



УКРАЇНА

(19) UA (11) 95729 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
C21C 7/04 (2006.01)
B22D 1/00
C22B 9/00
G01N 33/20 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ДОВЕДЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ В КОВШІ

1

(21) а201007016
(22) 07.06.2010
(24) 25.08.2011
(46) 25.08.2011, Бюл. № 16, 2011 р.
(72) ПРИХОДЬКО ЕДУАРД ВАСИЛЬОВИЧ, ТОГО-
БИЦЬКА ДАР'Я МИКОЛАЇВНА, КОЗАЧОК ОЛЕК-
САНДРА СЕРГІЇВНА, ГОЛОВКО ЛЮДМИЛА АНД-
РІЇВНА, ЛІХАЧОВ ЮРІЙ МИХАЙЛОВИЧ, ЛУЦЕНКО
ВЛАДИСЛАВ АНАТОЛІЙОВИЧ, РАЗДОБРЄЄВ
ВАЛЕРІЙ ГУРІЙОВИЧ
(73) ІНСТИТУТ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ НАЦІОНА-
ЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(56) UA, 38714, U, 12.01.2009
SU, 1342928, A1, 07.10.1986
SU, 1741617, A3, 15.06.1992
RU, 2355795, C2, 20.05.2009
JP, 03135764, A, 10.06.1991
GB, 1492664, A, 23.11.1977
Шнееров Я. А., Вихлевщук В. А., Стороженко А. С.
и др. Доводка стали по химическому составу в

2

ковше на заводе «Азовсталь» // Черная металлур-
гия. – М.: 1982. - № 14. – С. 49 – 50
(57) Спосіб доведення хімічного складу сталі в
ковші, що полягає у відборі проб, визначенні
хімічного складу сталі, розрахунку електронного
хімічного еквіваленту, визначенні необхідного вмі-
сту легуючих домішок та подальшій обробці сталі,
який **відрізняється** тим, що у хімічному складі
сталі виділяють легуючу та домішкову підсистеми,
визначають електронні еквіваленти легуючої
 Z_l^y та домішкової підсистеми Z_{pr}^y , що містить
тугоплавкі метали, додатково визначають структу-
рний α_l , α_{pr} та електрохімічний еквівалент $\text{tg}\alpha_l$, $\text{tg}\alpha_{pr}$
для обох підсистем, потім будують картографи
зміни основних міцнісних та пластичних властиво-
стей сталі в залежності від еквівалентів домішко-
вої та легуючої підсистем та визначають необхід-
ний вміст легуючих домішок в сталі.

Винахід належить до галузі чорної металургії,
зокрема до виробництва сталі та доведення її хі-
мічного складу після випуску плавки з ковша, і мо-
же бути використаний при виробництві сортового
гарячекатаного та термозміцненого прокату з га-
рантованим рівнем фізико-механічних властиво-
стей.

Аналіз впливу складу сталей та сплавів на
властивості сортового гарячекатаного та термоз-
міцненого прокату з гарантованим рівнем фізико-
механічних властивостей показав, що зростаюче
значення набуває виявлення ролі малих концент-
рацій домішкових елементів.

До числа цих елементів входять як традиційно
шкідливі домішки, так і корисні тугоплавкі метали,
у зв'язку з чим, для одержання сортового прокату з
необхідним рівнем фізико-механічних властивос-
тей необхідно точніше визначати вплив домішко-
вих елементів, що потрапляють у сталь з шихтою.

Відомо спосіб виробництва гарячекатаного
листового прокату з нормованим вуглецевим екві-
валентом (А. с. СРСР № 1786108, МПК C21C 7/00,
C22B 9/00, опубл. 07.01.1993 р.), що має визна-
чення хімічного складу розплаву та його корегу-
вання шляхом добавки вуглецю, марганцю, крем-
нію та алюмінію. Відомий спосіб полягає у
введенні в зв'язок між складом і властивостями
сплаву вуглецевого еквіваленту, за допомогою
якого корегують хімічний склад сталі.

Недоліком відомого способу є низька точність
визначення кількості легуючих елементів, необхід-
ної для доведення хімічного складу сталі, що є
слідством відсутності обліку внесків міжатомної
взаємодії між собою компонентів легуючої та до-
мішкової підсистем.

Найближчим за технічною суттю та результа-
том, що досягається, є спосіб доведення хімічного
складу сталі в ковші (А. с. СРСР № 1342928, МПК

(13) C2

(11) 95729

(19) UA

C21C 7/04, опубл. 07.10.87), що полягає у відборі проб металу після випуску плавки з агрегату, визначенні хімічного складу металу, розрахунку його електронно-хімічного еквіваленту Z^y , визначенні маси корегуючих домішок залежно від фактичної величини Z^y , що забезпечує заданий рівень властивостей та присадку цих добавок з подальшою обробкою рідкої сталі.

Відомий спосіб засновано на тому, що розрахований електронно-хімічний еквівалент сталі визначає вплив основних компонентів хімічного складу та є комплексною величиною, що відображає стан металевої системи, що впливає на фізико-механічні властивості сталі (Приходько Е.В. Металохімія багатокомпонентних систем. - М.: Металлургия, 1995.-320 с).

Відомий спосіб доведення хімічного складу сталі в ковші шляхом розрахунку необхідної додаткової кількості легуючих елементів не забезпечує досить адекватного відображення різноманіття конкретних реальних механізмів формування властивостей сплавів в процесах їх кристалізації та подальшої деформаційно-термічної обробки при виробництві сортового гарячекатаного та термозміцненого прокату з гарантованим рівнем фізико-механічних властивостей.

Недолік відомого способу полягає у відсутності обліку внесків в міжатомну взаємодію взаємного впливу компонентів домішкової та легуючої підсистем між собою, та, як наслідок, в недостатній точності визначення маси домішок, необхідних для корегування хімічного складу сталі, що призводить до збільшення витрати легуючих матеріалів і великого розкиду властивостей одержаного металу.

Задача способу доведення хімічного складу сталі полягає в тому, щоб шляхом корегування вмісту в сталі дефіцитних елементів легуючої підсистеми, наприклад, марганцю, хрому, нікелю, залежно від вмісту в домішковій підсистемі сталі тугоплавких компонентів шихти, наприклад титану, ванадію, ніобію і молібдену підвищити точність визначення маси домішок і одержати метал з необхідним рівнем фізико-механічних властивостей.

Вирішення поставленої задачі досягається тим, що в способі доведення хімічного складу ста-

лі, що полягає у відборі проб, визначенні хімічного складу сталі, розрахунку електронного хімічного еквіваленту, визначенні необхідного вмісту легуючих домішок та подальшій обробці сталі, згідно з винаходом, у хімічному складі сталі виділяють легуючу та домішкову підсистеми, визначають елек-

тронні еквіваленти легуючої Z_l^y та домішкової підсистеми Z_{pr}^y , що містить тугоплавкі метали, додатково визначають структурний α_l , α_{pr} та електрохімічний еквівалент $\text{tg}\alpha_l$, $\text{tg}\alpha_{pr}$ для обох підсистем, потім будують картограми зміни основних міцнісних та пластичних властивостей сталі в залежності від еквівалентів домішкової та легуючої підсистем та визначають необхідний вміст легуючих домішок в сталі.

Визначення вказаних вище параметрів для домішкової підсистеми сталі, що містить, наприклад, титан, ванадій, ніобій та молібден, та для

легуючої підсистеми, що складається, наприклад, з марганцю, хрому та нікелю, дозволяє в подальшому використовувати значення цих параметрів як чисельні характеристики хімічної індивідуальності конкретного сплаву при кодуванні складу розплавів на мові теорії фізико-хімічних критеріїв (Приходько Е.В... Методика визначення параметрів направленої міжатомної взаємодії в молекулярних і кристалічних з'єднаннях // Металофізика і новітні технології, 1995. - Т. 17. - № 11. - С. 54-620).

Таким чином, запропонований спосіб зводиться до перекладу інформації про склад сталі на мову поєднання параметрів Z^y , d та $\text{tg}\alpha$ для кожної з підсистем, кожний з цих параметрів є формальною "згортою" складу підсистем, що враховує індивідуальність взаємодії між компонентами в розплавах різного складу та подальшій побудові картограм в координатах $Z=f(x, y)$, де Z - механічна властивість, x - еквівалент для домішкової підсистеми, y - еквівалент для легуючої підсистеми.

Запропоновані картограми забезпечують наочність представлення складних нелінійних залежностей у формі, зручній для вирішення завдання прогнозування зміни властивостей залежно від зміни складу сталі. Зокрема, при конкретному значенні електронного еквіваленту домішкової підсистеми (Z_{pr}), визначеному за хімічним складом доведення сталі в ковші, зміною вмісту, наприклад марганцю, можна регулювати співвідношення міцносних та пластичних властивостей (чисельний рівень властивості, що вивчається, відображається на картограмі різним кольором).

Можливість розгляду складів багатокомпонентних сплавів на мові вказаних вище інтегральних модельних параметрів легуючої та домішкової підсистем дозволяє вперше використовувати методику карткування для визначення оптимальної концентрації як окремих компонентів складу сталі, так і складів, що забезпечують сприятливе для споживацьких властивостей металопрокату поєднання його міцнісних та пластичних властивостей.

Винахід пояснюється кресленням, де на фіг. 1 - показано картограму межі текучості сталей (2-го порядку) $Z=f(x, y)$ $Z - \sigma_T$, $x - Z_{pr}^y$, $y - Z_l^y$; на фіг. 2 - показана картограма для межі текучості на масиві з 3-х сталей (16MnCrS5, S355J2, 20Г2).

Спосіб доведення хімічного складу сталі в ковші здійснюється таким чином.

Здійснюється відбір проб готових зразків сталі, в хімічному складі сталі виділяється легуюча і домішкова підсистеми, визначається електронно-хімічний еквівалент легуючої та домішкової підсистем (Z^y), потім будують картограми зміни основних міцносних та пластичних властивостей сталі (фіг. 1) (наприклад картограма межі текучості сталей (2-го порядку) $Z=f(x, y)$ $Z - \sigma_T$, $x - Z_{pr}^y$, $y - Mn$) від певних еквівалентів домішкової і легуючої підсистем та визначають необхідний вміст легуючих домішок в сталь, забезпечуючих одержання сортового прокату з необхідним рівнем фізико-механічних властивостей.

Результати проведених розрахунково-аналітичних досліджень показали, що найбільш актуально для практичних цілей використовувати

одну з координатних осей саме як поєднання концентрацій мікродомішок для Ti, V, Nb і Mo при визначенні відповідного йому електронно-хімічного еквіваленту $Z_{\text{пр}}^Y$. Зокрема, (фіг. 1) виходить, що зниження вмісту марганцю у розглянутих сталях приводить до підвищення значень σ_B та σ_T .

Для виробничих умов ця рекомендація означає, що залежно від поєднання мікроконцентрацій титану, ванадію, ніобію і молібдену в розплав перед доведенням легування марганцем доцільно вести з орієнтуванням на нижню межу марочного складу. По такій же, як у випадку з марганцем, схемі може бути уточнено вплив будь-якого іншого легуючого елемента - хрому, нікелю, міді.

Побудова в тих же координатах картограм для відносного подовження і звуження створює надійну інформаційну базу для ухвалення рішення про рівень витрати легуючого елемента залежно від необхідного для конкретного виду металопродукції поєднання міцносних і пластичних властивостей.

Практична реалізація способу, який заявляється, дозволяє одержати значний ефект в умовах масового виробництва сталі на типових металургійних агрегатах.

Приклад конкретної реалізації.

Запропонований спосіб доведення хімічного складу сталі в ковші підтвердив свою ефективність на Білоруському металургійному заводі при ви-

плавці близьких за складом і властивостями кремніємарганцевмісних сталей, хімічний склад яких наведено в таблиці 1. У таблиці наводяться мінімальні, максимальні та середні значення вмісту компонентів в сталях марок S355J2, S235J2, 16MnCrS5 виробництва РУП "БМЗ". На основі їх будуються картограми (фіг. 2) зміни основних міцносних та пластичних властивостей сталі від еквівалентів домішкової та легуючої підсистем і визначається мінімально допустимий вміст легуючих домішок в сталі (наприклад Ni, Cr, Mn).

Механічні випробування готової продукції, одержаної з цих сталей, показали повну відповідність заданим механічним властивостям. Зіставлення результатів даних Білоруського металургійного заводу з літературними даними близьких за складом і властивостями кремніємарганцевісних сталей підтвердило єдність закономірностей формування властивостей цих сталей залежно від складу в нормалізованому стані. Це дозволяє розглядати дані для різних сталей як одну загальну вибірку експериментальної інформації, структурувати на запропоновані підсистеми і розглядати параметри кожної з підсистем формальною "згортокою", що враховує індивідуальність взаємодії в сталях різного хімічного складу.

Таблица

Елемент	S355J2			S235J2			16MnCrS5		
	max	min	сеп.	max	min	сеп.	max	min	сеп.
C	0,190	0,140	0,173	0,156	0,134	0,142	0,218	0,148	0,172
Si	0,364	0,263	0,323	0,241	0,210	0,225	0,362	0,235	0,298
Mn	1,394	1,211	1,302	0,890	0,722	0,802	1,318	1,069	1,157
P	0,026	0,010	0,018	0,015	0,009	0,011	0,029	0,007	0,015
S	0,033	0,009	0,028	0,032	0,021	0,027	0,039	0,021	0,029
Cr	0,292	0,062	0,129	0,128	0,057	0,100	0,957	0,109	0,847
Ni	0,225	0,075	0,106	0,114	0,084	0,105	0,243	0,092	0,133
Cu	0,290	0,132	0,183	0,254	0,170	0,211	0,23	0,138	0,189
Al	0,044	0,019	0,031	0,043	0,024	0,032	0,04	0,02	0,029
As	0,000	0,000	0,000	0,010	0,007	0,008	0,015	0,006	0,009
Ti	0,019	0,002	0,013	0,016	0,009	0,011	0,016	0,0002	0,003
Mo	0,082	0,020	0,026	0,019	0,013	0,016	0,042	0,019	0,026
Sn	0,017	0,006	0,010	0,018	0,008	0,012	0,029	0,006	0,011
Sb	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,003	0,000	0,002
V	0,006	0,003	0,005	0,005	0,002	0,003	0,008	0,004	0,006
Nb	0,005	0,001	0,003	0,004	0,002	0,003	0,006	0,000	0,004
σ_T	373	297	340	3131	262	287	395	303	347
σ_B	550	477	518	466	428	448	603	509	547
ψ	37	24	30	38	27	32	35	22	29
δ	71	59	66	71	58	65	73	51	66

На основі одержаних карт поверхонь Білоруському металургійному заводу були видані наступні рекомендації, які узгоджуються з технічними вимогами (EN100084, EN100025);

- вміст марганцю в сталі 16MnCrS5 в діапазоні 1,15-1,20 % дозволить одержувати такі механічні показники:

- межа міцності 534-580 Н/мм²;
- межа текучості 333-368 Н/мм²;
- відносне подовження 23,7-29,2 %;

- відносне звуження 51-69 %.

Вміст марганцю в сталі S355J2G3 (S355J2) в діапазоні 1,25-1,30 мас. % дозволить одержувати такі механічні показники:

- межа міцності 522-557 Н/мм²;
- межа текучості 333-368 Н/мм²;
- відносне подовження 26,5-31,9 мас. %;
- відносне звуження 53-65 мас. %.

Запропонований спосіб доведення хімічного складу сталі в ковші дозволяє за рахунок певних

еквівалентів домішкової і легуючої підсистем визначати необхідний вміст легуючих домішок в сталь, забезпечуючи одержання сортового прокату

з необхідним рівнем фізико-механічних властивостей, при одночасному зниженні витрати основних легуючих елементів.

