



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 96359

(13) C2

(51) МПК

C22C 38/04 (2006.01)

C22C 38/20 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) УДАРНО-АБРАЗІВНО-КОРОЗІЙНОСТІЙКА СТАЛЬ

1

2

(21) a201004022

(22) 06.04.2010

(24) 25.10.2011

(46) 25.10.2011, Бюл.№ 20, 2011 р.

(72) ТКАЧЕНКО ФЕДІР КОСТЯНТИНОВИЧ, ЄФРЕМЕНКО ОЛЕКСІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

(73) ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) UA 60543 A, 15.10.2003

UA 20633 U, 15.02.2007

UA 78416 C2, 15.03.2007

UA 85495 C2, 26.01.2009

SU 1497262 A1, 30.07.1989

RU 2082812 C1, 27.06.1997

JP 10121198 A, 12.05.1998

(57) 1. Ударно-абразивно-корозійностійка сталь, яка містить вуглець, кремній, марганець, хром, залізо, додатково містить алюміній при наступному співвідношенні елементів, мас. %:

вуглець	0,90-1,50
кремній	0,40-1,20
марганець	2,10-3,00
алюміній	0,01-0,10
хром	0,81-1,00
залізо	решта.

2. Сталь за п. 1, яка відрізняється тим, що вона додатково містить мідь в кількості 0,30-1,20 мас. %.

Винахід належить до металургії, зокрема до сплавів, які використовують для виготовлення деталей, що експлуатуються в умовах поєднання ударно-абразивного зношування та електрохімічної корозії.

Сировинно-переробна галузь є основою металургійного та машинобудівного виробництва України. Значний обсяг робіт та технологічних витрат на підприємствах по видобутку та збагаченню руд чорних та кольорових металів, на вугледобувних та вуглезбагачувальних підприємствах, при підготовці енергетичного вугілля на ТЕЦ припадає на стадію переробки мінеральної сировини при її доведенні до необхідного ступеня збагачення корисними компонентами. Ці підприємства оснащені великою кількістю механічного обладнання (дробарки, млини, гірничо-прохідні комбайни тощо), робочі органи яких експлуатуються у край важких умовах ударного подрібнення мінералів, що доповнюється руйнуючою дією корозійно-активних компонентів робочого середовища. Це середовище формується за рахунок використання технічної води або водних розчинів для технологічних потреб, або за рахунок високої вологості сировини. Деталі устаткування, які безпосередньо контактують із вологим абразивним матеріалом, в процесі роботи інтенсивно зношуються внаслідок ударно-абразивно-корозійного зношування.

Величина зносу при ударно-абразивно-корозійному зношуванні залежить від опору мате-

ріалу механічному зношуванню (пов'язаному з механічною взаємодією абразиву з поверхнею), його корозійної стійкості, а також величини трибо-корозійного синергетичного ефекту (взаємному посиленню процесів механічного зношування та електрохімічної корозії). Таким чином, підвищення зносостійкості матеріалів можливо шляхом впливу на механічну та корозійну компоненти загального зносу.

Дотепер, на вітчизняних підприємствах найбільш поширеною для виготовлення змінних деталей переробної промисловості є сталь 110Г13Л, яка у відповідності до ГОСТ 2176-77 вміщує, в мас. %:

вуглець	0,9-1,4
кремній	0,8-1,0
марганець	11,5-15,0
сірка	не більше 0,05
фосфор	не більше 0,12
нікель	не більше 1
хром	не більше 1
мідь	не більше 0,3
залізо	решта.

Сталь 110Г13Л має структуру марганцевого аустеніту, яка забезпечує поєднання високої ударної в'язкості із здатністю до деформаційного зміцнення. Це дозволяє використовувати означену сталь за умов значних ударних навантажень, коли

(13) C2

(11) 96359

(19) UA

відливки із сталей інших структурних класів (мартенситного, перлітного, ледебуритного) з аналогічною, або більш високою зносостійкістю крихко руйнуються при експлуатації. Недоліками сталі є її висока вартість, а також невисокий опір електрохімічній корозії, що прискорює зношування за наявності корозійно-активного середовища на робочій поверхні деталі.

Відомо про використання корозійностійких сталей мартенситного та ледебуритного класів (30 × 13, 40 × 13, 90 × 18, Х12Ф, Х12М), корозійностійких білих чавунів (ІЧХ28Н2, ІЧ210 × 30), які завдяки високому опору електрохімічній корозії мають підвищену зносостійкість при абразивно-корозійному та гідро-ерозійному зношуванні. Наприклад, чавун ІЧХ28Н2 широко використовується для виготовлення корпусів та деталей насосів для перекачування нейтральних та слабо-кислих водно-піщаних сумішей, шламів тощо; згідно до ТУ 26-06-1484-87 він вміщує, в мас. %:

вуглець	2,5-3,0
кремній	0,7-1,4
марганець	0,5-0,8
хром	28,0-30,0
нікель	1,5-2,0
сірка	не більше 0,12
фосфор	не більше 0,18
залізо	решта.

В умовах ударно-абразивно-корозійного зношування білі чавуни не мають суттєвих переваг, оскільки при ударах абразивних часток спостерігається розтріскування та викришування евтектичних карбідів, що прискорює процес руйнування поверхні.

Корозійностійкі сталі мартенситного та ледебуритного класу є більш придатними до ударно-абразивно-корозійного зношування, оскільки не мають в своїй структурі значної кількості карбідів. Однак, означені сталі (як і високолеговані чавуни) мають істотний недолік - високу вартість завдяки легуванню значною кількістю хрому. Крім того, їхня зносостійкість різко зменшується в умовах підвищення кислотності розчину, коли падають захисні властивості поверхневих окисних плівок.

Найбільш близькою до винаходу за технічною суттю є сталь ШХ20СГ за ГОСТ 801-78, яка вміщує, в мас. %:

вуглець	0,90-1,00
кремній	0,55-0,85
марганець	1,40-1,70
хром	1,40-1,70
сірка	не більше 0,02
фосфор	не більше 0,02
нікель	не більше 0,30
мідь	не більше 0,25
залізо	решта.

Зазвичай ця сталь використовується як матеріал елементів підшипників, але відомим є застосування молоткових тіл (катаних або штампованих куль), виготовлених з цієї сталі. Вона поступається відомим нержавіючим сталям за корозійною стійкі-

стю, але, завдяки високому опору механічному зношуванню, має підвищений рівень ударно-абразивно-корозійної зносостійкості (за рахунку зменшення величини трибо-корозійного ефекту). Сталь ШХ20СГ вміщує вуглець, марганець та хром - елементи, які знижують точку початку мартенситного перетворення, а тому сприяють отриманню в структурі підвищеної кількості залишкового аустеніту. Загартування сталі ШХ20СГ від 950-1000 °С забезпечує розчинення всіх карбідів і отримання після аустенітно-мартенситної структури, вільної від карбідних включень. Саме така структура забезпечує сталі значний рівень ударно-абразивно-корозійної зносостійкості, за якою вона перевищує сталь 110Г13, низьколеговані сталі мартенситного класу. Сталь ШХ20СГ деякою мірою поступається за зносостійкістю нержавіючим мартенситним сталям, але має більш низьку вартість, що робить її більш економічною для використання.

Як показали результати досліджень, проведених авторами, при зношуванні високо-твердими абразивними частками оптимальним співвідношенням фазових складових у аустенітно-мартенситній сталі є 60-80 % залишкового аустеніту та 20-40 % мартенситу охолодження. Мікроструктура сталі ШХ20СГ не відповідає цьому співвідношенню: кількість залишкового аустеніту становить в ній 30-40 %, що є наслідком незбалансованості концентрацій С, Мп і Сг. Замість аустеніту в структурі ШХ20СГ сталі присутній високовуглецевий мартенсит, який завдяки своїй високій крихкості полегшує руйнування поверхні при ударах абразивних часток. Крім того, при розчиненні цементитних карбідів в сталі виростає досить крупне аустенітне зерно, що додатково окричує сталь. Все це не дозволяє досягти в сталі ШХ20СГ більш високого рівня ударно-абразивно-корозійної зносостійкості.

В основу винаходу поставлена задача розробки нової сталі для використання в умовах ударно-абразивно-корозійного зношування, у якій масове співвідношення компонентів дозволяє підвищити її зносостійкість при зменшенні собівартості виготовлення.

Рішення задачі, що поставлена, досягається тим, що сталь, яка вміщує вуглець, кремній, марганець, хром, залізо, додатково вміщує алюміній при такому співвідношенні елементів, мас. %:

вуглець	0,90-1,50
кремній	0,40-1,20
марганець	2,10-3,00
хром	0,81-1,00
алюміній	0,01-0,10
залізо	решта.

Крім того, сталь може додатково вміщувати 0,30-1,20 % міді.

Головний принцип, що лежить в основі винаходу, полягає у тому, щоб отримати в сталі дрібнозернисту аустенітно-мартенситну структуру (з перевагою аустеніту) без карбідних включень. Поєднання в'язкого аустеніту, здатного до деформаційного мартенситного перетворення, та твердого мартенситу забезпечує високий опір ударно-

абразивному зношуванню. Це досягається за рахунок зниження трибо-корозійного ефекту, що у свою чергу пов'язується зі зменшенням інтенсивності деформування та руйнування поверхневих металевих шарів.

Необхідний мікроструктурний стан забезпечується, головним чином, збільшенням (відносно прототипу) вмісту марганцю. Заявлена комбінація концентрацій вуглецю (0,9-1,50 %), марганцю (2,10-3,00 %) та хрому (0,81-1,00) забезпечує отримання в структурі після загартування 60-80 % залишкового аустеніту. При зменшенні кількості С, Mn та Cr нижче заявленої межі в структурі сталі різко збільшиться кількість у загартування, що призведе до зниження зносостійкості. Якщо вміст С, Mn, Cr перевищить верхню заявлену межу, в структура сталі буде переважно аустенітною, крім того, можуть з'явитися важкорозчинні первинні карбіди, що також негативно вплине на зносостійкість.

При введенні 0,40-1,20 % кремнію цей елемент запобігатиме утворенню (при охолодженні після гарячої пластичної деформації) карбідної сітки по границях аустенітних зерен, що підвищить опір ударному руйнуванню поверхні в контакт з абразивними частками, що, таки чином, збільшить зносостійкість сталі. При меншій кількості кремнію така сітка буде утворюватися; оскільки усунути її за рахунок попередньої термічної обробки за звичай дуже важко, її наявність знизить ударну в'язкість сталі. При вмісті кремнію більше 1,2 % можливим є утворення графітних включень, що знизить зносостійкість сталі.

Введення у склад сталі 0,01-0,10 % алюмінію передбачає отримання дрібнозернистої структури, що підвищує зносостійкість. Нітриди алюмінію запобігатимуть росту зерна, оскільки температура їх розчинення перевищує температуру розчинення цементитних карбідів. При кількості алюмінію, меншій за 0,01 %, не забезпечується отримання дрі-

бнозернистої структури, а при його кількості вище 0,10 % зносостійкість знижується за рахунок окричування сталі у зв'язку із різким зростанням кількості нітридних фаз.

Для додаткового підвищення ударно-абразивно-корозійної стійкості сталі до її складу може бути додана мідь в кількості 0,30-1,20 %, яка підвищує корозійну стійкість сталі. При меншому вмісті міді корозійна стійкість практично не змінюється, і ефект зростання зносостійкості не спостерігається. Якщо вміст міді становитиме більше 1,20 %, можливим є утворення графітних включень та зниження ударної в'язкості сталі.

Сталь виплавляли в індукційній лабораторній пічці та розливали у піщано-глинисті форми. Отримані виливки піддавали куванню, після чого проводили відпал для поліпшення оброблюваності різанням.

Перед випробуванням зразки сталей загартовували 1000 °C в маслі від та відпускали при 200 °C (2 год.). Хімічний склад досліджених сталей наведено у таблиці 1.

Зносостійкість визначали випробуваннями у лабораторному млині. Як абразив використовували карбід кремнію. Разом із абразивом до млину дистильовану воду (pH=7) та водний розчин H₂SO₄ (pH=1). Після випробування визначали питомий знос (відношення втрати маси до площі поверхні зразків). Коефіцієнт зносостійкості розраховували відношенням питомого зносу зразку до зносу відомої сталі.

Зносостійкість сталей порівнювали зі зносостійкістю відомих сталей 110Г13 та 40 × 13. Зразки загартовували з 1050 °C (сталь 110Г13 - в воді, сталі 40 × 13 - в маслі). Після загартування зразки сталей 40 × 13 відпускали при 200 °C. Відносну вартість сталей розраховували стосовно вартості відомої сталі.

Властивості досліджених сталей наведено у таблицях 2, 3.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджених сталей

№ складу	Вміст, мас. %						
	C	Si	Mn	Cr	Al	інші	Fe
1	0,94	0,45	2,15	0,81	0,012	-	решта
2	1,25	0,75	2,50	0,90	0,03	-	"
3	1,45	1,18	2,75	0,97	0,08	-	"
4	0,85	0,30	1,85	0,72	0,005	-	"
5	1,64	1,33	3,31	1,18	0,13	-	"
Відомий	0,95	0,66	1,63	1,55	-	-	"
Сталь 110Г13	1,08	0,54	13,45	-	-	-	"
Сталь 40 × 13	0,38	0,21	0,45	13,55	-	-	"
Сталь Х12Ф	1,25	0,28	0,55	11,98	-	0,22 V	"

Таблиця 2

Хімічний склад сталей з додатковим введенням

№ складу	Вміст, мас. %						
	C	Si	Mn	Cr	Al	Cu	Fe
6	1,28	0,71	2,60	0,85	0,019	0,31	решта
7	1,29	0,73	2,61	0,89	0,025	0,75	"
8	1,30	0,75	2,61	0,88	0,022	1,14	"
9	1,32	0,77	2,59	0,86	0,029	0,20	"
10	1,29	0,74	2,64	0,89	0,027	1,29	"

Таблиця 3

Властивості куль із досліджених сталей

№ складу сталі	Коефіцієнт зносостійкості при випробуваннях у розчині:		Відносна вартість
	pH=7	pH=1	
1	1,34	1,22	0,91
2	1,39	1,24	0,94
3	1,37	1,22	0,97
4	1,18	1,13	0,90
5	1,14	1,10	1,04
6	1,51	1,36	1,02
7	1,53	1,35	1,05
8	1,52	1,33	1,10
9	1,35	1,20	0,98
10	1,25	1,11	1,14
Відомий	1,00	1,00	1,00
110Г13	0,79	0,85	1,21
40×13	1,65	1,07	1,63

Дані, наведені у табл. 2, показують, що оптимальне поєднання властивостей забезпечують сталі № 1, 2, 3 та 6, 7, 8: при зношуванні карбідом кремнію зносостійкість підвищено на 34-53 % при випробуваннях у розчині з pH=7 та на 22-36 % - з pH=1. При вмісті легуючих елементів, який виходить за заявлені межі, зносостійкість знижується.

При випробуваннях у нейтральному середовищі (pH=7) сталь заявленого складу поступається на 8-22 % за зносостійкістю відомій корозійно-стійкій сталі 40 × 13, але є на 55-70 % більш дешевою за неї і, таким чином, є більш економічною для використання. При випробуваннях в сильноокислому середовищі (pH=1) заявлена сталь переважає за зносостійкістю сталь 40×13.