

**УКРАЇНА****(19) UA****(11) 108582****(13) C2****(51) МПК****C22C 38/44** (2006.01)**C22C 38/46** (2006.01)**C22C 38/48** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**(21)** Номер заявки: **а 2014 04953****(22)** Дата подання заявки: **12.05.2014****(24)** Дата, з якої є чинними
права на винахід: **12.05.2015****(41)** Публікація відомостей
про заявку: **25.12.2014, Бюл.№ 24****(46)** Публікація відомостей
про видачу патенту: **12.05.2015, Бюл.№ 9****(72)** Винахідник(и):

**Міщенко Валерій Григорович (UA),
Панченко Олександр Іванович (UA),
Лютий Олександр Павлович (UA),
Єдинович Андрій Борисович (UA),
Меняйло Олександр Іванович (UA),
Милосердов Олександр Борисович (UA),
Олійников Володимир Іванович (UA)**

(73) Власник(и):

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ
ЗАКЛАД "ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ" МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ,**

вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600
(UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA 285 C1, 30.04.1993

RU 2496907 C2, 27.10.2013

EP 2128288 A1, 02.12.2009

JP 2008266780 A, 06.11.2008

US 20060016526 A1, 26.01.2006

RU 2493287 C2, 20.09.2013

(54) ЦЕМЕНТОВАНА СТАЛЬ**(57)** Реферат:

Винахід належить до металургії і стосується конструкційних теплостійких сталей з дифузійним зміцненням поверхні виробу в процесі хіміко-термічного оброблення (цементації) на вторинну твердість, які можуть бути використані для виготовлення деталей і вузлів газотурбінних двигунів. Сталь містить, мас. %: С 0,04-0,10; Si 0,10-0,80; Mn 0,10-0,80; Cr 2,0-3,0; V 0,2-0,4; Nb 0,05-0,30; Mo 1,6-3,0; Al 0,01-0,20; Ni 0,50-1,50; N 0,01-0,07; S ≤0,025; P ≤0,025; PЗМ 0,001-0,010, Fe - решта. Винахід дозволяє підвищити твердість і теплостійкість цементованого шару, а також пластичність і ударну в'язкість серцевини сталі.

UA 108582 C2

Винахід належить до металургії, авіабудування, машинобудування, а саме - до конструкційних теплостійких сталей, які можуть бути використані для виготовлення деталей і вузлів газотурбінних двигунів (ГТД), зокрема зубчатих коліс редукторів ГТД, з подальшим дифузійним зміцненням поверхні сталевого виробу в процесі хіміко-термічного оброблення (цементації) на вторинну твердість.

Відома сталь 12Х2НВФА (ГОСТ 11268-76), яку використовують для виготовлення деталей авіаційних двигунів, що містить такі компоненти, мас. %: С 0,09-0,16; Si 0,17-0,37; Mn 0,30-0,70; Ni 0,80-1,20; S $\leq$ 0,025; P $\leq$ 0,025; Cr 1,90-2,40; W 1,00-1,40; V 0,18-0,28; Cu $\leq$ 0,25; Fe - решта.

Недоліками цієї сталі, у порівнянні з рішенням, що заявляється, є низькі значення ударної в'язкості та пластичності серцевини, твердості та теплостійкості цементованого шару.

Спільними ознаками з рішенням, що заявляється, є легування сталі вуглецем, кремнієм, марганцем, нікелем, сіркою, фосфором, хромом і ванадієм.

Найбільш близькою до сталі, яка заявляється, за технічною суттю та хімічним складом є сталь 14ХГСН2МА (Лазечный И.Н. Формирование при ХТО структуры и свойств цементуемых сталей различной теплостойкости / И.Н. Лазечный, И.П. Банас // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - 2005. - № 1. - С. 37-44), яка містить такі компоненти, мас. %: С 0,11-0,16; Si 0,45-0,70; Mn 0,70-1,00; Cr 1,20-1,60; Ni 1,60-2,00; S $\leq$ 0,025; P $\leq$ 0,025; V $\leq$ 0,06; Mo 0,25-0,40; Fe - решта.

Недоліками цієї сталі, у порівнянні з рішенням, що заявляється, є дещо нижчі значення ударної в'язкості та пластичності серцевини, недостатня твердість та теплостійкість цементованого шару.

Спільними ознаками з рішенням, що заявляється, є легування сталі вуглецем, кремнієм, марганцем, хромом, нікелем, сіркою, фосфором, ванадієм, молібденом.

В основу винаходу поставлено задачу розробити сталь, яка шляхом додаткового введення ніобію, алюмінію, азоту та одного або декількох РЗМ з групи церій (Ce), лантан (La), празеодим (Pr), неодим (Nd), зміни співвідношення компонентів, забезпечення оптимального фазового складу, дозволяє підвищити твердість і теплостійкість цементованого шару, а також пластичність і ударну в'язкість серцевини сталі.

Винахід може бути використаний для виробництва деталей, зокрема зубчатих коліс редукторів ГТД, які працюють в умовах тертя та дії знакозмінних навантажень.

Суттєвими ознаками рішення є використання вуглецю (C); кремнію (Si); марганцю (Mn); хрому (Cr); ванадію (V); ніобію (Nb); молібдену (Mo); алюмінію (Al); нікелю (Ni); азоту (N); сірки (S); фосфору (P); одного або декількох РЗМ з групи церій (Ce), лантан (La), празеодим (Pr), неодим (Nd); заліза (Fe) при такому співвідношенні компонентів, мас. %:

C	0,04-0,10
Si	0,10-0,80
Mn	0,10-0,80
Cr	2,00-3,00
V	0,20-0,40
Nb	0,05-0,30
Mo	1,60-3,00
Al	0,01-0,20
Ni	0,50-1,50
N	0,01-0,07
S	$\leq$ 0,025
P	$\leq$ 0,025
РЗМ	0,001-0,010
Fe	решта.

Відмінними від прототипу ознаками є додаткове введення у склад сталі ніобію, алюмінію, азоту, одного або декількох РЗМ з групи церій, лантан, празеодим, неодим та зміна співвідношення компонентів.

Поставлена задача вирішується тим, що в запропонованій сталі на основі заліза, яка заявляється, крім основи наявні вуглець, кремній, марганець, хром, ванадій, молібден, нікель, сірка, фосфор, а також ніобій, алюміній, азот та один або декілька РЗМ з групи церій, лантан, празеодим, неодим при такому співвідношенні елементів, у мас. %: С 0,04-0,10; Si 0,10-0,80; Mn 0,10-0,80; Cr 2,00-3,00; V 0,20-0,40; Nb 0,05-0,30; Mo 1,60-3,00; Al 0,01-0,20; Ni 0,50-1,50; N 0,01-0,07; S $\leq$ 0,025; P $\leq$ 0,025; РЗМ 0,001-0,010, Fe - решта.

Введення ніобію в сталь запропонованого складу зумовлено значним підвищенням зносостійкості цементованого шару в результаті утворення дрібнозернистої карбідної фази.

Введення алюмінію в сталь запропонованого складу, поряд з глобуляризацією неметалевих включень, зумовлює очищення границь зерен від шкідливих домішок у сталі, що впливає на дислокаційну структуру, забезпечує її однорідність і мінімальний рівень локальних мікрОВикривлень та сприяє більш рівномірному розподілу легувальних елементів. Виділення дрібнодисперсної фази AlN, яка рівномірно розподіляється в сталі, сприяє підвищенню теплостійкості цементованого шару.

Введення азоту в сталь запропонованого складу зумовлено тим, що він утворює нітриди (дрібнодисперсну фазу AlN), які рівномірно розподіляються в сталі, поліпшують її структуру та механічні властивості і сприяють підвищенню теплостійкості цементованого шару.

Введення одного або декількох РЗМ з групи церій (Ce), лантан (La), празеодим (Pr), неодим (Nd) забезпечує зменшення дифузійної рухомості атомів вуглецю, що сприяє подрібненню карбідів і нітридів та їх рівномірному розподілу в структурі сталі, за рахунок чого підвищується термостійкість карбідів, а відповідно - теплостійкість цементованого шару, зменшується його крихкість.

Вміст вуглецю має бути в діапазоні 0,04-0,10 мас. %. Нижня межа зумовлена тим, що при виході за неї відбувається зниження характеристик міцності та твердості серцевини сталі та одночасне ускладнення процесу виплавки сталі. При виході за верхню межу відбувається суттєве зниження характеристик пластичності та ударної в'язкості серцевини сталі за рахунок зміни в ній співвідношення структурних складових.

Вміст кремнію має бути в діапазоні 0,10-0,80 мас. %, це зумовлено: нижня межа - забезпеченням вмісту кремнію, який необхідний для початку процесу розкислення; верхня - значним впливом кремнію на теплостійкість; перевищення вказаної концентрації (0,80 мас. %) призводить до погіршення теплостійкості.

Вміст марганцю має бути в діапазоні 0,10-0,80 мас. %, це зумовлено: нижня межа - забезпеченням необхідної ударної в'язкості та пластичності; верхня межа - підвищенням швидкості проміжного перетворення в сталі та погіршенням якості залишкового аустеніту, що призводить до зниження механічних властивостей сталі.

Вміст хрому має бути в діапазоні 2,00-3,00 мас. %, це зумовлено: нижня межа - забезпеченням необхідних характеристик міцності сталі, зокрема, твердості та ударної в'язкості в умовах знакозмінних навантажень; верхня межа - зниженням теплостійкості цементованого шару при підвищенні вмісту хрому понад вказану межу, що обумовлено нестійкістю карбідів до коалесценції.

Вміст ванадію має бути в діапазоні 0,20-0,40 мас. %, це зумовлено: нижня межа - забезпеченням необхідних характеристик міцності сталі; верхня межа - позитивним впливом на вторинну твердість сталі і теплостійкість; при перевищенні верхньої межі ванадій знижує прогартовуваність дифузійного шару, що унеможливорює хіміко-термічне оброблення (ХТО) сталі на вторинну твердість, знижує ударну в'язкість після ХТО та призводить до погіршення процесу шліфування поверхні деталі.

Вміст ніобію має бути в діапазоні 0,05-0,30 мас. %, це зумовлено значним підвищенням зносостійкості цементованого шару, при цьому його пластичність не знижується. Нижня межа - утворенням дрібнозернистої карбідної фази ніобію, яка необхідна для забезпечення вторинного твердіння сталі у процесі ХТО, верхня межа - утворенням грубих карбідів ніобію, які призводять до зниження ударної в'язкості серцевини і цементованого шару.

Вміст молібдену має бути в діапазоні 1,60-3,00 мас. %, що забезпечує формування оптимальної структури та властивостей цементованої сталі за умов заданого вмісту вуглецю; при виході за нижню межу не забезпечується необхідна прогартовуваність сталі, її твердість та теплостійкість; а за верхню - спостерігається погіршення механічних властивостей цементованого шару та підвищення твердості серцевини понад 43 HRC, що ускладнює механічне оброблення сталі.

Вміст алюмінію має бути в діапазоні 0,01-0,20 мас. %, це зумовлено виділенням дрібнодисперсної фази AlN, яка рівномірно розподіляється в сталі та сприяє підвищенню теплостійкості шару. Підвищення вмісту алюмінію понад 0,20 % призводить до різкого збільшення кількості неметалевих включень, які погіршують експлуатаційну стійкість сталі.

Вміст нікелю має бути в діапазоні 0,50-1,50 мас. %, що дозволяє покращити прогартовуваність сталі та знизити швидкість охолодження після гартування. Нижня межа обумовлена забезпеченням необхідних характеристик ударної в'язкості та пластичності; підвищення вмісту нікелю понад верхню межу - обумовлює утворення надлишкової кількості залишкового аустеніту в структурі сталі, а також різке зниження дифузійної рухомості вуглецю, що ускладнює процес цементації.

Вміст азоту має бути в діапазоні 0,01-0,07 мас. %, це зумовлено: нижня межа - утворенням нітридів, які поліпшують структуру та механічні властивості сталі; підвищення вмісту азоту понад верхню межу обумовлює погіршення механічних властивостей сталі.

Вміст сірки має бути $\leq 0,025$ мас. %, це зумовлене її негативним впливом на властивості сталі.

Вміст фосфору має бути $\leq 0,025$ мас. %, це зумовлене здатністю його атомів до сегрегації на границях зерен, що призводить до крихкості сталі.

Введення рідкісноземельних металів (РЗМ) має бути в діапазоні 0,001-0,010 мас. %. Підвищення вмісту РЗМ понад 0,001 % призводить до зменшення дифузійної рухливості атомів вуглецю та викликає подрібнення карбідів та їх рівномірний розподіл у структурі сталі, за рахунок чого підвищується термостійкість карбідів, а відповідно - теплостійкість цементованого шару; підвищення вмісту РЗМ понад верхню межу зумовлює зниження значення коефіцієнта дифузії вуглецю в сталь при температурі ХТО, тобто уповільнює процес росту параметрів цементованого шару (його товщини та розподілу вуглецю в шарі).

Отже, поліпшення структури та властивостей запропонованої сталі досягається легуванням вуглецем, кремнієм, марганцем, хромом, ванадієм, ніобієм, молібденом, алюмінієм, нікелем, азотом, сіркою, фосфором, та РЗМ. У порівнянні з прототипом, зміна меж вмісту легувальних елементів та додаткове введення таких компонентів, як ніобій, алюміній, азот та РЗМ, дозволяє одержати цементовану сталь з підвищеною ударною в'язкістю і пластичністю серцевини та твердістю і теплостійкістю цементованого шару.

Для дослідження механічних властивостей було використано вісім лабораторних виливків сталі (№ 1 та 2 мали хімічний склад, що виходив за межі запропонованого рішення, а № 3-8 відповідали запропонованому рішенню). Проведено їх порівняння з хімічним складом та механічними властивостями прототипу (№ 9). Для цього в 60-ти кілограмовій індукційній печі з основною футерівкою було виготовлено лабораторні виливки. Сталь розливали у вогнетривкі циліндричні форми діаметром 80 мм та здійснювали вальцювання на пневматичних молотах на квадрат 15×15 мм. Після цього плавки піддавали нормалізації при температурі 850 °С впродовж 1 год. з наступним охолодженням на повітрі. ХТО (цементацию) на вторинну твердість здійснювали в шахтній печі СШЦМ-6,6/10,5 у твердому карбюризаторі (ГОСТ 2407-83) при температурі 1030 °С впродовж 3,5 год. Після цементациї проводили дво-триразовий відпуск при температурах 500...540 °С впродовж 1 год.

У табл. 1 наведений хімічний склад сталей.

Таблица 1

Хімічний склад сталей

№ з/п	Вміст хімічних елементів, мас. %												
	C	Si	Mn	Cr	V	Nb	Mo	Al	Ni	N	S	P	РЗМ
за межами запропонованого рішення													
1	0,11	0,85	0,90	3,16	0,45	0,41	3,21	0,27	1,61	0,080	0,020	0,019	0,015
2	0,025	0,09	0,08	1,85	0,15	0,02	1,50	0,005	0,41	0,005	0,017	0,022	0,001
відповідає запропонованому рішенню													
3	0,04	0,12	0,14	2,85	0,29	0,13	1,68	0,08	1,10	0,016	0,023	0,016	0,004
4	0,04	0,14	0,10	2,02	0,31	0,22	2,46	0,03	1,09	0,024	0,020	0,025	0,003
5	0,07	0,13	0,26	2,89	0,39	0,30	1,61	0,08	1,01	0,031	0,018	0,022	0,009
6	0,04	0,15	0,35	2,20	0,40	0,15	1,84	0,06	0,96	0,026	0,020	0,025	0,006
7	0,06	0,20	0,21	2,01	0,21	0,06	1,71	0,09	1,30	0,033	0,017	0,021	0,003
8	0,05	0,17	0,24	2,98	0,33	0,20	2,29	0,10	1,06	0,022	0,024	0,020	0,005
за прототипом													
9	0,11 0,16	0,45 0,70	0,70 1,00	1,20 1,60	$\leq 0,06$	-	0,25 0,40	-	1,60 2,00	-	$\leq 0,025$	$\leq 0,025$	-

У табл. 2 наведені механічні властивості сталей після ХТО.

Таблица 2

Механічні властивості сталей після ХТО

№ з/п	Механічні властивості						
	Серцевини						Цементованого шару
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²	HRC	HRC
за межами запропонованого рішення							
1	1015...1055	900...940	6,0...8,0	28,4...30,4	0,55...0,65	41...45	≥58
2	740...780	655...695	13,0...15,0	50,3...52,4	1,01...1,10	25...29	≥57
відповідає запропонованому рішенню							
3	795...835	715...755	10,7...12,7	37,4...39,4	1,05...1,15	29...33	≥58
4	980...1020	900...940	9,0...11,0	47,0...49,0	0,86...0,96	33...37	≥60
5	940...980	910...950	9,1...11,1	36,1...38,1	0,70...0,80	33...37	≥57
6	850...890	790...830	10,8...11,8	42,1...44,1	0,92...1,02	36...40	≥58
7	980...1020	840...880	12,2...14,2	35,8...37,8	1,07...1,17	36...40	≥60
8	990...1030	940...980	12,0...14,0	30,6...32,6	0,97...1,07	31...35	≥62
за прототипом							
9	980...1050	785...825	11,0...13,0	54,0...56,0	0,95...1,05	38...41	≥58

Запропонована сталь у порівнянні з прототипом має підвищенні значення твердості та теплостійкості цементованого шару, а також ударної в'язкості та пластичності серцевини.

- 5 Наведені результати досліджень вказують на можливість використання запропонованої сталі для виготовлення зубчатих коліс ГТД, що працюють при температурах до 450 °С та потребують високої твердості і, відповідно, високої контактної витривалості поверхневих шарів.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

10

Цементована сталь, що містить залізо (Fe), вуглець (C), кремній (Si), марганець (Mn), хром (Cr), ванадій (V), молібден (Mo), нікель (Ni), сірку (S), фосфор (P), піддана хіміко-термічному обробленню (цементзації) на вторинну твердість, яка **відрізняється** тим, що додатково містить ніобій (Nb), алюміній (Al), азот (N) та один або декілька РЗМ, вибраних з групи церій (Ce), лантан (La), празеодим (Pr), неодим (Nd), при такому співвідношенні компонентів, мас. %:

15

C	0,04-0,10
Si	0,10-0,80
Mn	0,10-0,80
Cr	2,00-3,00
V	0,20-0,40
Nb	0,05-0,30
Mo	1,60-3,00
Al	0,01-0,20
Ni	0,50-1,50
N	0,01-0,07
S	≤0,025
P	≤0,025
РЗМ	0,001-0,010
Fe	решта.

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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

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