



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 60653

(13) A

(51) 7 C21C5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) КОНСТРУКЦІЙНА СТАЛЬ

1	2
(21) 2003010641	вуглець 0,15 - 0,40
(22) 24 01 2003	марганець 0,20 - 1,50
(24) 15 10 2003	кремній 0,15 - 1,20
(46) 15 10 2003, Бюл. № 10, 2003 р	хром 0,01 - 1,00
(72) Рабінович Олександр Вольфович, Трегубенко Геннадій Миколайович, Тарасьєв Михайло Іванович, Ігнатов Микола Володимирович, Пучиков Олександр Володимирович, Заславський Юрій Борисович, Бубликов Юрій Олександрович	нікель 0,01 - 0,60
(73) НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ	мідь 0,005 - 0,50
(57) Конструкційна сталь, що містить вуглець, марганець, кремній, хром, нікель, мідь, алюміній, титан, азот, залізо, яка відрізняється тим, що вона додатково містить рідкісноземельні метали при такому співвідношенні компонентів, мас. %	алюміній 0,005 - 0,10
	титан 0,005 - 0,04
	азот 0,014 - 0,040
	рідкісноземельні метали 0,01 - 0,10
	залізо решта,
	при виконанні співвідношення
	$\frac{0,52 \text{ алюміній} + 0,29 \text{ титан}}{\text{азот}} \geq 1$

Винахід відноситься до чорної металургії, зокрема до виробництва високоміцної сталі, призначеної для виготовлення листового і фасонного прокату, а також інших виробів.

Відома полуспокойна сталь із карбонітрідним зміцненням типу Г2АФс, що містить, мас. %

Вуглець	0,05-0,21
Марганець	1,3-1,7
Кремній	0,05-0,15
Ванадій	0,05-0,18
Азот	0,015-0,030
Залізо	решта

при цьому для одержання оптимальної структури зливку і максимального збільшення виходу придатного металу, кремній вводять у кількість, обумовлений рівнянням

$$[Si] = 0,05 + 0,096[C] - 0,045[Mn] + 0,0069[H] + 2,1[M] - 10[V] - 0,008(v_p - v)$$
, де v_p - швидкість розливання металу у виливницю, м/хв, $v = 0,3-0,5$ м/хв (Шнее-ров Я А, Вихлевщук В А Полуспокойная сталь М Металлургия, 1973, С 136-141, 301-310)

Така сталь має високу міцність і холодостійкість і при її виробництві величина головної обрізи

складає 3-6%. Проте через високу вартість і дефіцитність ванадію виробництво сталі значно обмежено. А застосування більш дешевих і недефіцитних елементів, таких як алюміній і титан, замість ванадію для карбонітрідного зміцнення полуспокойної сталі не доцільно, тому що вони будуть виступати як розкислювачі і їх використання підвищить головну обрізь. Слід також відзначити, що якість полуспокойної сталі звичайно нижча, ніж спокійної, що обмежує область її застосування. При цьому підвищений вміст кисню в металі, що недостатньо розкислений, негативно впливає на абсорбцію азоту, що знижує позитивний ефект від легування ним.

Найбільш близькою по своєму складу до сталі, що запропонована, є сталь із карбонітрідним зміцненням наступного хімічного складу, мас. %

Вуглець	0,28-0,50
Марганець	0,80-2,00
Кремній	0,10-1,20
Хром	0,01-1,00
Нікель	0,01-1,20
Мідь	0,01-0,40

(13) A

(11) 60653

(19) UA

Алюміній	0,001-0,10
Титан	0,001-0,15
Азот	0,003-0,02
Миш'як	0,001-0,08
Ванадій	0,01-0,25
Залізо	решта
(Пат. України № 19883, МПК 6 С 22 С 38/00 від 13 08 1996 р "Сталь")	

Така сталь має високий комплекс міцносних і пластичних характеристик. Проте при виробництві зливків даної сталі через необхідність видалення усадочної раковини вихід придатного металу зменшується на 14-16%.

Задачею даного винаходу є зниження головної обрізи при деформації зливків глибоко розкисленої сталі і збереження високого рівня міцносних і пластичних властивостей металу.

Поставлена задача вирішується тим, що запропонована сталь, що містить вуглець, марганець, кремній, хром, нікель, мідь, алюміній, титан, азот, залізо, додатково містить рідкісноземельні метали (РЗМ) при такому співвідношенні компонентів, мас. %

Вуглець	0,15-0,40
Марганець	0,20-1,50
Кремній	0,15-1,20
Хром	0,01-1,00
Нікель	0,01-0,60
Мідь	0,005-0,50
Алюміній	0,005-0,10
Титан	0,005-0,04
Азот	0,014-0,040
Рідкісноземельні метали	0,01-0,10
Залізо	решта
при виконанні співвідношення	
$0,52[\text{Al}] + 0,29[\text{Ti}] \geq 1$	
азот	

Введення до складу запропонованої сталі азоту в кількості 0,014-0,040% дозволяє знизити головну обрізь при деформації зливків глибоко розкисленої сталі за рахунок формування оптимальної структури зливка з розсередженою усадочною раковиною.

При введенні азоту менш 0,014% газовиділення або не починається, або починається лише на заключній стадії кристалізації зливка, і виділення азоту в газові пухирі вже практично не впливає на процес утворення усадочної раковини.

При введенні азоту більш 0,040% утворення газових пухирів може починатися ще до формування достатньої товщини зовнішньої корки зливку, що приведе до їхнього розкриття при наступній гарячій деформації і збільшенню браку металу за якістю поверхні. Крім того, інтенсивний кип у головній частині зливка призводить до утворення відкритої пористості, що обумовлює окисненість поверхні, виключає її зварюваність при гарячій деформації і призводить до збільшення головної обрізи.

Введення рідкісноземельних металів необхідне для компенсації негативного впливу високого вмісту азоту в сталі на її пластичність і ударну в'язкість. Рідкісноземельні метали забезпечують диспергування і глобулірування сульфідної фази і збільшують пластичність і ударну в'язкість, у тому числі і при низьких температурах. Нижня межа

вмісту рідкісноземельних металів (0,01%) відповідає низькій концентрації сірки в сталі і забезпечує мінімум пластичності й ударної в'язкості. Верхня межа вмісту рідкісноземельних металів (0,10%) відповідає максимально припустимій концентрації сірки у металі.

Введення до складу запропонованої сталі титану та алюмінію дозволяє очистити твердий розчин від азоту й вуглецю, що забезпечує підвищення пластичності й ударної в'язкості, у тому числі і при низьких температурах. Карбонітриди титану, що утворюються при цьому, і нітриди алюмінію підвищують міцносні властивості сталі. Комплексне легування азотом, титаном, алюмінієм і РЗМ зменшує розмір зерна металу при кристалізації, гарячій прокатці і термообробці, поліпшуючи технологічні властивості сталі і компенсуючи окрихчуючий вплив кремнію. Легування титаном у кількості 0,005-0,04% і алюмінієм - 0,005-0,10% обумовлено граничним вмістом азоту 0,014-0,040%. Так при введенні титану нижче 0,005% не відбувається зв'язування азоту в карбонітриди при кристалізації і не забезпечується здрібнення литої структури металу і поліпшення його технологічних властивостей. При цьому мінімальний спільний вміст титану й алюмінію повинен забезпечити зв'язування всього азоту і може бути обчислений в атомних відсотках, виходячи зі стехіометричного співвідношення елементів у нітридах титану (TiN) і алюмінію (AlN).

$$[\text{N}] = [\text{N}]_{\text{TiN}} + [\text{N}]_{\text{AlN}} < [\text{Ti}]_{\text{TiN}} + [\text{Al}]_{\text{AlN}}$$

Або, переходячи від атомних відсотків до масових, одержимо

$$0,52[\text{Al}] + 0,29[\text{Ti}] \geq [\text{N}]$$

Введення титану вище 0,04% і алюмінію - 0,10% призводить до зменшення пластичності й ударної в'язкості. При цьому малі концентрації титану (0,005-0,04%) активніше, ніж ванадій підвищують ударну в'язкість і знижують поріг холоднопамятності.

Крім того, комплексне введення трьох сильних розкислювачів (титан, алюміній і РЗМ) забезпечує стабільне і досить високе засвоєння РЗМ.

У запропонованій сталі кремній (0,15-1,20%) використовується не тільки як розкислювач, що дозволяє одержувати глибоко розкислений метал, але і як корисний легуючий елемент. Легування сталі кремнієм призводить до зміцнення твердого розчину і підвищення міцносних характеристик сталі, що дозволяє зробити часткову заміну ним більш коштовного марганцю. Проте при введенні кремнію вище його верхньої межі (1,20%) різко зменшується пластичність. Нижня межа вмісту марганцю (0,20%) обумовлена необхідним рівнем міцносних властивостей. При його концентрації більш 1,50% знижується пластичність і погіршується зварюваність. Нижня межа вуглецю в сталі (0,15%) обрана з умови забезпечення достатнього рівня міцності металу. Максимальний вміст вуглецю (0,40%) обмежений його негативним впливом на пластичність сталі і зварюваність.

Хром підвищує стійкість сталі проти корозії і збільшує міцність сталі. При концентрації його менш 0,01% корозійна стійкість і міцність металу не підвищуються, а при концентрації більш 1,00% відбувається істотне зниження в'язкісних характеристик сталі.

Мідь підвищує корозійну стійкість сталі. Нижня межа її вмісту (0,005%) обумовлена забезпеченням мінімуму корозійної стійкості, а верхня межа (0,50%) - можливим окрихченням металу внаслідок виділення міді у вільному стані і зниженням технологічних властивостей сталі при гарячій прокатці. Спільне легування міддю і нікелем (0,01-0,60%) підвищує міцнісні властивості металу.

У результаті розширеного пошуку по патентній і науково-технічній літературі по відповідних рубриках МПК й УДК сукупність істотних ознак, цілком або частково збіжна з тією, що заявляється і дозволяє вирішувати поставлену винахідницьку задачу, не була виявлена в жодному технічному рішенні, отже, запропонований винахід відповідає критерію "новизна".

З відомого рівня техніки сукупність істотних ознак технічного рішення, що заявляється, з очевидністю не випливає. Сукупність ознак, які характеризують відоме рішення, не забезпечують досягнення нових властивостей і лише наявність вказаних відрізняючих ознак дозволяє отримати новий технічний результат. Отже, запропонований винахід відповідає критерію "винахідницький рівень".

Запропонований винахід був апробований у дослідно-промислових умовах Проблемної лабораторії нових металургійних процесів Національної металургійної академії України. Отже, запропонований винахід відповідає критерію "промислова придатність". Це підтверджується прикладом його конкретного здійснення.

Для оцінки властивостей запропонованої сталі і величини головної обрізи при її виробництві, у порівнянні з позамежними складами і прототипом, були виплавлені в індукційній печі експериментальні плавки, хімічний склад яких приведений у табл. 1. Розливання металу проводили зверху в розширені донизу виливниці. Маса зливка складала 150 кг. З метою наближення умов кристалізації зливків малої маси до промислових виливницю перед розливанням прогрівали газом до 500-700°C. Гарячу деформацію зливків на штаби перетином 55x25 мм здійснювали вільним куванням на 10-т молоті. Потім ковані штаби нагрівали до температури $As_3 + (70-100)^\circ C$ і прокатували на стані 300 в один прохід з обтиском 50 %.

Вміст азоту визначали на газозаналізаторі фір-

ми "Лесо" з точністю до $10^{-4}\%$.

Конкретний склад сталі в кожній плавці і результати дослідження залежності величини головної обрізи від вмісту азоту в рідкому металі приведені в табл. 1. Як випливає з цих даних, введення азоту в оптимальних межах дозволяє знизити головну обрізь до 3-6%.

Результати випробувань (табл. 2) показали, що запропонована сталь має високий рівень механічних властивостей. При цьому запропонована сталь має більш високий комплекс міцнісних і пластичних характеристик, ніж прототип. Так більш висока міцність сталі плавки №№ 5, 6, що мають близький хімічний склад із плавкою № 1 (прототип), крім азоту і РЗМ, пов'язана з підвищеним вмістом азоту в запропонованій сталі, а підвищена пластичність і ударна в'язкість - із додатковим введенням РЗМ і дотриманням оптимального співвідношення між елементами в металі.

Позитивний вплив введення РЗМ на механічні властивості сталі показано на прикладі плавки №№ 5 і 8, що мають практично однаковий склад (крім РЗМ) і однакову міцність, але метал з оптимальним вмістом РЗМ (0,001-0,10%) має більш високу пластичність і ударну в'язкість. Порівняння результатів випробувань складів №№ 6 і 9, свідчить, що введення РЗМ вище його верхньої межі (0,10%) уже не призводить до додаткового поліпшення властивостей металу.

На підставі плавки №№ 10-12 (позамежні складі), очевидно, що вони мають значно кращий комплекс міцнісних і пластичних властивостей. Так склад № 10 відрізняється від запропонованої сталі нижчим рівнем міцності, а склад № 11 - поганою пластичністю й ударною в'язкістю. В плавці № 12 не 0,52алюміній + 0,29титан, виконання співвідношення $\frac{0,52\text{алюміній} + 0,29\text{титан}}{\text{азот}} \geq 1$ при високих

вмістах азоту (більш 0,014%) призводить до значного погіршення ударної в'язкості у порівнянні з запропонованою сталлю.

Таким чином, запропонований склад сталі вирішує поставлену задачу - зниження головної обрізи при деформації зливків глибоко розкисленої сталі (до 3-6%) і збереження високого рівня міцнісних і пластичних властивостей металу.

Таблиця 1

Номер складу сталі	Вміст елементів, мас %										K*	Величина головної обрізи зливка, %
	C	Mn	Si	Cr	Mi	Si	Al	Ti	PЗМ	N		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відома сталь (прототип)												
1 **	0,36	1,32	0,92	0,51	0,63	0,41	0,049	0,031	-	0,012		15,6
Запропонована сталь												
2	0,15	0,23	0,15	0,01	0,02	0,006	0,025	0,005	0,010	0,014	1,03	3,7
3	0,23	0,30	0,74	0,18	0,09	0,18	0,056	0,013	0,071	0,019	1,73	3,0
4	0,28	0,39	0,62	0,58	0,44	0,38	0,073	0,024	0,042	0,021	2,09	3,3
5	0,32	0,93	0,97	0,45	0,51	0,28	0,037	0,025	0,059	0,023	1,15	4,2
6	0,40	1,48	1,15	0,89	0,60	0,50	0,10	0,039	0,100	0,040	1,58	6,0
7	0,15	0,20	0,86	0,44	0,01	0,025	0,005	0,040	0,019	0,014	1,01	5,3

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Поза межні склади												
8	0,31	0,85	0,92	0,33	0,23	0,42	0,051	0,028	0,009	0,023	1,51	4,6
9	0,39	1,12	1,08	0,64	0,21	0,17	0,088	0,035	0,110	0,037	1,51	5,1
10	0,14	0,19	0,15	0,009	0,009	0,004	0,003	0,004	0,009	0,012	0,23	14,7
11	0,41	1,51	1,23	1,04	0,65	0,51	0,11	0,044	0,110	0,041	1,71	16,3
12	0,34	0,67	0,79	0,07	0,31	0,26	0,047	0,023	0,011	0,032	0,97	5,8

Примітка $*K = \frac{0,52[A] + 0,29[Ti]}{[N]}$,

** - сталь містить 0,16мас % ванадію і 0,01мас % мнш'яку

Таблиця 2

Номер складу сталі	Міцнісні характеристики		Пластичні характеристики		Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ² при температурі			
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	20°C	-20°C	-40°C	-70°C
Відома сталь (прототип)								
1	490	720	21	56	74	53	31	17
Запропонована сталь								
2	420	500	45	79	235	178	136	111
3	430	560	42	73	205	161	115	92
4	455	580	36	74	140	134	88	59
5	530	770	26	72	110	82	54	37
6	560	825	23	64	79	64	43	25
7	430	515	44	77	242	186	131	119
Поза межні склади								
8	525	760	21	54	74	49	21	12
9	550	815	24	67	81	62	45	21
10	255	380	46	79	107	77	48	33
11	600	840	14	50	58	41	29	8
12	530	785	22	65	51	34	18	7