



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 84607

(13) C2

(51) МПК (2006)

C22C 38/44

C22C 38/50

C22C 38/46

C21D 8/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СТАЛЬ ВИСОКОЇ МЕХАНІЧНОЇ МІЦНОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКОСТІ

1

2

(21) a200611825

(22) 12.05.2005

(24) 10.11.2008

(86) PCT/FR2005/001191, 12.05.2005

(31) 0405535

(32) 21.05.2004

(33) FR

(46) 10.11.2008, Бюл.№ 21, 2008 р.

(72) БЕГІНО ЖАН, ВІАЛЬ ДОМІНІК

(73) ІНДУСТЕЛЬ КРЮЗО

(56) US 2003/066577 A1, 10.04.2003

JP 05132738 A, 28.05.1993

JP 10330894 A, 15.12.1998

JP 2001123247 A, 08.05.2001

EP 0805220 A1, 05.11.1997

US 4729872 A, 08.03.1988

US 2002/112786 A1, 22.08.2002

DE 1273202 B, 18.07.1968

JP 2000345290 A, 12.12.2000

JP 2000328179 A, 28.11.2000

JP 11323487 A, 26.11.1999

JP 2001115234 A, 24.04.2001

JP 04026739 A, 29.01.1992

(57) 1. Сталь високої механічної міцності та високої зносостійкості, яка має такий хімічний склад, мас. %:

 $0,35\% \leq C \leq 1,47\%$ $0,05\% \leq Si \leq 1,5\%$ $Mn \leq 1,95\%$ $Ni \leq 2,9\%$ $1,1\% \leq Cr \leq 7,9\%$ $0\% \leq Mo \leq 4,29\%$ $0,21\% \leq W \leq 4,9\%$ $0,61\% \leq Mo+W/2 \leq 4,4\%$ $0\% \leq Ti \leq 1,49\%$ $0\% \leq Zr \leq 2,9\%$ $0,21\% \leq Ti+Zr/2 \leq 1,49\%$ один або кілька елементів, вибраних із групи, до якої входять ванадій, ніобій та тантал, у таких кількостях, що $0\% \leq V \leq 1,45\%$, $0\% \leq Nb \leq 1,45\%$, $0\% \leq Ta \leq 1,45\%$ та $0\% \leq V+Nb/2+Ta/4 \leq 1,45\%$,

до 0,19% сірки

до 1% алюмінію

до 1% міді

решта - залізо та домішки, зумовлені технологічним процесом виготовлення сталі,

причому склад сталі відповідає таким умовам:

 $(Ti+Zr/2)/W \geq 0,20$ $(Ti+Zr/2) \times C \geq 0,07$ $0,3\% \leq C^* \leq 1,42\%$ $800 \leq D \leq 1150$,

де

 $D = 540(C^*)^{0,25} + 245(Mo+W/2+3V+1,5Nb+0,75Ta)^{0,3} + 125Cr^{0,20} + 15,8Mn + 7,4Ni + 18Si$

та

 $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$,і, крім того, якщо $C^* \geq 0,51\%$ та якщо $2,5\% \leq Cr \leq 3,5\%$, то $W \leq 0,85\%$, якщо $Mo < 1,21\%$, та $W/Mo \leq 0,7$, якщо $Mo \geq 1,21\%$.

2. Сталь за п.1, яка відрізняється тим, що:

 $C^* \leq 1,1\%$.

3. Сталь за п.1 або п.2, яка відрізняється тим, що:

 $W \leq 0,85\%$.

4. Сталь за будь-яким із пп.1-3, яка відрізняється тим, що:

 $Si \geq 0,45\%$.

5. Сталь за будь-яким із пп.1-3, яка відрізняється тим, що:

 $Si < 0,45\%$.

6. Сталь за будь-яким із пп.1-5, яка відрізняється тим, що:

 $Mo+W/2 \geq 2,2\%$.

7. Сталь за будь-яким із пп.1-6, яка відрізняється тим, що:

 $Cr \geq 3,5\%$.

8. Сталь за будь-яким із пп.1-7, яка відрізняється тим, що:

 $C \leq 0,85\%$.

9. Сталь за будь-яким із пп.1-7, яка відрізняється тим, що:

 $C > 0,85\%$.

10. Сталь за будь-яким із пп.1-9, яка відрізняється тим, що:

 $Ti+Zr/2 < 0,7\%$.

11. Сталь за будь-яким із пп.1-10, яка відрізняється тим, що:

 $Ti+Zr/2 \geq 0,7\%$.

(13) C2

(11) 84607

(19) UA

12. Сталь за будь-яким з пп.1-11, яка **відрізняється** тим, що до її складу додатково входить принаймні один елемент, вибраний із групи, до якої входять бор, кальцій та рідкоземельні елементи, причому $B \leq 0,1\%$, $Ca \leq 0,01\%$ і вміст рідкоземельних елементів менше або дорівнює $0,5\%$.

13. Сталь за будь-яким з пп.1-12, яка **відрізняється** тим, що до її складу додатково входять щонайменше один з селену та телуру, причому:

$Se \leq 0,38\%$

$Te \leq 0,76\%$, та

$S + Se/2 + Te/4 \leq 0,19\%$.

14. Спосіб виготовлення виробу зі сталі за будь-яким із пп.1-13, який **відрізняється** тим, що:

- виготовляють рідку сталь, що має бажаний склад, за винятком титану та/або цирконію;

- додають до ванни розплавленої сталі титан та/або цирконій, постійно запобігаючи утворенню надлишкової локальної концентрації титану та/або цирконію у ванні розплавленої сталі;

- виливають згадану сталь для одержання напівпродукту;

- піддають одержаний напівпродукт обробці шляхом пластичного деформування в гарячому стані з одержанням виробу зі сталі.

15. Спосіб за п.14, який **відрізняється** тим, що для одержання виробу зі сталі напівпродукт піддають також термічній обробці.

16. Спосіб за п.14 або 15, який **відрізняється** тим, що додавання титану та/або цирконію виконують шляхом поступового додавання титану та/або цирконію до шлаку, який покриває ванну рідкої сталі, та уможливлення повільної дифузії титану та/або цирконію у ванну рідкої сталі.

17. Спосіб за п.14 або 15, який **відрізняється** тим, що додавання титану та/або цирконію виконують шляхом подавання дроту, який містить титан та/або цирконій, у ванну рідкої сталі при безперервному перемішуванні ванни.

18. Виріб зі сталі за будь-яким із пп.1-13.

19. Виріб за п.18, одержаний способом за будь-яким з пп.14-17.

Цей винахід стосується сталі високої механічної міцності та високої зносостійкості.

Сталі підвищеної зносостійкості використовуються у численних галузях промисловості. До таких сталей належать, наприклад, сталі, призначені для виготовлення обладнання для гірничорудної промисловості, які мають протистояти стиранню. До них належать також сталі для виготовлення інструментів для отримання заготовок металевих деталей холодним способом або напівгарячим способом, які мають протистояти зношуванню внаслідок тертя металу об метал. Для такого застосування інструментальні сталі мають зберігати бажані властивості, незважаючи на нагрівання до температур, які можуть досягати 500°C і навіть 600°C .

Крім згаданої зносостійкості, згадані сталі повинні мати властивості, які забезпечують можливість їхньої механічної обробки або зварювання. Нарешті, вони мають протистояти ударам або інтенсивним навантаженням.

Для забезпечення сукупності бажаних властивостей, як правило, застосовують сталі, що містять приблизно $0,3\text{--}1,5\%$ вуглецю, менше ніж 2% кремнію, менше ніж 2% марганцю, у деяких випадках до 3% нікелю, $1\text{--}12\%$ хрому, $0,5\text{--}5\%$ молібдену, з факультативними домішками ванадію або ніобію.

У цих сталях зносостійкість забезпечується, головним чином, завдяки підвищенню твердості, що відбувається внаслідок вторинного виділення карбідів молібдену. Цю зносостійкість можна в разі необхідності підвищити за рахунок присутності грубозернистих ледебуритних карбідів, особливо збагачених хромом.

Необхідність високого вмісту у сталі карбідотвірних елементів, наприклад, молібдену та ванадію, який забезпечує вторинне виділення, достатнє для підвищення твердості та температуростійкості, одночасно є причиною вад, пов'язаних із виникненням сильно сегрегованих прошарків із високим вмістом цих елементів та вуглецю, які, як наслідок, мають високу твердість та крихкість. Ці сегреговані прошарки утруднюють механічну обробку та зварювання. Крім того, вони утворюють зони підвищеної крихкості, які, у разі їх знаходження на тій самій ділянці, можуть спричинити значне зниження ударної міцності та стійкості до інтенсивних згинальних навантажень виробів.

Метою цього винаходу є усунення цієї вад шляхом запропонування засобу, який забезпечує одержання сталі, еквівалентної за властивостями відомим сталям, у якій, однак, шкідливий вплив сегрегованих прошарків значно послаблений.

Відповідно до цієї мети, предметом винаходу є спосіб послаблення шкідливого впливу сегрегованих прошарків у сталі високої механічної міцності та високої зносостійкості, масовий склад якої становить

0,30%	≤	C	≤	1,42%;
0,05%	≤	Si	≤	1,5%;
		Mn	≤	1,95%;
		Ni	≤	2,9%;
1,1%	≤	Cr	≤	7,9%;
0,61%	≤	Mo	≤	4,4%;

- факультативно один або кілька елементів, вибраних із групи, до якої входять ванадій, ніобій та тантал, у таких кількостях,

- що $V \leq 1,45\%$, $Nb \leq 1,45\%$, $Ta \leq 1,45\%$, та $V+Nb/2+Ta/4 \leq 1,45\%$;

- факультативно до 0,1% бору;

- факультативно до 0,19% сірки, до 0,38% селену та до 0,76% телуру, причому сума $S+Se/2+Te/4$ становить щонайбільше 0,19%;

- факультативно до 0,01% кальцію; факультативно до 0,5% рідкоземельних елементів;

- факультативно до 1% алюмінію; факультативно до 1% міді,

- решта - залізо та домішки технологічного походження. Крім того, склад сталі відповідає умові:

$800 \leq D \leq 1150$, де:

$$D = 540(C)^{0,25} + 245(Mo + 3V + 1,5Nb + 0,75Ta)^{0,30} + 125Cr^{0,20} + 15,8Mn + 7,4Ni + 18Si.$$

Згідно з цим способом:

- молибден цілком або частково замінюють подвоєною часткою вольфраму так, щоб вміст вольфраму W дорівнював 0,21% або перевищував це значення;

- та додають титан та/або цирконій, призначені для формування, головним чином, у процесі твердіння, грубозернистих карбідів, та додаткову кількість вуглецю δC , яка дорівнює $Ti/4 + Zr/8$, таким чином, щоб вміст вуглецю після такого коригування становив $C' = C$ до коригування $+ Ti/4 + Zr/8$.

Додані кількості титану та/або цирконію мають бути такими, щоб:

$$Ti + Zr/2 \geq 0,2 \times W;$$

$$(Ti + Zr/2) \times C' \leq 0,07,$$

що означає також, що, враховуючи, що $C' = (C + Ti/4 + Zr/8)$ (де C - вміст вуглецю до коригування); $(Ti + Zr/2) \geq 2(-C + \sqrt{C^2 + 0,07})$

та

$$Ti + Zr/2 \leq 1,49\%.$$

Додана кількість вуглецю δC , яка завчасно утворює карбіди титану та/або цирконію, при цьому зв'язується і, отже, не бере участі у вторинному виділенні карбідів молибдену, вольфраму, ванадію та, у другу чергу, хрому. Цей процес залежить від кількості вільного вуглецю C^* після коригування, яка дорівнює $C' - Ti/4 - Zr/8$. Як наслідок, підвищення твердості сталі при застосуванні запропонованого способу не змінюється при дисперсії, близько пов'язаній із практичними характеристиками дисперсії, що досягаються згідно з розрахунками у виробництві сталі. Щодо цього, можна припустити, що бажана кінцева дисперсія показника D не перевищує $\pm 5\%$, і, таким чином, одержати співвідношення: $0,95 \times D$ до коригування $\leq D$ після коригування $\leq 1,05 \times D$ до коригування, де D після коригування $= 540(C' - Ti/4 - Zr/8)^{0,25} + 245(Mo + W/2 + 3V + 1,5Nb + 0,75Ta)^{0,30} + 125Cr^{0,20} + 15,8Mn + 7,4Ni + 18Si$.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, склад сталі коригують так, що D після коригування дорівнювало D до коригування.

Якщо вміст хрому лежить у межах від 2,5% до 3,5% і якщо значення вмісту вуглецю, титану та цирконію є такими, що до коригування $C \geq 0,51\%$, то відповідно до варіанта, якому віддається перевага, вміст W обмежують так, щоб після коригування виконувалася умова:

$W \leq 0,85\%$, якщо $Mo < 1,21\%$, та $W/Mo \leq 0,7$, якщо $Mo \geq 1,21\%$.

Цей винахід стосується також сталі високої механічної міцності та високої зносостійкості, яка може бути факультативно одержана способом за цим винаходом, масовий хімічний склад якої становить:

$$0,35\% \leq C \leq 1,47\%;$$

$$0,05\% \leq Si \leq 1,5\%;$$

$$Mn \leq 1,95\%;$$

$$Ni \leq 2,9\%;$$

$$1,1\% \leq Cr \leq 7,9\%;$$

$$0\% \leq Mo \leq 4,29\%;$$

$$0,21\% \leq W \leq 4,9\%;$$

$$0,61\% \leq Mo + W/2 \leq 4,4\%;$$

$$0\% \leq Ti \leq 1,49\%;$$

$$0\% \leq Zr \leq 2,9\%;$$

- факультативно один або кілька елементів, вибраних із групи, до якої входять ванадій, ніобій та тантал, у таких кількостях, що $V \leq 1,45\%$, $Nb \leq 1,45\%$, $Ta \leq 1,45\%$ та $V+Nb/2+Ta/4 \leq 1,45\%$;

- факультативно до 0,1% бору;

- факультативно до 0,19% сірки, до 0,38% селену та до 0,76% телуру, причому сума $S+Se/2+Te/4$ становить щонайбільше 0,19%;

- факультативно до 0,01% кальцію; факультативно до 0,5% рідкоземельних елементів; факультативно до 1% алюмінію;

- факультативно до 1% міді,

- решта - залізо та домішки технологічного походження, причому склад сталі відповідає таким умовам:

$$(Ti + Zr/2)/W \geq 0,20;$$

$$(Ti + Zr/2) \times C \geq 0,07;$$

$0,3\% \leq C^* \leq 1,42\%$, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, $\leq 1,1\%$;

$$800 \leq D \leq 1150,$$

де

$$D = 540(C^*)^{0,25} + 245(Mo + W/2 + 3V + 1,5Nb + 0,75Ta)^{0,30} + 125Cr^{0,20} + 15,8Mn + 7,4Ni + 18Si;$$

Та

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8,$$

та, крім того, якщо $C^* \geq 0,51\%$ та якщо $2,5\% \leq Cr \leq 3,5\%$, то $W \leq 0,85\%$, якщо $Mo < 1,21\%$, та $W/Mo \leq 0,7$, якщо $Mo \geq 1,21\%$.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, сталь може відповідати одній або кільком з таких умов:

$Si < 0,45\%$, якщо бажано віддати перевагу теплопровідності;

$Si \geq 0,45\%$, якщо бажано віддати перевагу здатності до роботи при високих температурах, або, крім того:

$Mo + W/2 \geq 2,2\%$ з метою підвищення опору зниженню твердості сталі та надання їй підвищеної міцності;

$Cr \geq 3,5\%$ з метою одночасного сприяння загартованості та підвищенню твердості;

$C \leq 0,85\%$, якщо бажано віддати перевагу підвищенню в'язкості,

або

$C > 0,85\%$, якщо бажано досягти максимальної можливої зносостійкості.

Крім того, сталь може мати такий склад, щоб:

$Ti+Zr/2 < 0,7\%$ з метою відання переваги підвищенню в'язкості,

або такий склад, щоб:

$Ti+Zr/2 \geq 0,7\%$, з метою відання переваги підвищенню зносостійкості.

Цей винахід стосується також способу виготовлення виробу зі сталі за цим винаходом, згідно з яким:

- виготовляють рідку сталь, що має бажаний склад, шляхом коригування вмісту титану та/або цирконію у ванні розплавленої сталі, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, при униканні у будь-який момент надлишкової локальної концентрації титану та/або цирконію у ванні розплавленої сталі;

- виливають згадану сталь для одержання напівпродукту;

- і потім піддають згаданий напівпродукт обробці для отримання заготовки деталі шляхом пластичного деформування в гарячому стані та факультативно термічній обробці з метою одержання згаданого виробу.

Відповідно до варіанта, якому віддається перевага, з метою обмеження тимчасових надлишкових концентрацій у рідкій ванні, додавання титану та/або цирконію виконують шляхом поступового додавання титану та/або цирконію до шлаку, який покриває ванну рідкої сталі, та забезпечення можливості повільної дифузії титану та/або цирконію у ванну рідкої сталі.

Додавання титану та/або цирконію можна здійснювати також шляхом введення дроту, який містить титан та/або цирконій, у ванну рідкої сталі при безперервному перемішуванні ванни.

Цей винахід стосується також виробу зі сталі за цим винаходом, який можна одержати способом виготовлення за винаходом.

Нижче подано більш детальний, але не обмежувальний опис винаходу, який ілюстровано прикладами та одним рисунком, який представляє ступінь сегрегації вольфраму як функцію відношення $(Ti+Zr/2)/W$ для різних сталей.

Відомо, що вольфрам є легувальним елементом, вплив якого на властивості сталі можна порівняти із впливом молібдену. Зокрема, відомо, що вольфрам при застосуванні його у кількості, удвоє більшій за кількість молібдену, спричиняє підвищення твердості та опору розм'якшенню при нагріванні, порівнянне із впливом молібдену. Однак вольфрам застосовується рідко, за винятком деяких високолегованих сталей, яких не стосується цей винахід; це пояснюється значно вищою вартістю вольфраму у порівнянні з молібденом. Крім того, вольфрам, як і молібден, має ваду, пов'язану з високою схильністю до сегрегації та утворення сегрегованих прошарків дуже високої твердості та крихкості.

Отже, авторами цього винаходу було виявлено нове та несподіване явище, а саме те, що у присутності достатніх кількостей титану або цирконію сегрегація вольфраму значно послаблюється; цей ефект дуже цікаво використати у випадку, коли, крім того, вміст молібдену вже є також відносно високим.

Цей несподіваний результат можна пояснити за допомогою описаного нижче припущення:

- такі елементи, як молібден та вольфрам, утворюють карбіди у формі дрібнозернистих преципітатів, які спричиняють підвищення твердості матриці і, таким чином, дозволяють досягти бажаної твердості сталі. Отже, сегреговані прошарки, які характеризуються саме надлишковими концентраціями молібдену або вольфраму, являють собою ділянки сильного збільшення густини преципітатів, що підвищують твердість, і, таким чином, спричиняють значні локальні підвищення твердості та крихкості;

- титан або цирконій також утворюють карбіди. Однак ці карбіди є порівняно грубозернистими і, як наслідок, їхня кількість є відносно невеликою, і вони не спричиняють помітного підвищення твердості металічної матриці;

- авторами цього винаходу виявлено новий та несподіваний факт, що, якщо сталь містить одночасно, з одного боку, титан та/або цирконій та, з другого боку, вольфрам, то вольфрам виявляє тенденцію до спільної преципітації з титаном та/або цирконієм з утворенням грубозернистих преципітатів, які не підвищують твердість.

Отже, з урахуванням цих спостережень можна припустити, що у присутності титану та/або цирконію вміст вольфраму і, отже, густина дрібнозернистих карбідних преципітатів, що збільшують твердість, зменшується, особливо на рівні сегрегованих прошарків, де кількість грубозернистих карбідів титану або цирконію є значно більшою внаслідок самого факту сегрегації. Як наслідок, різниця у твердості між сегрегованими прошарками та несегрегованими зонами значно зменшується, і шкідливий вплив сегрегованих прошарків (зокрема, присутність зон підвищеної крихкості, утруднення механічної обробки, неоднорідність здатності до шліфування та зачищення, наплавлення тощо) послаблюється.

Виходячи з цих спостережень та сформульованого припущення, автори цього винаходу винайшли спосіб, що дозволяє значною мірою усунути утруднення, пов'язані з сегрегованими прошарками у сталях із високим вмістом молібдену, при збереженні сукупності експлуатаційних властивостей, що мають істотне значення для розгляданої сталі.

Спосіб за цим винаходом застосовується до сталі, яка перед застосуванням способу містить, головним чином, від 0,30% до 1,42% вуглецю, від 0,05% до 1,5% кремнію, менше ніж 1,95% марганцю, менше ніж 2,9% нікелю, від 1,1% до 7,9% хрому, від 0,61% до 4,4% молібдену, факультативно до 1,45% ванадію, до 1,45% ніобію та менше ніж 1,45% танталу, причому $V+Nb/2+Ta/4 \leq 1,45\%$. Ця сталь має індекс твердості D, зміст якого буде пояснено нижче, від 800 до 1150. Крім того, сталь може містити до 0,1% бору, до 0,19% сірки, до 0,38% селену, до 0,79% телуру, причому сума $S+Se/2+Te/4$ залишається менше ніж 0,19%, факультативно до 0,01% кальцію, до 0,5% рідкоземельних елементів, до 1% алюмінію та до 1% міді.

Згідно зі згаданим способом, молібден повністю або частково замінюють практично подвоєною

кількістю вольфраму, додають титан та/або цирконій так, щоб забезпечити достатню кількість титану та/або цирконію з урахуванням кількості доданого до сталі вольфраму, і коригують вміст вуглецю так, щоб твердість сталі залишалася практично незмінною.

З цією метою, застосовуючи, наприклад, формулу, яка дозволяє обчислити індекс твердості D , вміст якого буде пояснено нижче, або будь-який інший спосіб, відомий фахівцеві, вибирають цільовий склад сталі без вольфраму так, щоб забезпечити потрібні експлуатаційні характеристики, зокрема, рівень твердості. Потім модифікують цей цільовий склад, вибираючи вміст вольфраму, з подальшим коригуванням вмісту молібдену та вмісту титану або цирконію, а також вмісту вуглецю з таким розрахунком, щоб щонайменше одна з основних експлуатаційних характеристик, зокрема, твердість, залишилася практично незмінною. Потім виготовляють сталь, що відповідає модифікованому складу. Термін «практично незмінна» означає, наприклад, що твердість сталі після коригування її складу дорівнювала твердості до коригування з точністю до 5%. Це припустиме відхилення введено для врахування практичних утруднень, які виникають при виготовленні сталі, що точно відповідає заздалегідь визначеним характеристикам. У той самий час бажано, щоб одержані характеристики були якнайближчими до цільових характеристик сталі перед коригуванням складу. Крім того, перевага віддається припустимому відхиленню щонайбільше на 2%, і, у тій мірі, в якій інтерес становлять тільки цільові характеристики, ще більша перевага віддається тому, щоб цільова характеристика твердості після коригування складу дорівнювала цільовій характеристиці твердості до коригування складу.

У згаданому способі кількість додаваного вольфраму має становити щонайменше 0,21%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, понад 0,4%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, понад 0,7% і відповідно до варіанта, якому віддається ще більша перевага, - понад 1,05%. Дійсно, що більшою мірою молібден замінюється вольфрамом, то більш помітним є його вплив на сегрегацію. Однак цей вплив залежить від вмісту титану або цирконію, внаслідок чого максимальна кількість додаваного вольфраму обмежується.

Для досягнення бажаного впливу на сегрегацію вміст титану та цирконію має бути таким, щоб сума $Ti+Zr/2$ була меншою або дорівнювала значенню $0,2 \times W$, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, щонайменше $0,4 \times W$, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше $0,6 \times W$. Однак із міркувань, які будуть наведені нижче, надмірне збільшення вмісту титану або цирконію є небажаним. Ця обставина опосередковано викликає вимогу обмеження домішки вольфраму максимальним значенням 4,9%. Як правило, вміст вольфраму залишається нижче 2,9%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 1,9% або навіть становить щонайбільше 0,85% і навіть 0,49%.

Крім того, залежно від вмісту титану та/або цирконію, вміст вуглецю слід коригувати таким чином, щоб вміст вільного вуглецю $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$ залишався практично незмінним, тобто так, щоб вміст вільного вуглецю C^* після коригування складу практично дорівнював вмісту вуглецю C до коригування складу (у поданій вище формулі C' - вміст вуглецю у сталі після коригування складу). Ця умова є необхідною для підтримання практично незмінної твердості сталі та її стійкості проти розм'якшення при підвищених температурах. Якщо D - індекс твердості, значення якого буде визначено нижче, то можна задати таке співвідношення:

$0,95 \times D$ до коригування $\leq D$ після коригування $\leq 1,05 \times D$ до коригування,

або відповідно до варіанта, якому віддається перевага,

$0,98 \times D$ до коригування $\leq D$ після коригування $\leq 1,02 \times D$ до коригування,

або відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага,

D після коригування $= D$ до коригування.

На практиці процедура вибору значень вмісту елементів для коригування включає:

- вибір вмісту вольфраму для заміни половини вмісту молібдену у залежності від мінімального бажаного ступеня послаблення сегрегації (при цьому можна керуватися даними, поданими у Таблиці 2, Таблиці 3 та Таблиці 4 або на рисунку);

- вибір більш або менш високого рівня вмісту Ti та/або Zr залежно від того, віддається перевага відповідно зносостійкості або в'язкості; при цьому вибрані значення вмісту мають бути достатніми стосовно до домішки вольфраму, оскільки має задовольнятися вимога $(Ti+Zr/2) \geq 0,2W$;

- визначення необхідного підвищення вмісту вуглецю залежно від вищезгаданих значень вмісту, а саме $8C = Ti/4 + Zr/8$.

Нижче подано опис сталі за цим винаходом, яку можна одержати способом за винаходом і перевага якої полягає у меншому шкідливому впливі сегрегованих прошарків у порівнянні з таким впливом у відомих сталях такої самої твердості.

Сталь за цим винаходом містить більше ніж 0,35% вуглецю, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, більше ніж 0,51% і відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, більше ніж 0,65%, з міркувань забезпечення можливості утворення достатньої кількості карбідів та досягнення бажаного рівня твердості, але менше ніж 1,47%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, менше ніж 1,1% і відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, менше ніж 0,98% з міркувань запобігання надмірній крихкості сталі. Як вказано вище, згадана сталь містить титан та цирконій, і ці елементи при високих температурах зв'язуються з вуглецем і утворюють первинні карбіди. Таким чином, після утворення первинних карбідів титану та цирконію вуглець, який можна назвати «вільним» і який залишається здатним впливати на властивості матриці, є вільним вуглецем, не зв'язаним із титаном та цирконієм. Ця кількість вуглецю, не зв'язаного з титаном та цирконієм, яка має позначення C^* , визначається як $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$ (C , Ti та Zr - вміст відповідно

вуглецю, титану та цирконію у сталі; нижче показник С визначається також як «загальний вміст вуглецю»). Ця кількість вільного вуглецю має бути достатньою для уможливлення виділення вторинних карбідів, зокрема, карбідів вольфраму, молібдену або інших елементів, які були введені до складу сталі, і з цієї точки зору згадана кількість вільного вуглецю С* має становити щонайменше 0,3%. У той самий час ця кількість не може перевищувати 1,42%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 1,1%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, 0,98% і відповідно до варіанта, якому віддається ще більша перевага, 0,79% з міркувань запобігання надмірного погіршення характеристик в'язкості власне матриці.

Крім того, може бути бажаним подальше обмеження максимального загального вмісту вуглецю С значенням 0,85% або краще 0,79% з міркувань спрощення технологічних операцій, зокрема, з міркування спрощення запобіжних заходів, необхідних при охолодженні зливків або слябів; у таких випадках перевага віддається вмісту С* вільного вуглецю нижче 0,60% і навіть нижче 0,50%. І навпаки, може бути бажаним вибір загального вмісту С вуглецю вище 0,85% із міркувань підвищення механічної міцності та зносостійкості сталі. Цей вибір здійснюють окремо у кожному конкретному випадку залежно від передбачуваного призначення сталі.

Сталь містить більше ніж 0,05% кремнію, оскільки цей елемент є розкиснювачем. Крім того, він певною мірою впливає на твердіння сталі. У той самий час вміст кремнію має становити щонайбільше 1,5%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, щонайбільше 1,1%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, 0,9% і відповідно до варіанта, якому віддається ще більша перевага, 0,6% з міркувань уникнення надмірного підвищення крихкості сталі та надмірного зниження здатності до пластичного деформування у гарячому стані, наприклад, шляхом прокатки. Крім того, може бути бажаним встановлення мінімального вмісту кремнію 0,45%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 0,6%, з метою підвищення оброблюваності сталі при одночасному покращенні стійкості до окиснення.

Підвищення стійкості до окиснення є особливо бажаним, якщо сталь застосовується для виготовлення виробів, призначених для експлуатації при відносно високих температурах порядку 450-600°C, при яких необхідна достатня стійкість проти пом'якшення у гарячому стані. Отже, якщо бажано забезпечити достатню стійкість проти пом'якшення у таких умовах експлуатації, бажано, щоб вміст $Mo+W/2$ становив щонайменше 2,2%. Звідси випливає, що мінімальні значення вмісту кремнію, а саме 0,45% або відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 0,6%, є більш сприятливими, якщо значення вмісту молібдену та вольфраму є такими, що $Mo+W/2$ становить щонайменше 2,2%, хоч така умова не має обмежувального характеру. У той самий час для деяких застосувань бажано, щоб сталь мала найвищий можливий коефіцієнт теплопровідності. У таких випадках бажано, щоб

вміст кремнію був нижчим від 0,45%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, мав найнижче можливе значення.

Сталь містить до 1,95% (мас.) марганцю з міркувань покращення загартованості сталі, проте перевага віддається тому, щоб цей вміст становив щонайбільше 1,5%, більша перевага віддається тому, щоб цей вміст становив щонайбільше 0,9%, з метою обмеження сегрегацій, які можуть спричинити погіршення ковкості та недостатню в'язкість. Слід зазначити, що сталь завжди містить незначну кількість марганцю, кілька десятих відсотка, з міркувань зв'язування сірки, і відповідно до варіанта, якому віддається перевага, вміст Mn має становити щонайменше 0,4%.

Сталь містить до 2,9% нікелю з міркувань покращення загартованості та підвищення в'язкості. Однак цей елемент має дуже високу вартість. Крім того, як правило, не вимагають, щоб вміст нікелю перевищував 0,9% або навіть 0,7%. Сталь може не містити нікелю, проте у випадках, коли нікель не вводиться умисне, цікавим є варіант, коли сталь містить його у кількості до 0,2% або навіть до 0,4% у формі домішок технологічного походження.

Сталь містить більше 1,1% хрому, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, більше ніж 2,1%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, більше ніж 3,1% і навіть більше 3,5% із міркувань досягнення достатньої загартованості та покращення твердіння при відпусканні, однак менше ніж 7,9%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, менше ніж 5,9%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, менше ніж 4,9% для уникнення негативного впливу на утворення вторинних карбідів, а саме карбідів Mo та/або W , оскільки ці карбіди більш ефективні з точки зору твердіння, ніж карбіди хрому.

Ці вторинні карбіди (тобто карбіди, що утворюються при охолодженні після повторної аустенізації і, передусім, під час операцій відпускання або повторних відпускань) утворюють більш дрібні та численні зерна, ніж ледебуритні карбіди (які звичайно утворюються наприкінці твердіння). Таким чином, вони сильно впливають на підвищення твердості металічної матриці після відпускання. Вони є корисними також із точки зору підвищення зносостійкості матриці, обмежуючи таким чином ризик оголення грубозернистих карбідів титану та/або цирконію, які мають дуже високу твердість і самі по собі виявляють сильний додатковий вплив на зносостійкість сталі.

У межах цього діапазону вмісту хрому доцільно розрізняти два піддіапазони, яким слід віддавати перевагу. Дійсно, якщо вміст хрому є досить високим, то цей елемент виявляє схильність до утворення, зокрема, у сегрегованих прошарках, карбідів ледебуритного типу, які є грубозернистими та більшою або меншою мірою локалізовані у міждендритних гратах. Ці карбіди, незважаючи на певний сприятливий вплив на зносостійкість, впливають, передусім, на окрихчування (принаймні, локальне) матриці. Отже, у випадках, коли бажано віддати перевагу твердості та зносостійкості

за рахунок зниження в'язкості, бажано вибирати вміст хрому щонайменше 3,5%, сприяючи, таким чином, присутності карбідів ледебуритного типу. Натомість, у випадку намагання підвищити в'язкість сталі за рахунок деякого зниження зносостійкості, бажано віддавати перевагу вмісту хрому щонайбільше 2,5%. У всякому випадку, в межах проміжного діапазону вмісту хрому від 2,5% до 3,5% ще існує можливість віддати перевагу підвищенню в'язкості або шляхом обмеження вмісту вільного вуглецю максимальним значенням 0,51%, або шляхом обмеження вмісту вольфраму або ще відношення вольфрам/молібден, оскільки вольфрам, внаслідок своєї схильності до утворення більш стійких карбідів у порівнянні з молібденом, сприяє утворенню ледебуритних карбідів хрому, зв'язуючись переважно з цими карбідами.

Значення вмісту молібдену та вольфраму у сталі мають бути такими, щоб сума $Mo+W/2$ становила щонайменше 0,61%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, щонайменше 1,1% і відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, - щонайменше 1,6%. Бажано навіть, щоб цей вміст перевищував 2,2% із міркувань забезпечення значного підвищення твердості та найвищої можливої стійкості проти теплового розм'якшення, зокрема, у випадках, коли застосування сталі пов'язане з повторним нагріванням її до температур, які можуть перевищувати приблизно 450°C. Мова йде, наприклад, про сталі, призначені для виготовлення зі сталі інструментів для експлуатації при підвищених температурах. У такому випадку значення суми $Mo+W/2$ може досягати 2,9% і навіть 3,4%, іноді навіть 3,9%, залежно від бажаної твердості та температури відпускання виробів. Для досягнення дуже високого рівня зносостійкості матриці та максимального обмеження ефекту її стирання з метою максимального уповільнення виходу на поверхню виробу грубозернистих карбідів Ti або Zr, значення суми $Mo+W/2$ може досягати навіть 4,4%.

Переваги, пов'язані з підвищенням вмісту $(Mo+W/2)$, тобто інакше кажучи, із вмістом молібдену до застосування способу, надають цьому показнику ще більшої важливості, якщо врахувати, що сегрегація карбідотвірного Mo поза застосуванням згаданого способу посилюється зі збільшенням вмісту цих елементів.

У межах вищезазначеного діапазону сумарного вмісту $Mo+W/2$ вміст вольфраму становить щонайменше 0,21%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, щонайменше 0,41%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше 0,61%, з міркувань забезпечення максимальної корисності специфічного впливу вольфраму.

Вміст вольфраму залежить від бажаного ступеня зниження шкідливого впливу сегрегацій, як вказано вище, та може також бути пов'язаним з вартістю легування. Цей вміст може досягати 4,9%, але звичайно не перевищує 1,9%; як правило, задовільним вважається вміст щонайбільше 0,90% або навіть 0,79%.

Вміст молібдену може бути на рівні слідових кількостей, однак відповідно до варіанта, якому

віддається перевага, він становить щонайменше 0,51%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше 1,4%, відповідно до варіанта, якому віддається ще більша перевага, щонайменше 2,05%. З іншого боку, залежно від заданого рівня міцності, немає потреби у перевищенні граничного вмісту 4,29%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 3,4%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, 2,9%; такі обмеження дозволяють, крім того, зменшити вплив молібдену на сегрегацію, що підвищує твердість.

У той самий час, якщо вміст хрому лежить у межах від приблизно 2,5% до 3,5% та якщо вміст вільного вуглецю $C^*=C-Ti/4-Zr/8$ становить щонайменше 0,51%, надмірно високий вміст вольфраму може спричинити утворення карбідів хрому, більшою або меншою мірою легованих вольфрамом. Ці грубозернисті карбіди ледебуритного типу, більш або менш локалізовані у міждендритних гратах, підвищують окрихчування матриці (принаймні, локальне окрихчування). З міркувань уникнення цієї вади, якщо вміст хрому лежить у межах від 2,5% до 3,5% та вміст вільного вуглецю C^* становить щонайменше 0,51%, то вміст вольфраму обмежується максимальним значенням 0,85%, якщо вміст молібдену не досягає 1,21%, і відношення вольфрам/молібден обмежується максимальним значенням 0,7, якщо вміст молібдену становить щонайменше 1,21%.

Вміст титану та цирконію слід коригувати таким чином, щоб сума $Ti+Zr/2$ становила щонайменше 0,21%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, щонайменше 0,41%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше 0,61%, з міркувань забезпечення бажаного ефекту зменшення шкідливого впливу сегрегованих прошарків. Крім того, ці елементи сприяють утворенню грубозернистих карбідів, які підвищують зносостійкість. У той самий час згадана сумарна кількість має залишатися меншою від 1,49%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, меншою від 1,19%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, меншою від 0,99% або навіть меншою від 0,79%, з міркувань уникнення надмірного погіршення в'язкості. Крім того, значення вмісту титану та цирконію слід коригувати залежно від того, віддається перевага в'язкості сталі або її зносостійкості. З цієї точки зору, якщо перевага віддається в'язкості сталі, то бажано, щоб сума $Ti+Zr/2$ була менше ніж 0,7%. Якщо ж перевага віддається зносостійкості сталі, то краще, щоб сума $Ti+Zr/2$ становила щонайменше 0,7%. Нарешті, з міркувань ефективності, тобто сприяння утворенню грубозернистих карбідів, значення вмісту титану та цирконію мають бути достатніми у співвідношенні із загальним вмістом вуглецю C. Для цієї мети добуток $(Ti+Zr/2) \times C$ має становити щонайменше 0,07, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, щонайменше 0,12, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше 0,2.

З міркувань узгодження з вищезгаданими діапазонами вмісту $Ti+Zr/2$ мінімальний вміст титану може становити 0% або лежати на рівні слідових

кількостей, але перевага віддається вмісту щонайменше 0,21%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, 0,41%, відповідно до варіанта, якому віддається ще більша перевага, 0,61%; мінімальний вміст цирконію може становити 0% або лежати на рівні слідових кількостей, але перевага віддається вмісту щонайменше 0,06%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше 0,11%. Максимальний вміст титану становить 1,49%, але може бути знижений до 1,19% або до 0,99%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, до 0,79% і навіть до 0,7%, тоді як максимальний вміст цирконію становить 2,9%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 0,9%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, 0,49%.

Сталь може факультативно містити до 1,45% ванадію, до 1,45% ніобію, до 1,45% танталу, причому сума $V+Nb/2+Ta/4$ становить менше ніж 1,45%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, менше ніж 0,95% і навіть менше 0,45%. Мінімальний вміст становить 0% або лежить на рівні слідових кількостей, але перевага віддається вмісту щонайменше 0,11%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше 0,21%. Рівень вмісту $V+Nb/2+Ta/4$ впливає на збереження міцності та реакції на відпускання, як вказано у визначенні індексу D.

Ці елементи забезпечують перевагу, що полягає у значному підвищенні стійкості проти розм'якшення за рахунок виділення карбідів типу MC. Перевага серед цих елементів віддається ванадію, який вводять у сталь у кількості від 0,11% до 0,95%. Ніобій, хоч він теж може бути використаний, має ту ваду, що виділяється при вищій температурі, ніж ванадій, тим самим значно погіршуючи ковкість сталі. З цих міркувань присутність ніобію не рекомендується, і в будь-якому випадку бажано, щоб вміст ніобію не перевищував 1%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 0,5%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, 0,05%.

Сталь факультативно містить до 0,095% або навіть до 0,19% сірки з метою покращення оброблюваності; проте у випадках, коли потрібно досягти 1 /високих показників в'язкості, перевага віддається вмісту сірки менше ніж 0,005%. Для досягнення прийнятного впливу на оброблюваність мінімальний вміст сірки має становити 0,011% або відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 0,051%.

Сірку можна цілком або частково замінити подвійною кількістю селену або четверною кількістю телуру; в той самий час перевага зазвичай віддається введенню сірки як найбільш економічної домішки. Проте може бути доцільним посилення сприятливого впливу сірки на оброблюваність шляхом додавання кальцію у кількості до 0,010% з метою сприяння утворенню змішаних сульфідів Mn та Ca, які забезпечують кращі характеристики при обробці різанням. Крім того, сталь може містити до 0,38% селену, до 0,76% телуру та до 0,01% кальцію, за умови, що сума $S+Se/2+Te/4$ не перевищує 0,19%.

Сталь факультативно містить до 0,5% рідкоземельних елементів, які сприяють зародкотворенню карбідів та створенню дрібнозернистої структури, та факультативно до 0,1% бору з міркувань покращення загартованості.

Сталь може містити також до 1% міді. Цей елемент не є бажаним, але може бути внесений з вихідними матеріалами, видалення міді з яких є економічно не вигідним. Однак вміст міді слід обмежувати, оскільки цей елемент негативно впливає на показник ковкості в гарячому стані. З цієї точки зору бажаною є присутність Ni у кількості, щонайменше рівній кількості міді, принаймні у випадках, коли вміст міді перевищує приблизно 0,5%. Відомо, що присутність достатньої кількості нікелю послаблює шкідливий вплив міді.

Аналогічно, сталь може містити алюміній, який, як і кремній, може сприяти розкисненню рідкого металу. Вміст алюмінію може бути на рівні слідових кількостей або, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, становити щонайменше 0,006%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, щонайменше 0,020%. З іншого боку, вміст цього елемента має бути нижчим від 1% із міркувань забезпечення задовільної чистоти; відповідно до варіанта, якому віддається перевага, він не повинен перевищувати 0,100%, відповідно до варіанта, якому віддається більша перевага, його вміст повинен бути нижче за 0,050%.

Решту складу сталі становлять залізо та домішки технологічного походження. Слід зазначити, що, якщо певний елемент не додається умисно у процесі виплавки, його вміст становить 0% або лежить на рівні слідової кількості, тобто, залежно від елемента, відповідає або порогу виявлення методами аналізу, або кількості, що вноситься з вихідними матеріалами, і при цьому не впливає істотно на властивості сталі.

Підвищення твердості, яке досягається при відпусканні цієї сталі, залежить від елементів, розчинених у матриці, наприклад, марганцю, нікелю та кремнію, але передусім від елементів, здатних утворювати карбіди, наприклад, від молібдену, вольфраму, ванадію, ніобію та меншою мірою від хрому, а також від вільного вуглецю у матриці, тобто від вуглецю, не зв'язаного з титаном та з цирконієм. Як вказано вище, вміст вільного вуглецю становить $C^*=C-Ti/4-Zr/8$.

Авторами винаходу встановлено, що підвищення твердості цієї сталі можна оцінити на основі хімічного складу за допомогою формули:

$$D=540(C^{*})^{0,25}+245(Mo+W/2+3V+1,5Nb+0,75Ta)^{0,30}+125\times Cr^{0,20}+15,8\times Mn+7,4\times Ni+18\times Si.$$

D є індекс твердості, який характеризує ступінь твердості, досягнутий в результаті відпускання у стандартних умовах (при 550°C протягом 1 год.). Що вищим є значення D, то вищою є твердість після відпускання при визначеній температурі, або ж то вищою є температура, яка забезпечує досягнення даного рівня твердості.

Крім того, при даному значенні D твердість варіюється залежно від температури та тривалості відпускання, як відомо фахівцям у галузі.

Слід зазначити, що цю формулу можна застосувати як до сталі за цим винаходом або до сталі, яку можна одержати способом за цим винаходом, так і до первісної сталі, до якої застосовують спосіб за цим винаходом. У всіх випадках значення вмісту, які слід враховувати, є ефективними значеннями для сталі, до якої застосовується формула. Отже, якщо формула застосовується до первісної сталі, яка не містить ні вольфраму, ні титану, ні цирконію, то величина C^* замінюється на C , оскільки в даному разі $C^*=C$, а доданок $W/2$ зникає, оскільки він дорівнює нулю.

У загальному випадку, коефіцієнт D лежить у межах від 800 до 1150. У той же час, цей діапазон можна розділити на піддіпазони залежно від рівня твердості, бажаного для користувача, та передбачуваної температури відпускання. Зокрема, значення D може лежати у межах таких інтервалів:

від 800 до 900,
від 901 до 950,
від 951 до 1000,
від 1001 до 1075,
від 1076 до 1150.

У межах цих інтервалів типові значення твердості, які досягаються після відпускання при 550°C протягом 1 год, мають відповідно порядок: 45HRC, 52HRC, 57HRC, 60HRC та 63HRC.

З урахуванням усіх вищезазначених умов, для сталі за цим винаходом можна віддати перевагу нижчезазначеній області складу:

$0,55\% \leq C \leq 1,1\%$;
 $0,21\% \leq Ti \leq 1,19\%$;
Zr: 0% або слідова кількість;
 $0,05\% \leq Si \leq 0,9\%$;
 $Mn \leq 0,9\%$;
 $Ni \leq 0,9\%$;
 $2,1\% \leq Cr \leq 4,9\%$;
 $2,05\% \leq Mo \leq 2,9\%$;
 $0,21\% \leq W \leq 0,79\%$;
 $0,21\% \leq V \leq 0,45\%$;
Nb: 0% або слідова кількість.

У межах цієї області можна виділити підобласті, або групи, які визначаються межами вмісту вуглецю та титану та відповідають випадкам віддання більшої або меншої переваги в'язкості або зносостійкості.

Такі групи охарактеризовано нижче:

Група A:
 $0,85\% \leq C \leq 1,1\%$;
 $0,70\% \leq Ti \leq 1,19\%$.

Група B:
 $0,65\% \leq C \leq 1,1\%$;
 $0,61\% \leq Ti \leq 0,99\%$.

Група C:
 $0,65\% \leq C \leq 0,98\%$;
 $0,41\% \leq Ti \leq 0,79\%$.

Група D:
 $0,51\% \leq C \leq 0,85\%$;
 $0,21\% \leq Ti \leq 0,70\%$.

В межах кожної із цих груп рівень твердості можна регулювати з урахуванням впливу різних легувальних елементів, вказаних у виразі для індексу твердості D .

При даному рівні твердості різні групи у послідовності A, B, C та D розташовані у порядку підвищення рівня в'язкості за рахунок зниження зносостійкості.

Один із варіантів здійснення винаходу, який становить особливий інтерес та відповідає відданню переваги в'язкості, полягає у коригуванні складу сталі з метою одержання таких характеристик:

$W=0,2-0,9\%$ та $(Ti+Zr/2)$ щонайменше 0,35%, однак менше від 0,49%, причому сума $(Mo+W/2+3V+1,5Nb+0,75Ta)$ лежить у межах від мінімального значення 2,5%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 3,0%, до максимального значення 4,5%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 3,5%, причому вміст вільного вуглецю C^* лежить у межах від 0,51% до 1%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, від 0,6% до 0,9%.

Інший варіант здійснення винаходу, який становить особливий інтерес та відповідає відданню переваги зносостійкості, полягає у коригуванні складу сталі з метою одержання таких характеристик: $W=0,2-0,9\%$ та $(Ti+Zr/2)$ щонайменше 0,49%, однак менше від 0,95%, причому сума $(Mo+W/2+3V+1,5Nb+0,75Ta)$ лежить у межах від мінімального значення 2,5%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 3,0%, до максимального значення 4,5%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, 3,5%, причому вміст вільного вуглецю C^* лежить у межах від 0,51% до 1%, відповідно до варіанта, якому віддається перевага, від 0,6% до 0,9%. Згідно з цим винаходом, бажано, щоб титан та цирконій були у формі первинних карбідів, а не у формі нітридів, які можуть утворюватися у рідкій сталі у випадку, коли тимчасові надлишкові концентрації титану та цирконію у рідкій сталі безпосередньо після їх введення є надмірно високими, з урахуванням вмісту розчиненого азоту, який завжди присутній у рідкій сталі.

Крім того, для виготовлення сталі за цим винаходом титан та цирконій можна вводити так, щоб ці елементи слабо реагували з азотом та реагували головним чином із вуглецем. Ця умова виконується шляхом уникнення тимчасових надлишкових концентрацій Ti та Zr у рідкій сталі у процесі додавання Ti та Zr .

Для виготовлення виробу зі сталі за цим винаходом можна діяти, як описано нижче:

- спочатку одержати рідку сталь шляхом сплавлення сукупності елементів у кількостях за цим винаходом, за винятком титану та/або цирконію;

- потім додати у ванну розплавленої сталі титан та цирконій, постійно уникаючи при цьому утворення локальних надлишкових концентрацій титану та/або цирконію у ванні розплавленої сталі.

Після цього виливають сталь, одержуючи напівпродукт, наприклад, зливку або сляб, формують виріб шляхом пластичної деформації при високій температурі та, наприклад, прокатки напівпродукту, а потім піддають одержаний виріб факультативній термічній обробці.

Для введення титану та цирконію у рідку сталь можна застосувати різні способи, зокрема, можна:

- або додавати титан та/або цирконій до шлаку, який покриває ванну рідкої сталі, та забезпечу-

вати можливість повільної дифузії титану та/або цирконію у ванну рідкої сталі;

- або безперервно додавати титан та/або цирконій з використанням дроту, що складається з відповідного елементу (елементів), при безперервному перемішуванні ванни рідкої сталі за допомогою газу або будь-яким іншим придатним для цього способом;

- або додавати титан та/або цирконій шляхом вдування порошку, який містить відповідний елемент (елементи), у ванну рідкої сталі при безперервному перемішуванні ванни за допомогою газу або будь-яким іншим придатним для цього способом.

У межах цього винаходу перевага віддається застосуванню різних варіантів здійснення, описаних у цьому документі. Однак мається на увазі, що можна застосовувати будь-який спосіб, який дозволяє уникнути утворення локальних зон надлишкової концентрації титану та/або цирконію.

Ця конкретна процедура додавання Ti та Zr не є необхідною при виготовленні сталі, описаної в цьому документі, а є факультативною.

Способи термічної обробки, які можна піддати виготовлений виріб, є типовими для інструментальних сталей. Така термічна обробка може необов'язково включати одну або кілька операцій відпалу для спрощення розрізання та обробки, подальшу аустенізацію з подальшим охолодженням у режимі, що відповідає товщині виробу, наприклад, охолодженням у повітрі або у маслі, та подальші факультативні операції відпускання у режимі, що визначається бажаним рівнем твердості виробу.

Описаним способом одержують вироби зі сталі, які мають такі самі експлуатаційні характеристики, як вироби з відомої сталі. Однак у цих ви-

бах сегреговані прошарки значно послаблені у порівнянні з аналогічними прошарками у відомих виробках. Як наслідок, ці вироби легше піддаються обробці або зварюванню та мають вищу в'язкість у порівнянні з відомими виробами.

Як приклад, а також для ілюстрації ефекту синергії між вольфрамом та титаном або цирконієм, можна отримати вироби зі сталей, номінальний склад яких відповідає Таблиці 1. У цій таблиці вказано характеристики хімічного складу, значення індексу твердості D та індексу сегрегації Gs, які характеризують спільну сегрегацію молібдену та вольфраму у сегрегованих прошарках, що можуть спричинити вторинне підвищення твердості та зумовити підвищену твердість та крихкість. З цією метою визначають за допомогою мікросонда вміст молібдену та вольфраму у сегрегованих прошарках (позначається відповідно Mos та Ws) та поза цими прошарками (позначається відповідно Moh та Wh) при маскуванні грубозернистих карбідів титану з метою врахування вмісту молібдену та вольфраму у матриці, окрім кількостей цих елементів, які можуть бути зв'язані у цих грубозернистих карбідах титану та цирконію (які самі по собі можуть містити молібден або вольфрам внаслідок утворення змішаних карбідів (TiZrMoW)C). Таким чином оцінюють частку Mo та W, яка спричиняє підвищену твердість та крихкість, відносно металічної матриці.

Таким чином визначають показник сегрегації Fs MW, зумовленої сумарним вмістом (Mo+W/2), який обчислюється як:

$$Gs\ MW = ((Mos + Ws/2) - (Moh + Wh/2)) / (Moh + Wh/2).$$

Критерій Mo+W/2 використовується, оскільки він характеризує сумарний внесок елементів Mo та W у підвищення твердості як у сегрегованих прошарках, так і поза ними.

Таблиця 1

		C	Ti	Zr	C*	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Mo+W/2	D	GsMW
A ₁	пор.	0,31	0	0	0,31	0,2	0,7	0,4	3	0,75	0	0,10	0	0,75	825	133
a ₂	пор.	0,31	0	0	0,31	0,2	0,7	0,4	3	0,55	0,4	0,10	0	0,75	825	137
a ₃	вин.	0,41	0,40	0	0,31	0,2	0,7	0,4	3	0,55	0,4	0,10	0	0,75	825	106
b ₁	пор.	0,6	0,4	0	0,5	0,5	0,5	0,3	6,5	2,2	0	0,3	0	2,2	999	128
b ₂	пор.	0,75	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	6,5	2,2	0	0,3	0	2,2	999	131
b ₃	вин.	0,75	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	6,5	1,5	1,4	0,3	0	2,2	999	98
c ₁	пор.	0,80	0,25	0	0,74	0,9	0,45	0,25	3,9	2Д	0	0,28	0	2,2	1028	130
c ₂	вин.	0,80	0,25	0	0,74	0,9	0,45	0,25	3,9	1,2	1,8	0,28	0	2,2	1028	121
c ₃	вин.	0,95	0,85	0	0,74	0,9	0,45	0,25	3,9	1,2	1,8	0,28	0	2,2	1028	93
d ₁	пор.	1,25	1	0	1	1	0,5	0,2	5	2,4	0	0,6	0	2,4	1117	127
d ₂	вин.	1,25	1	0	1	1	0,5	0,2	5	2,0	0,8	0,6	0	2,4	1117	107
d ₃	вин.	1,25	1	0	1	1	0,5	0,2	5	1,5	1,8	0,6	0	2,4	1117	91

пор. - порівняльна сталь; вин. - сталь за і винаходом

Приклади a₁, b₁, c₁ та d₁ відповідають порівняльним сталям, тобто сталям, склад яких був вибраний до застосування способу за цим винаходом. Інші приклади відповідають сталям, одержаним із порівняльних сталей способом за цим винаходом, за винятком прикладів a₂ та b₂, у яких умови сто-

совно відносних кількостей вольфраму та титану не задовольнялися.

Сталі за прикладами a₁ a₂ та a₃ мають однако-ву твердість. Сталь a₂ одержана зі сталі a₁ шляхом заміщення 0,20% молібдену 0,40% вольфраму без додавання титану. Було встановлено, що при цьому показник сегрегації істотно не змінюється.

Сталь аз за цим винаходом одержана зі сталі а₁ не тільки шляхом заміщення 0,20% молібдену 0,40% вольфраму, але й доданням 0,40% титану та відповідного коригування вмісту вуглецю. Було встановлено, що показник сегрегації цієї сталі значно знижується у порівнянні із показниками сегрегації у прикладах а₁ та а₂.

Аналогічно, приклади b₁ b₂ та b₃ свідчать, що додання титану та цирконію без додання вольфраму не спричиняє бажаного ефекту (зіставлення b₁ та b₂), тоді як такий ефект має місце у присутності вольфраму, який частково заміщує молібден (зіставлення b₂ та b₃).

Приклади с₁, с₂ та с₃ показують, що збільшення кількості доданого титану при незмінній кількос-

ті доданого вольфраму сприятливо впливає на сегрегації.

Аналогічно, приклади d₁, d₂ та d₃ свідчать, що збільшення вмісту вольфраму спричиняє сприятливий ефект, якщо вміст титану або цирконію є достатнім.

Для ілюстрації впливу відношення (Ti+Zr/2)/W на сегрегацію вольфраму можна також розглянути приклади, що відповідають сталям плавки ПОР (порівняльної), 5, 7, 1, 9, 6, 2, 18, 13, 17 та 3, які відповідають цьому винаходу, за винятком плавки ПОР. Характеристики вмісту основних елементів у цих плавках подано в Таблиці 2; решту складу становлять залізо та домішки технологічного походження.

Таблиця 2

№ плавки	C	Ti	Zr	Si	Mn	Ni	Ск	Mo	W	V	Nb
ПОР	0,82	0	0	0,35	1,15	0,25	5,00	0,90	0,57	0,11	0,00
5	0,37	0,20	0,00	1,00	0,50	0,20	3,00	1,50	0,60	0,20	0,00
7	0,62	0,55	0,21	0,50	0,40	1,20	2,20	1,00	1,50	0,20	0,15
1	0,37	0,35	0,00	1,00	0,50	0,20	3,00	1,50	0,60	0,20	0,00
9	0,75	0,80	0,40	0,50	0,50	0,30	6,50	1,40	1,50	0,30	0,00
6	0,50	0,50	0,00	0,40	0,60	0,20	5,00	1,20	0,60	0,25	0,10
2	0,41	0,42	0,00	0,20	0,70	0,40	3,00	0,40	0,50	0,10	0,00
18	0,95	0,85	0,00	0,90	0,45	0,25	2,10	1,60	0,95	0,28	0,00
13	1,00	1,00	0,00	0,60	0,60	0,20	3,80	1,00	1,00	0,25	0,20
17	1,25	1,00	0,00	1,00	0,50	0,20	5,00	2,40	0,80	0,60	0,00
3	0,55	0,95	0,00	0,25	0,70	0,30	2,50	0,45	0,45	0,10	0,00

У таблиці 3 подано значення суми Ti+Zr/2, вмісту W, відношення (Ti+Zr/2)/W та відношення Ws/W, тобто вмісту вольфраму у сегрегованих прошарках до номінальних значень вмісту вольфраму.

Значення відношення Ws/W показано графічно на рисунку у залежності від значень відношення (Ti+Zr/2)/W.

Таблиця 3

№ плавки	Ti+Zr/2	W	(Ti+Zr/2)/W	Ws/W
ПОР	0	0,57	0	2,7
5	0,2	0,6	0,33	1,95
7	0,66	1,5	0,44	1,55
1	0,35	0,6	0,58	1,73
9	1	1,5	0,67	1,15
6	0,5	0,6	0,83	1,48
2	0,42	0,5	0,84	1,52
18	0,85	0,95	0,89	1,12
13	1	1	1	1,09
17	1	0,8	1,25	0,94
3	0,95	0,45	2,11	0,79

З графіка випливає, що відношення Ws/W стає істотно меншим за 2, як тільки відношення (Ti+Zr/2)/W перевищує 0,2. Видно також, що при збільшенні значення (Ti+Zr/2)/W відношення Ws/W монотонно зменшується, тоді як для порівняльної

плавки, що не містить ні титану, ні цирконію, це відношення становить 2,7.

Винахід ілюстровано також прикладами, що відповідають аналітичним даним Таблиці 4, де вказано також значення Ws/W, яке у всіх випадках не перевищує 1,6 і може досягати навіть 0,67.

Таблиця 4

№ плавки	C	Ti	Zr	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Ws/W
21	0,82	0,41	сліди	0,9	0,6	1,5	2,7	2,2	0,5	0,25	сліди	1,51
22	0,95	0,83	0,2	0,8	0,6	0,2	4,1	2,3	0,3	0,25	сліди	0,67
23	0,94	0,92	сліди	0,7	1,3	0,2	3,2	2,5	0,5	0,4	сліди	0,84
24	0,81	0,42	сліди	0,9	0,8	0,2	4,4	1,4	0,7	0,15	0,20	1,65
25	0,72	0,4	сліди	0,9	0,3	0,2	5,5	1,6	0,5	0,15	сліди	1,52
26	0,79	0,71	0,4	0,9	0,6	0,2	4,4	1,5	0,5	0,15	сліди	0,85
27	1,02	0,38	сліди	0,9	0,9	0,3	2,1	1,5	0,5	0,15	сліди	1,54
28	0,8	0,44	сліди	0,2	0,6	1,4	2,7	2,1	0,5	0,25	сліди	1,42
29	0,95	0,85	сліди	0,3	0,6	0,2	4,0	2,3	0,4	0,20	сліди	0,77
30	0,95	0,88	сліди	0,2	1,4	0,2	3,1	2,6	0,5	0,4	сліди	0,83
31	0,8	0,42	сліди	0,3	0,9	2,1	4,7	1,5	0,7	0,15	сліди	1,57
32	0,7	0,4	сліди	0,3	0,3	1,2	3,5	1,4	0,5	0,15	0,25	1,47
33	0,8	0,9	сліди	0,2	0,4	0,3	3,2	1,5	0,5	0,15	сліди	0,82
34	1	0,44	сліди	0,5	0,4	0,2	4,5	1,2	0,5	0,15	сліди	1,44
35	0,71	0,41	сліди	0,4	1,6	0,2	6,1	1,2	0,5	0,75	сліди	1,46
36	0,91	0,92	сліди	ОД	0,9	0,4	5,7	0,6	0,8	0,65	сліди	1,03
37	1,25	0,95	сліди	0,9	0,6	1,7	4,1	3,1	0,9	0,35	0,35	1,03

Ці приклади посвідчують також вплив вмісту кремнію на теплопровідність сталі і, таким чином, перевагу, яка досягається шляхом обмеження вмісту кремнію відносно низькими значеннями, якщо сталь призначена для виготовлення інструментів, для яких бажаною є висока теплопровідність. Цей ефект ілюструється парами прикладів 21 та 28; 22 та 29; і 23 та 30. Сталі кожної пари прикладів істотно відрізняються одна від одної лише вмістом кремнію. Значення теплопровідності є такими:

Приклад 21: Si=0,9%, теплопровідність 20,6Вт/м/К;

Приклад 28: Si=0,2%, теплопровідність 25,1Вт/м/К;

Приклад 22: Si=0,8%, теплопровідність 21,3Вт/м/К;

Приклад 29: Si=0,3%, теплопровідність 24,4Вт/м/К;

Приклад 23: Si=0,7%, теплопровідність 20,7Вт/м/К;

Приклад 30: Si=0,2%, теплопровідність 23,6Вт/м/К.

Таким чином видно, що зниження вмісту кремнію дозволяє значно підвищити теплопровідність сталі. У поданих вище прикладах це підвищення становить від приблизно 15% до приблизно 25%.

