УКРАЇНА **(19) UA** **(11) 127214** **(13) C2**

(51) МПК
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **a 2021 06192**

(22) Дата подання заявки: **03.11.2021**

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **08.06.2023**

(41) Публікація відомостей про заявку: **16.02.2022, Бюл.№ 7**

(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: **07.06.2023, Бюл.№ 23**

(72) Винахідник(и):
Міщенко Валерій Григорович (UA),
Шейко Сергій Петрович (UA),
Шаломєєв Вадим Анатолійович (UA)

(73) Володілець (володільці):
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA 95569 C2, 10.08.2011
EP 1645649 A1, 12.04.2006
EP 2166120 A1, 24.03.2010
WO 2004057050 A1, 20.04.2006
WO 2018004419 A1, 04.01.2018
WO 2020065381 A1, 02.04.2020
US 2015376751 A1, 31.12.2015
US 10519533 A1, 24.05.2018
US 2006065327 A1, 30.03.2006
US 10894995 A1, 30.04.2020

UA 127214 C2

(54) ФЕРИТО-ПЕРЛІТНА КОНСТРУКЦІЙНА СТАЛЬ

(57) Реферат:

Винахід належить до металургії. Ферито-перлітна конструкційна сталь містить, мас. %: C 0,08-0,14, Si 0,10-0,40, Mn 2,50-2,90, V 0,10-0,15, Ti 0,10-0,15, N 0,025-0,04, Zr 0,05-0,15, S ≤0,035, P ≤0,035, РЗМ 0,015-0,030, Fe - решта, при виконанні співвідношення $\frac{V+Ti+Zr}{C+N}=1,5-4,0$.

Сталь має підвищені характеристики міцності та відносного видовження, дозволяє забезпечувати рівномірні показники ударної в'язкості зварного шва, зони термічного впливу основного металу.

Винахід належить до металургії, а саме стосується низьколегованих перлітних конструкційних сталей для виготовлення виробів складної конфігурації з використанням холодної деформації (диски коліс для легкових та вантажних автомобілів, підрамники, гвинти кріплення, осі, пальці, вали тощо). Сталь може використовуватись для цементації поверхневого шару виробів.

Підвищена міцність будь-якої низьколегованої сталі у зразках не гарантує відповідного підвищення міцності виготовлених з неї виробів, оскільки їх працездатність визначається не статичною міцністю, а величиною внутрішніх напружень, що виникають при зварюванні, наявністю та характером концентраторів напружень.

Зварюваність таких низьколегованих сталей погіршується через ймовірність утворення гарячих і холодних тріщин унаслідок до підвищених внутрішніх напруг. З метою поєднання високих характеристик міцності та пластичності, для уникнення схильності до утворення тріщин при зварюванні та гарячому пластичному деформуванні, є потреба в оптимізації хімічного складу.

Відома конструкційна маловуглецева якісна сталь 10пс (ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі наказ ДП "УкрНДНЦ" від 22 червня 2015 р. № 61 з 2016-04-01), що містить такі компоненти, мас. %: C 0,07-0,14, Si 0,05-0,17, Mn 0,35-0,65, Cr ≤0,15, Ni ≤0,30, Cu ≤0,30, S ≤0,040, P ≤0,035, As ≤0,08, Fe - решта.

Недоліками цієї сталі є незначні показники корозійної стійкості, недостатня міцність, а також низька межа текучості для залишкової деформації та відносного видовження.

Спільними ознаками з рішенням, що заявляється, є легування сталі вуглецем, кремнієм та манганом.

Найбільш близькою до сталі, яка заявляється, за технічною суттю та хімічним складом є низьколегована конструкційна сталь 14Г2 (ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови, наказ ДП "УкрНДНЦ" від 16 грудня 2015 р. № 197 з 2016-07-01.- К.: - 18 с), що містить такі компоненти, мас. %: C ≤0,12-0,18, Si 0,17-0,37, Mn 1,20-1,60, Cr ≤0,30, Ni ≤0,30, Cu ≤0,30, S ≤0,040, P ≤0,035, N ≤0,008, As ≤0,08, Fe - решта.

Недоліками цієї сталі є незадовільні характеристики міцності та незадовільна зварюваність, значна різниця між ударною в'язкістю основного металу, зони термічного впливу та зварного шва.

Спільними ознаками з рішенням, що заявляється, є легування сталі вуглецем, кремнієм та манганом.

В основу винаходу поставлено задачу розробити сталь, яка шляхом додаткового введення мангану (Mn), азоту (N) та цирконію (Zr) та одного або декількох рідкісноземельних металів (РЗМ), зміни співвідношення компонентів, оптимізації фазового складу дозволяє підвищити характеристики міцності, забезпечити показники відносного видовження та рівномірну ударну в'язкість зварного шва, зони термічного впливу та основного металу низьколегованої сталі, що забезпечить задовільну зварюваність та використання виробів з неї в автомобілебудуванні.

Суттєвими ознаками рішення є: використання вуглецю (C), кремнію (Si), мангану (Mn), ванадію (V), титану (Ti), сірки (S), фосфору (P), азоту (N), цирконію (Zr), одного або декількох РЗМ із групи: церій (Ce), лантан (La), празеодим (Pr), неодим (Nd), залізо (Fe), при такому співвідношенні компонентів, мас. %:

C	0,08-0,14,
Si	0,10-0,40,
Mn	2,50-2,90,
V	0,10-0,15,
Ti	0,10-0,15,
S	≤0,035,
P	≤0,035,
N	0,025-0,040,
Zr	0,05-0,15,
РЗМ	0,015-0,030,
Fe	решта,

при виконанні співвідношення компонентів: $\frac{V + Ti + Zr}{C + N} = 1{,}5 - 4{,}0$, (1)

де

V - кількість ванадію, мас. %,

Ti - кількість титану, мас. %,

Zr - кількість цирконію, мас. %,

C - кількість вуглецю, мас. %,

N - кількість азоту, мас. %,

1,5-4,0 - гранична кількість вказаних домішок у твердому розчині.

Запропоноване співвідношення легувальних елементів дозволяє отримати сталь, що має підвищену міцність та однорідну дрібнозернисту структуру з більш високими механічними характеристиками. Масову частку компонентів визначали з урахуванням їхнього впливу на якісні характеристики сталі.

Відмінними від прототипу ознаками рішення є додаткове введення у склад сталі азоту, цирконію та одного або декількох РЗМ із групи: церій, лантан, празеодим, неодим, та співвідношення компонентів.

Поставлена задача вирішується тим, що сталь на основі заліза, яка заявляється, містить вуглець, кремній, манган, ванадій, титан, цирконій, азот, сірку, фосфор та один або декілька РЗМ із групи: церій, лантан, празеодим, неодим, при такому співвідношенні елементів, мас. %: C 0,08-0,14, N 0,025-0,04, Si 0,10-0,40, Mn 2,50-2,90, V 0,10-0,15, Ti 0,10-0,15, Zr 0,05-0,15, S $\leq$0,035, P $\leq$0,035, РЗМ 0,015-0,030.

Уведення ванадію, титану, цирконію та азоту забезпечує зв'язування активного вуглецю у спеціальні карбіди, що запобігає утворенню карбідів мангану, а отже перешкоджає збідненню твердого розчину мангану з одного боку і покращує ударну в'язкість зони термічного впливу та зони зварного шва - з іншого.

Уведення рідкісноземельних металів із групи: церій, лантан, празеодим, неодим, забезпечує зменшення дифузійної рухомості атомів вуглецю, що сприяє подрібненню карбідів і нітридів та їх рівномірному розподілу у структурі сталі, за рахунок чого зменшується її крихкість.

Вміст вуглецю має бути в діапазоні 0,08-0,14 мас. %, де нижня межа - забезпечує необхідний рівень міцності сталі; при перевищенні верхньої межі починається масове виділення окрихчувальних вторинних фаз, що знижує пластичність, погіршується зварюваність, бо в зонах термічного впливу утворюються гартовані структури, які призводять до тріщин.

Вміст кремнію має бути в діапазоні 0,10-0,40 мас. %, де нижня межа - забезпечує вміст кремнію, який необхідний для початку процесу розкиснення; верхня межа - зниження відносного видовження, а особливо кута вигину в готовому прокаті. При більшому вмісті ускладнюється зварювання через високу рідкоплинність та утворення тугоплавких оксидів кремнію.

Вміст мангану має бути в діапазоні 2,50-2,90 мас. %, де: нижня межа - обмежена необхідністю забезпечення процесу розкиснення за рахунок усуненням шкідливих сірчистих з'єднань заліза та збільшення кількості перлітної складової; верхня межа - збільшенням крихкості сталі, внаслідок підвищення кількості мартенситної складової та погіршення зварюваності.

Сірка та фосфор є постійними шкідливими домішками, їх вміст має бути <0,035 мас. %, це зумовлено різким погіршенням пластичних властивостей сталі.

Уведення ванадію в запропоновану сталь у діапазоні 0,10-0,15 мас. %, де нижня межа - забезпечує його достатню концентрацією для впливу на структуру та властивості сталі; верхня межа - ефективність його корисної дії з гальмування утворення карбідів, при вмісті ванадію вище цієї межі він розчинюється та призводить до окрихчування.

Вміст титану має бути в діапазоні 0,10-0,15 мас. %, це зумовлено зниженням показників пластичності та ударної в'язкості, завдяки попередженню утворення нітридів, при виході за вказану межу, а також легування титаном сталі, яка використовується у зварних конструкціях, забезпечує зменшення зерен у біля шовній зоні.

Вміст цирконію має бути в діапазоні 0,05-0,15 мас. %, де нижня межа забезпечує його концентрацію для початку впливу на структуру та властивості сталі; верхня межа - ефективність його корисної дії з гальмування утворення карбідів мангану у рідкому металі, активне зв'язування вуглецю в карбіди типу ZrC та Zr(CN), при перевищенні верхньої межі вмісту цирконію знижується пластичність сталі.

Уведення азоту в діапазоні 0,025-0,040 мас. %, сприяє збільшенню кількості термостійкої карбонітридної фази, відповідно, зменшенню розмірів зерен та підвищенню міцності зварних з'єднань.

Уведення одного або декількох рідкісноземельних металів (РЗМ) з групи: церій, лантан, празеодим, неодим у діапазоні 0,015-0,030 мас. %, зумовлене їх корисною дією, а саме зменшенням дифузійної рухливості атомів вуглецю, яке перешкоджає появі грубих карбідних та нітридних виділень на межах зерен, а також сприяє подрібненню та рівномірному розподілу в структурі сталі вторинних фаз, за рахунок чого вдається зменшити її крихкість.

Перевищення значення максимальної кількості легувальних елементів твердого розчину зумовлює значне зниження пластичності (штампування) сталі, тому необхідно дотримуватися співвідношення 1.

У порівнянні з прототипом, що містить хром, нікель, мідь, арсен, відмова у запропонованому рішенні від таких компонентів, та введення таких легувальних елементів, як ванадій, титан, азот, цирконій та рідкоземельні метали дозволяє одержати ферито-перлітну конструкційну сталь з поліпшеними характеристиками міцності, відносного видовження та ударної в'язкості, що забезпечує здатність сталі до зварювання, уникнення утворення. гарячих та холодних тріщин за умови рівноміцності основного металу та зони зварного шва.

Перевищення значення максимальної кількості легувальних елементів твердого розчину зумовлює значне зниження пластичності сталі, тому необхідно дотримуватися співвідношення 1.

Також перевищення даного співвідношення призводить до критичного збільшення кількості спеціальних карбонітридів цирконію та азоту у сталі. Пропоновані співвідношення елементів у сталі були знайдені експериментальним шляхом і є оптимальними, оскільки дозволяють отримати. комплексний технічний ефект.

Використання легувальних компонентів у співвідношенні, що заявляється, забезпечує відповідність критерію "новизна" та "винахідницький рівень" і дозволяє отримати високі механічні та службові властивості сталі.

У процесі пошуку оптимального складу сталі за винаходом, в індукційній печі з основною футеровкою ємністю 50 кг було проведено лабораторні плавки сталі. З отриманих виливок кували заготовки розміром 10×80×120 мм, з наступним прокатуванням у гарячому стані до товщини 11 мм.

Хімічний склад плавок сталей наведений у Таблиці 1.

Зразки 1-4 відповідають хімічному складу запропонованої сталі, зразки 5-6 мають вміст компонентів, які виходять за межі запропонованого рішення, зразки 7-8 - хімічному складу сталей за прототипом.

Механічні властивості для зразків сталі запропонованого рішення та прототипу наведені в таблиці 2.

Значення ударної в'язкості для зразку сталі запропонованого рішення з оптимальним хімічним складом та прототипу наведені в таблиці 3.

Запропоноване рішення у порівнянні з прототипом має більш високі значення ударної в'язкості зварного шва та зони термічного впливу завдяки додатковому легуванню карбідоутворювальними елементами, які запобігають відпускній крихкості металу. Запропонована ферито-перлітна конструкційна сталь має підвищені характеристики міцності, плинності та пластичності, що сприяє покращенню зварювання конструкцій та збільшенню строку експлуатації виробів з неї.

Таблиця 1

Хімічний склад плавок сталей

№ з/п	Вміст легувальних елементів, мас. %													
	C	N	Mn	V	Ti	Zr	S	P	РЗМ	Si	Ni	Cr	Cu	As
відповідає запропонованому рішенню														
1	0,08	0,025	2,50	0,10	0,10	0,05	0,030	0,030	0,015	0,10	-	-	-	-
2	0,14	0,040	2,90	0,15	0,14	0,15	0,035	0,035	0,030	0,40	-	-	-	-
3	0,10	0,030	2,70	0,11	0,10	0,09	0,035	0,035	0,026	0,24	-	-	-	-
4	0,12	0,035	2,60	0,14	0,13	0,12	0,035	0,035	0,020	0,34	-	-	-	-
за межами запропонованого рішення														
5	0,07	0,10	2,10	0,09	0,08	0,04	0,025	0,027	0,010	0,07	-	-	-	-
6	0,16	0,56	3,05	0,16	0,16	0,17	0,040	0,039	0,045	0,50	-	-	-	-
за прототипом														
7	0,12	≤0,008	1,20	-	-	-	≤0,040	≤0,035	-	0,17	≤0,30	≤0,30	≤0,30	≤0,08
8	0,18	≤0,008	1,60	-	-	-				0,37				

Таблиця 2

Механічні властивості для зразків сталей

№ з/п	Механічні властивості		
	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %
	відповідає запропонованому рішенню		
1	442	328	29
2	595	432	25
3	572	412	26
4	578	394	28
	за межами запропонованого рішення		
5	401	315	27
6	598	443	18
за найближчим аналогом			
7	450	335	18
8	470	340	21

Таблиця 3

Показники ударної в'язкості сталей

№ плавки	$KCU_{о.м.}$, МДж/м^2	$KCU_{з.ш.}$, МДж/м^2	$KCU_{з.т.в.}$, МДж/м^2
Запропоноване рішення (плавка № 3)	0,95	0,92	0,92
За найближчим аналогом (плавка № 8)	0,97	0,51	0,41

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Ферито-перлітна конструкційна сталь, яка містить вуглець (C), кремній (Si), манган (Mn), ванадій (V), титан (Ti), сірку (S), фосфор (P) та залізо (Fe), яка **відрізняється** тим, що додатково містить азот (N), цирконій (Zr) та один або декілька рідкісноземельних металів (РЗМ) із групи: церій (Ce), лантан (La), празеодим (Pr), неодим (Nd), при такому співвідношенні компонентів, мас. %:

C	0,08-0,14
Si	0,10-0,40
Mn	2,50-2,90
V	0,10-0,15
Ti	0,10-0,15
S	≤0,035
P	≤0,035
N	0,025-0,040
Zr	0,05-0,15
РЗМ	0,015-0,030
Fe	решта

при виконанні співвідношення: $\frac{V + Ti + Zr}{C + N} = 1{,}5 - 4{,}0$,

де у мас. %:
V - кількість ванадію,
Ti - кількість титану,
Zr - кількість цирконію,
C - кількість вуглецю,
N - кількість азоту,
1,5-4,0 - гранична кількість вказаних домішок у твердому розчині.

Комп'ютерна верстка В. Юкін

ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601