

Винахід відноситься до металургії, зокрема до термічної обробки сталевих листів і може бути використаний при виготовленні гарячекатаних термооброблених і холоднокатаних листів із вуглецевих та легованих марок сталі.

Найбільш близьким по призначенню і технічній суті до патентуємого способу є спосіб термічної обробки сталевих листів, який включає до себе нагрівання пачок листів в захисній атмосфері до температури фазових перетворень в металі, витримку при цій температурі та подальше повільне охолодження (Прокатка листовой стали / Ф.А. Ксензук, Н.А. Троценков, А.П. Чекмарев и др. - М.: Металлургия, 1969. - с.221-223), при якому листи збираються до пачок, та останні кладуть на стелд печі в стопах вагою до 60 т (фіг.1а).

Недоліком цього способу є заважкий процес теплообміну в садці, в результаті чого різниця температур листів по висоті стопи досягає 60°C й негативно відображається на рівномірності механічних властивостей листів, до того ж нижні пачки в стопі знаходяться під тиском і при нагріві листи злипаються (зварюються).

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення існуючого способу термічної обробки сталевих листів шляхом зміни схеми укладання пачок листів на стелді печі.

Технічним результатом винаходу є покращення процесу теплообміну в садці і в результаті підвищення економічності та продуктивності роботи печі, покращення якості поверхні та рівномірності механічних властивостей готових листів.

Поставлена задача досягається тим, що у способі термічної обробки сталевих листів, який включає до себе нагрівання пачок листів в захисній атмосфері до температури фазових перетворень в металі, витримку при цій температурі та подальше повільне охолодження, передбачена наступна відмінність: пачки листів кладуть на стелд печі у вертикальному щодо ширини листів положенні, при цьому коефіцієнт заповнення пачки листів дорівнює 0,75-0,8.

Між суттєвою відмінністю винаходу і досягаємим технічним результатом, має місце причинно-наслідковий зв'язок. Вертикальне розташування пачок листів на стелді печі з коефіцієнтом заповнення, який дорівнює 0,75-0,8 (фіг.1б) забезпечує вільне проникнення захисного газу між листами, збільшує теплосприймаючу та тепловіддаючу поверхню кожного листа в садці, що значно покращує процес теплообміну: знижується різниця температур в садці, підвищується швидкість нагріву та охолодження металу у печі.

Коефіцієнт заповнення пачки ( $\eta$ ) характеризує щільність розташування листів в пачці та розраховується згідно формули:

$$\eta = S / [S + \delta], \quad (1)$$

де  $S$  - товщина листа, м;  $\delta$  - середня товщина проміжків між листами, м.

В таблиці 1 наведено результати розрахунку коефіцієнта заповнення пачки ( $\eta$ ), розташованої вертикально щодо ширини листів в залежності від середньої товщини проміжків між листами ( $\delta$ ), а також зазначено середнє збільшення довжини садки, яка складається з пачок розташованої вертикально щодо ширини листів.

Результати розрахунку показали, що при збільшенні середнього розміру проміжків між листами з 0,05S до 0,5S, тобто до половини товщини листа, коефіцієнт заповнення пачки знижується з 0,95 до 0,67, але при цьому довжина садки збільшується на 50%.

Корисна довжина стелду печі складає 6,3м, а максимальна висота стопи, яка складається з горизонтально розташованих пачок листів дорівнює 1,4м. На стелд печі, як правило, встановлюють три стопи. Це обумовлено сортаментом випускаємих листів та умовами теплообміну багатостопної садки: при розташуванні під одним муфелем декілька стоп вони взаємно екранують одна на одну, що викликає нерівномірність нагріву стоп. Якщо три стопи, висотою 1,4м кожна, вкласти на стелд печі, у вигляді пачок, розташованих вертикально щодо ширини листів, то довжина садки буде складати приблизно 4,5м, тобто залишається незайманою близько 35% корисної довжини стелду. Таким чином, виходячи з умов поліпшення теплообміну та максимального використання корисного об'єму печі, коефіцієнт заповнення пачки ( $\eta$ ), розташованої вертикально щодо ширини листів встановлюють 0,75-0,8.

Особливістю існуючого теплового режиму ковпакової печі є те, що при нагріві верхній лист стопи отримує та віддає тепло всією своєю поверхнею в результаті теплообміну випромінюванням з верхньою кришкою муфеля, а інші листи головним чином тільки поверхнею кромок.

Передача тепла у стопі перпендикулярно поверхні листів, здійснюється теплопровідністю крізь систему, яка складається з шарів (металеві листи - газові проміжки), випромінюванням між листами та безпосереднім контактом деякої частини металевої поверхні. Теплова провідність газового проміжку, враховуючи випромінювання поверхні листа, дорівнює

$$q = \lambda_B / \delta + k, \quad (2)$$

де  $k$  - коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням крізь газові проміжки при середній температурі пачки листів, Вт/(м<sup>2</sup>\*град);  $\lambda_B$  - коефіцієнт теплопровідності газових проміжків при середній температурі пачки листів, Вт/(м<sup>2</sup>\*град).

Тепловий опір неконтактуючої частини системи складається з опору метала та газового проміжку:

$$r_1 = S / \lambda_M + (\lambda_B / \delta + k)^{-1}, \quad (3)$$

де  $\lambda_M$  - коефіцієнт теплопровідності сталевих листів при середній температурі пачки листів, Вт/(м<sup>2</sup>\*град).

Загальна провідність усієї системи дорівнює

$$\lambda_{\Sigma} = (1 - n) * (S + \delta) / r_1 + n / \eta * \lambda_M, \quad (4)$$

де  $n$  - частина поверхні листа, контактуюча з сусіднім листом в пачці.

Найбільший тепловий опір мають газові проміжки у стопі між листами. Сумарна величина контактуючих елементів поверхні залежить від тиску, під яким знаходяться листи в пачці та характеристик їх поверхні.

В вертикально розташованій пачці листів відсутній опір газових проміжків ( $r_1$ ), тому що захисний газ вільно

проникає між листами, а циркуляція захисного газу відсутня і теплообмін здійснюється, здебільшого випромінюванням, з внутрішньою поверхнею муфеля. Можна знехтувати, незважаючи на можливий контакт зумовлений коробуватістю, також і частиною поверхні листів, контактуючих між собою ( $\eta$ ), тому що відстань між вертикально розташованими листами може бути порівняна з їх товщиною і коефіцієнт заповнення вертикально розташованої пачки листів ( $\eta$ ) дорівнює у середньому 0,75-0,8 проти 0,95-0,98 горизонтально розташованої пачки. Тобто, пачку сталевих листів, укладених на стенді вертикально щодо ширини листів, можна розглядати як сукупність окремо розташованих листів і тоді загальна провідність пачки сталевих листів дорівнює теплопровідності сталевих листа при середній температурі пачки.

Таким чином вертикальне розташування пачок сталевих листів на стенді печі покращує процес теплообміну в садці і в результаті підвищується економічність та продуктивність роботи печі, покращується якість поверхні та рівномірність механічних властивостей готових листів.

Запропонований спосіб термічної обробки сталевих листів пояснюється за допомогою схеми фіг., на якій зображено розташування пачок листів на стенді печі при термообробці: поз.1 – пачки листів, розташовані у вертикальному щодо ширини листів положенні, поз.2 – стенд печі для термообробки сталевих листів.

Запропонований спосіб термічної обробки сталевих листів здійснюється наступним чином. Пачки гарячекатаних сталевих листів перед термообробкою, після витравлення, у вертикальному положенні, за допомогою електромостових кранів і трансферкери, передаються у термічне відділення та встановлюються на стенді ковпакової печі, відокремлюються і фіксуються в вертикальному положенні за допомогою сталевих опор.

Пачки холоднокатаних нагартованих сталевих листів після обрізання кромки передаються в горизонтальному положенні на кантувальну, а потім, в вертикальному положенні, на стенд ковпакової печі, відокремлюються і фіксуються в вертикальному положенні за допомогою сталевих опор.

Контрольні технологічні термопари закладаються в середній пачці по довжині садки. Термопара 1 - на відстані не більше 100мм від нижнього краю садки, термопара №2 - в середній частині по висоті садки (ширині листа), термопара №3 - на відстані не більше 100мм від верхнього краю садки.

Процес термообробки сталевих листів, який включає до себе нагрівання пачок листів в захисній атмосфері до температури фазових перетворень в металі, витримку при цій температурі та подальше повільне охолодження. В ході термообробки контролюються наступні параметри: температура печі, температура металу по стендовій термопарі, температура металу по середній термопарі, температура кромки металу. При необхідності, режим термообробки може змінюватись.

Після закінчення термообробки пачки гарячекатаних і холоднокатаних сталевих листів за допомогою електромостового крана встановлюються в горизонтальне положення на металеві стелажі для складання металу і передаються на дресировку.

З метою перевірити запропонований спосіб термічної обробки сталевих листів було проведено дві промислові термообробки та отримано позитивні результати. Термообробка здійснювалась в ковпакових газових печах.

Перша термообробка - одна плавка гарячекатаних листів сталі марки 65Г розмірами 6,0х1250х2310мм, вагою 67т, друга термообробка - одна плавка гарячекатаних листів сталі марки 65Г розмірами 4,3х1050х2000 мм, вагою 43т. Результати та параметри термічної обробки по запропонованому способу і в порівнянні з існуючим способом термічної обробки сталевих листів наведено в таблиці 2.

Запропонований спосіб термічної обробки сталевих листів, поліпшує процес теплообміну в садці і в результаті підвищує економічність та продуктивність роботи печі, покращує якість поверхні та рівномірність механічних властивостей готових листів.

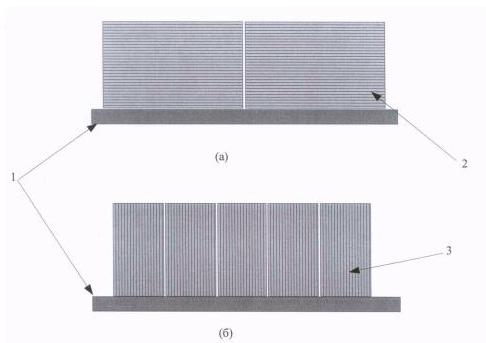
Таблиця 1

середня відстань між листами ( $\delta$ ), м	середній коефіцієнт заповнення вертикально розташованої пачки листів ( $\eta$ )	збільшення ширини вертикально розташованої пачки листів, %
0,05S	0,95	5,3
0,1S	0,91	10,0
0,2S	0,83	20,5
0,3S	0,77	29,8
0,4S	0,71	40,8
0,5S	0,67	49,2

\*S - товщина листа, м.

Таблиця 2

порівнюваний параметр	існуючий спосіб	запропонований спосіб
максимальна вага садки металу в печі	80 т	80т
робоча температура печі	800°C	700°C
тривалість витримки	9 часів	3-4 часа
перепад температури по висоті садки	50-60°C	15-30°C
різниця механічних властивостей листів по висоті садки	15-25%	1-2%
кількість злиплених (зварених) листів	25-45%	отсутствуют
плоскісність термообработаних листів	4-6мм	4-6 мм



Фіг.1 Схеми розташування пачок листів на стенді при існуючому (а) та запропонованому (б) способі термічної обробки сталевих листів :

1 – стенд ковпакової печі, 2 – пачки листів, складених в стопи,  
3 - пачки листів, розташовані в вертикальному щодо ширини листів положенні.