величин елементарної теплоти для нерівноважного сталеплавильного процесу. Для рівноважних процесів аналог цієї величини - ентропія процесу, див. наприклад, [1 - с. 17-19].

Нижче, на прикладі однієї з плавок сталі в 25 т електропечі, дана схема обчислення приведеної теплоти ( $IT$ ) (див. Фіг. 1).

На Фіг. 1 по горизонтальній осі відкладено час плавки  $\tau$  від її нагрівання, хвилин. Точка А - початок плавлення, точки В, F, G - відповідно, кінець періодів плавлення, окислювального і відновлювального. За вертикальної осі фігури показаний відносний перегрів металу, -  $T_i / T_{\text{л}}$ , над точкою ліквідуса наприкінці плавлення, окислювального і відновлювального періодів, - відповідно точки С, Е, Н. Для мартенівської печі періоди плавки, на відміну від електропечі, можуть бути іншими, наприклад плавлення, доведення, чисте кипіння.

Фіг. 1 має таку особливість. Згідно з формулою (1) наведена теплота залежить від двох аргументів -  $\Delta Q$  і  $T$ . Вище було відзначено, що  $\Delta Q$  пропорційна  $\Delta \tau$  (лінія ABFG). Безрозмірна температура процесу ( $T_i / T_{\text{л}}$ ) виражена лінією АСЕН. Щоб знайти наведену теплоту ( $IT$ ), тобто відношення  $\Delta Q / T$ , потрібно від двомірного Фіг. 1 перейти до

тривимірного зображення залежності між величинами  $\Delta IT = f(\Delta Q, T)$ . Технічно це не здійснимо.

Слід звернути увагу на величини координатного поля Фіг. 1. На цій фігурі є обидві величини функції  $IT$  - безрозмірна температура -  $T_i / T_{\text{л}}$  (лінія ACEH) і елементи кількості тепла  $\Delta Q \sim \tau$  (лінія ABFG). Очевидно, чим більші величини  $T_i / T_{\text{л}}$  і  $\tau$ , тим більша наведена теплота  $IT$ .  
 5 Умовно взяли, що величина  $IT$  (її назвали умовної  $IT$  і позначили  $IT$ ) пропорційна площі між лініями ACEH і ABFG.

Для конкретної марки сталі в електропечі були визначені тривалість часу періодів: а) плавлення  $\tau_{\text{пл}}$ ; б) окислення  $\tau_{\text{ок}}$ ; в) відновлення  $\tau_{\text{ві}}$ .

10 Також визначили безрозмірні температури в кінці періодів: а) плавлення, -  $T_{\text{пл}} / T_{\text{л}}$ ; б) окислення, -  $T_{\text{ок}} / T_{\text{л}}$ ; в) відновлення  $T_{\text{ві}} / T_{\text{л}}$ .

Заштрихована область Фіг. 1 є  $IT$ . Для обчислення  $IT$  знайшли площу окремих фігур для періодів:

а) плавлення - трикутник ABC,  $S_{ABC} = (BC * AB) / 2$ ;

15 б) окислення - трапеція BCEF  $S_{BCEF} = \frac{BC + EF}{2} * BF$ ;

в) відновлення - трапеція FEHG  $S_{FEHG} = \frac{FE + HG}{2} * FG$ .

Сумарне значення приведеної теплоти на всю плавку:

$$IT_{\text{заг.}} = S_{ABC} + S_{BCEF} + S_{FEHG}.$$

Для порівняння величин  $IT$  для плавок з різною садкою металу, М, т. необхідно обчислити

20  $IT$  на тонну металу, за формулою:

$$IT_{\text{на т}} = IT_{\text{заг.}} / M \cdot (6)$$

Примітка по розмірності величини  $IT$ . Як видно з Фіг. 1 величина  $IT$  чисельно дорівнює площі, обмеженій ламаними лініями: а) температур ACEH і б) часу ABFG. Це означає:

$\left[ IT \right] = \left[ T_i / T_{\text{л}} \right] * [\tau]$ . Відношення двох величин однієї природи, наприклад  $T_i / T_{\text{л}}$  - величина

25 безрозмірна, такі величини в науці називають симплексами [7 - с. 316]. Поглинене ванною тепло  $Q$  прийняте пропорційним часу  $\tau$  (див. (3)). Тому розмірність величини  $\left[ IT \right]$  можна вважати

рівною умовним хв. тобто  $\left[ IT \right] = [y_{\text{м. хв.}}]$ .

Приклади реалізації корисної моделі

1. В електродуговій печі проведена плавка сталі 30ГСЛ. Маса плавки 20 т. Час періодів  
 30 плавки склав: а) плавлення  $\tau_{\text{пл}} = 35$  хв.; б) окислення  $\tau_{\text{ок}} = 80$  хв.; в) відновлення  $\tau_{\text{ві}} = 60$ .

Температури в кінці періодів:

а) плавлення  $t_{\text{пл}} = 1540^\circ\text{C} = 1813\text{ K}, T_{\text{л}} = 1492^\circ\text{C} = 1765\text{ K}$ , відношення  
 $T_{\text{пл}} / T_{\text{л}} = 1,0272$  (за даними роботи [8 - с. 178] можна підрахувати, що період плавлення шихти закінчувався при  $T_{\text{пл}} / T_{\text{л}} = 1,023$ );

35 б) окислення  $t_{\text{ок}} = 1657^\circ\text{C} = 1930\text{ K}, T_{\text{л}} = 1526^\circ\text{C} = 1799\text{ K}$ , відношення  
 $T_{\text{пл}} / T_{\text{л}} = 1,0728$ ;

в) відновлення  $t_{ei} = 1661\text{ }^{\circ}\text{C} = 1934\text{ K}$ ,  $T_{л} = 1523\text{ }^{\circ}\text{C} = 1796\text{ K}$ , відношення  $T_{пл} / T_{л} = 1,0768$ .

За отриманими значеннями величини  $\tau$  і відносин  $T_i / T_{л}$  будуємо фігуру, аналогічну фігурі 1.

5 Площі окремих частин фігури 1, тобто  $\Pi T$ , становили за період (розмірність величини (ум. хв.)):

а) плавлення (частина ABC Фіг. 1):

$$\Pi T_{пл} = \frac{BC \times AB}{2} = \frac{1,0272 \times 35}{2} = 18,0 \text{ (ум. хв.)}$$

б) окиснення (частина BCEF Фіг. 1):

10  $\Pi T_{ок} = \frac{BC + FE}{2} \times BF = \frac{1,0272 + 1,0728}{2} \times 80 = 84,0 \text{ (ум. хв.)}$

в) відновлення (частина FEHG Фіг. 1):

$$\Pi T_{ei} = \frac{FE + HG}{2} \times FG = \frac{1,0728 + 1,0768}{2} \times 60 = 64,5 \text{ (ум. хв.)}$$

Сумарне значення  $\Pi T_{заг.}$  за всю плавку склало:

$$\Pi T_{заг.} = 18,0 + 84,0 + 64,5 = 166,5 \text{ (ум. хв.)}$$

15  $\Pi T_{y\partial} = 166,5 / 27 = 6,2 \text{ (ум. хв. / т)}$

2. Проведено досліди по виплавці маловуглецевих сталей в електродугових печах садкою 8 т (3 плавки), 10 т (4 плавки), 25 т (5 плавок), 60 т (6 плавок), 80 т (4 плавки) і в 200 т мартенівської печі (3 плавки). Для плавок вираховували питоме значення  $\Pi T_{y\partial}$ . На Фіг. 2

наведене на тонну металу значення  $\Pi T_{y\partial}$  ум.хв., залежно від маси плавки. З Фіг. 2 видно, що

20 чим більше маса плавки металу, тим менша питома  $\Pi T_{y\partial}$  ум. хв.

З Фіг. 2 видно, що методика визначення питомого значення  $\Pi T$  цілком надійна і дані по різних плавильних агрегатах добре узгоджуються один з одним.

3. На Фіг. 3 наведені значення з видалення шкідливих домішок (сірка, фосфор) з металу залежно від  $\Pi T_{y\partial}$ . (ум.хв.). Початковий вміст сірки в металі  $\blacktriangle$  і відсоток видаленої сірки  $\Delta$ ;

25 початковий вміст фосфору  $\blacksquare$  і відсоток видаленого фосфору  $\square$ . Як видно з фігури, чим більше  $\Pi T_{y\partial}$ , (ум.хв.), тим більший відсоток видалених шкідливих домішок (сірки і фосфору) в сталі за період плавки.

Висновок

30 Для плавки металу в різних сталеплавильних агрегатах (мартенівська піч, електродугова піч тощо) запропонований спосіб наближеного обчислення приведеної теплоти розплаву  $\Pi T$  ( $\Pi T$  - це тепло, поглинене ванною при конкретній температурі  $T$ ).  $\Pi T$  на тонну сталі зменшується при збільшенні ємності плавильної печі.  $\Pi T$  пов'язана з різними явищами плавки металу - десульфуратія, дефосфорація. Так при зміні  $\Pi T$  від 5 до 8 ум.хв. відсоток видаленої сірки з металу збільшується з 50 до 60 % від початкового, а фосфору, відповідно, з 15 до 25 %.

35 Джерела інформації:

1. Доброхотов Н.Н. Применение термодинамики в металлургии. Киев: Изд. АН Украинский ССР. - 1955. - 75 с.

2. Капустин Е.А. Тепловая работа мартеновской печи // Сталеплавильное производство. Справочник, Т. 2. – М.: Металлургия, 1964. - 527 с.

5 3. Кочо В.С., Г.В. Самсонов, А.Г. Стрельченко, П.С. Кислый. Непрерывный контроль температуры жидкой стали. – Киев: Изд. Техника. 1965. - 227 с.

4. Корниенко А.С., Цветков П.М., Ерошенко В.А. Кочо В.С., Самсонов В.С., Кривенко П.Т. Особенности тепло- и массообмена в ванне качающейся мартеновской печи. Сб. "Тепло и массообменные процессы в ваннах сталеплавильных агрегатов". Труды 1 Всесоюзной научной конференции. - М.: Металлургия, 1975. - С. 138-242.

5. Василевский П.Ф. Технология стального литья. – М.: Машиностроение, 1974. - 408 с.

6. Расчет температуры ликвидус стали / А.Н. Смирнов, П. Неделькович, М. Джурджевич, Т.В. Ченобаева, З. Одович // Сталь. - 1996. - № 3. - С. 15-19.

7. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. - М.: Наука, 1964. - 848 с.

15 8. Глинов М.А. Тепловая работа сталеплавильных ванн. - М.: Металлургия, 1970. - 408 с.

### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб визначення приведеної теплоти плавки металу (ПТ), що включає вимір температури по ходу плавки, який **відрізняється** тим, що температуру вимірюють у кінці кожного періоду плавки, визначають тривалість даних періодів і відносний перегрів металу над точкою ліквідуса, який дорівнює  $T_i / T_{л}$ , де  $T_i$  - поточна температура, К,  $T_{л}$  - температура ліквідус металу, К, і на основі отриманих даних, шляхом побудови графіка, розраховують площу кожного періоду плавки, обмежену віссю абсцис (час) і лінією збільшення відносного перегріву металу, і, підсумовуючи значення площ, визначають приведену теплоту (ПТ).

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при плавленні металу в електропечі додаткові параметри вимірюють у кінці періодів: плавлення шихти, окислення домішок, відновлення.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при плавленні металу в мартенівській печі додаткові параметри вимірюють у кінці періодів плавлення шихти, доведення плавки, чистого кипіння.

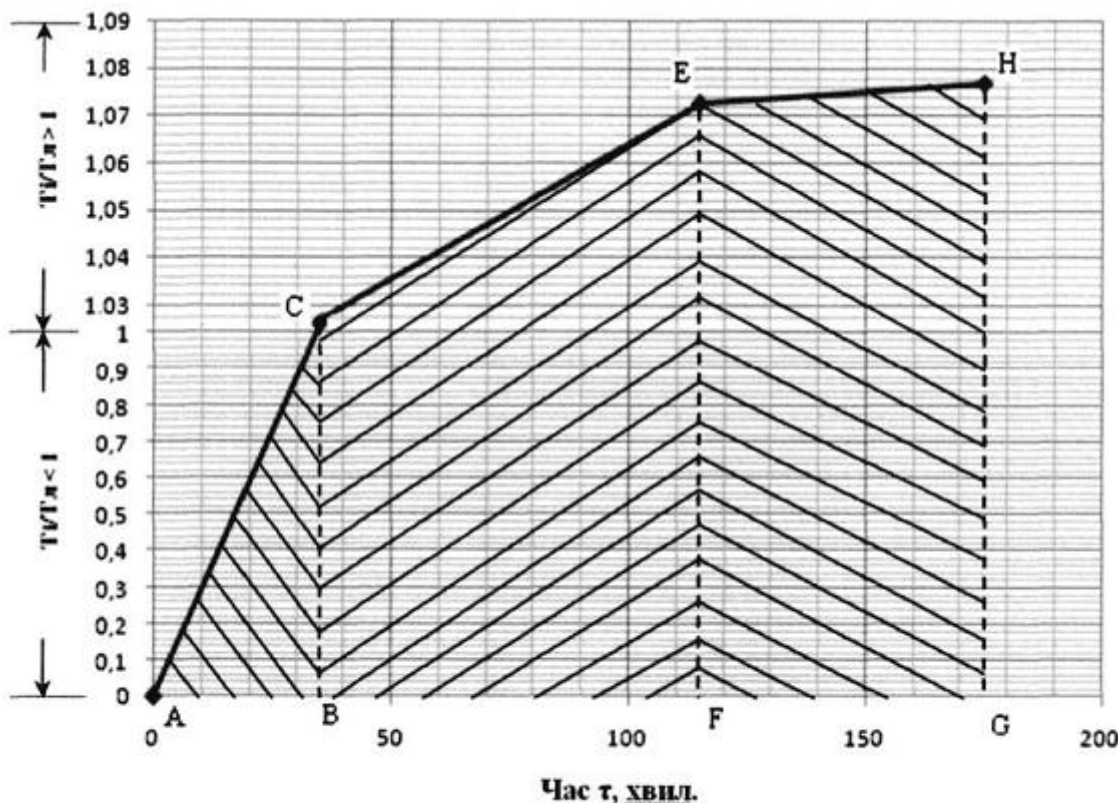
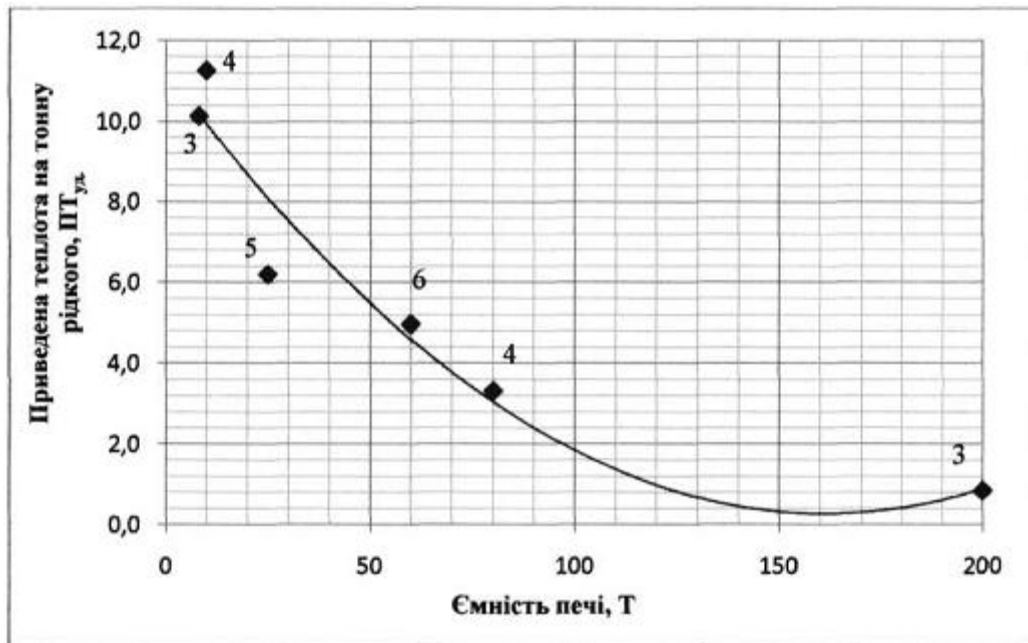
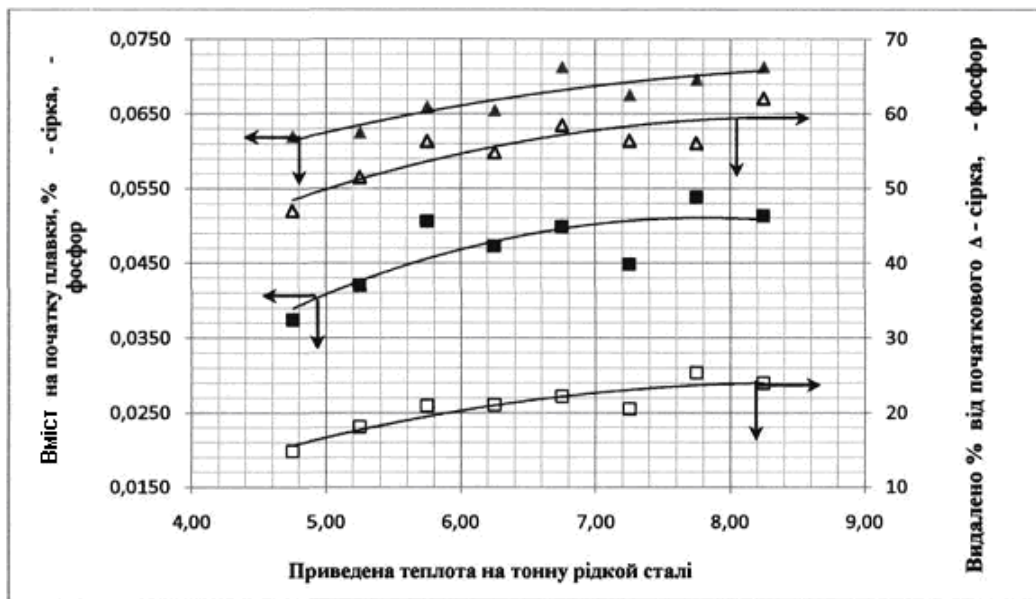


Fig. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601