



УКРАЇНА

(19) UA (11) 82632 (13) C2
(51) МПК (2006)
C21D 8/00
C21D 9/36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕВИХ МОЛОЛЬНИХ КУЛЬ

1

(21) а200705311

(22) 15.05.2007

(24) 25.04.2008

(46) 25.04.2008, Бюл. № 8, 2008 р.

(72) ЄФРЕМЕНКО ВАСИЛЬ ГЕОРГІЙОВИЧ, UA,
ТКАЧЕНКО ФЕДІР КОСТЯНТИНОВИЧ, UA, ЄФ-
РЕМЕНКО ОЛЕКСІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, UA(73) ЄФРЕМЕНКО ВАСИЛЬ ГЕОРГІЙОВИЧ, UA,
ТКАЧЕНКО ФЕДІР КОСТЯНТИНОВИЧ, UA, ЄФ-
РЕМЕНКО ОЛЕКСІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ПРИ-
АЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕР-
СИТЕТ, UA

(56) UA, 34291, C2, 15.02.2001

SU, 1222688, A, 07.04.1986

RU, 2113513, C1, 20.06.1998

CN, 1158362, 03.09.1997

US, 2844500, 22.07.1958

Клименко А. Н., Кострыкин В. Л., Сичевой А. П. и
др. Разработка и освоение новой технологии за-

2

калки мелющих шаров с прокатного нагрева //
Сталь. - 1985. - №11. - С. 71 - 72Гринь В. А., Башкатова Ж. В., Гаврилец В. А. и др.
Исследование технологии термической обработки
и качества стальных катаных мелющих шаров
диаметром 60 и 80 мм // Металлургическая и
горнорудная промышленность. - 1988. - №3. - С.
24 - 26(57) Спосіб термічного зміцнення сталевих моло-
льних куль, що включає підстужування куль після
прокатки на спокійному повітрі, загартування і са-
мовідпуск, який **відрізняється** тим, що загарту-
вання проводять до одержання початкової темпе-
ратури самовідпуску, яка перевищує на 50-80 °С
точку мартенситного перетворення, і при цій тем-
пературі починають самовідпуск, який здійснюють
протягом не менше 50 годин зі швидкістю охоло-
дження не більше 3 °С/год.

Винахід відноситься до металургійного вироб-
ництва, зокрема, до термічної обробки сталевих
куль, що використовуються для помелу різномані-
тних матеріалів.

Сталеві кулі в основному роблять або прокат-
кою, або штампуванням і термозміцнюють із про-
катного (штампувального) нагріву. Термозміцнен-
ня забезпечує підвищення твердості й
експлуатаційної довговічності куль.

Відомий спосіб термозміцнення сталевих куль,
що включає нагрівання під прокатку, деформацію,
загартування з температури кінця прокатки в при-
строї конвеєрного типу, розташованому за прокат-
ної кліткою і самовідпуск в накопичувальних бунке-
рах [1].

Цей спосіб має істотний недолік: кулі гарту-
ються з температури кінця прокатки (900-1100°C),
що створює підвищені напруження в кулях. Крім того,
кулі виходять із прокатної клітки з нерівномірною
температурою по поверхні, що є особливістю про-
катки в гвинтових калібрах. При зазначеному спо-
собі обробки температура не встигає вирівнятися
по поверхні куль, що додатково підвищує рівень
тимчасових і залишкових напружень, які призводять до
розколювання куль у млинах. Для зняття напру-

приходиться завищувати температуру самовідпус-
ку до 550-600°C, що не дозволяє одержувати тве-
рдість у виробках понад 380НВ.

Найбільш близьким до пропонованого є спо-
сіб, описаний у [2]. Згідно цього способу, кулі після
прокатки підстужуються на спокійному повітрі до
температури не нижче точки A_{g3} , надходять у гар-
тівний пристрій барабанного типу із внутрішньою
шнековою доріжкою, де охолоджуються водою
протягом заданого часу. Після видачі з гартівного
пристрою кулі проходять самовідпуск в накопичу-
вальних бункерах. В залежності від вмісту вуглецю
початкова температура самовідпуску (тобто тем-
пература куль в момент її вирівнювання між "холо-
дною" поверхнею і "гарячим" центром) коливаєть-
ся в межах 100-350°C. Тривалість та середня
швидкість охолодження куль на стадії самовідпус-
ку у цьому способі не регламентуються.

Підстужування куль, а також інтенсивне пере-
мішування води при обертанні барабану створюю-
ть умови для істотного зниження гартівних на-
пружень у кулях. Це дозволяє зменшити початкову
температуру самовідпуску відносно попереднього
способу і, таким чином, отримати більш високу
твердість при збереженні низького рівня напружень та

(13) C2

(11) 82632

(19) UA

задовільного опору розколу при експлуатації в млині.

Разом з тим, цей спосіб (у якому початкова температура самовідпуску може змінюватися в широких межах, а регламентація режиму самовідпуску є відсутньою) можна використовувати тільки для куль зі сталі з невеликою прогартованістю, коли кулі гартуються на мартенсит лише на певну глибину, а в центральних шарах формується структура евтектоїдного типу. Такі кулі мають обмежену експлуатаційну стійкість, яка визначається тривалістю стирання поверхневого твердого шару, після чого знос куль різко прискорюється. Для одержання куль підвищеної стійкості необхідно забезпечувати наскрізне загартування на мартенситну чи мартенситобейнітну структуру. З цією метою необхідно використовувати більш леговану сталь з підвищеним рівнем прогартованості. Однак, якщо при термозміцненні початкова температура самовідпуску близька або є нижчою відносно точки M_n (яка в сталях із 0,65-0,8% С становить $230-250^{\circ}\text{C}$), то кулі із наскрізним загартуванням розтріскуються після завершення самовідпуску. Це пов'язано з несприятливою динамікою зміни напруженого стану по перетині кулі: аустеніт центральної зони, переохолоджений до мартенситної точки, у зв'язку з його підвищеною стійкістю проходить фазове перетворення лише в самому кінці самовідпуску - при витягненні куль з бункера на відкрите повітря. У результаті в центрі кулі утворюється невідпущений мартенсит, що створює високі залишкові напруги розтягнення на поверхні і викликає розтріскування виробу. Кількість тріщин у кулях зростає у випадку прискорення охолодження куль при самовідпуску або при ранньому їхньому витягненні з бункера на відкрите повітря. Виникнення тріщин у кулях можна уникнути, якщо початкова температура самовідпуску буде значно підвищена. Це призведе до зниження твердості, однак не гарантує повної відсутності тріщин, якщо не буде регламентовано режим самовідпуску (тобто його тривалість і швидкість охолодження). Оскільки в описаній вище технології термозміцнення така регламентація відсутня, то цей спосіб не дозволяє стабільно отримувати молотні кулі з однаково високою твердістю по всьому перетині без гартівних тріщин.

В основі винаходу лежить задача розробки способу термозміцнення молотних куль, у якому зміна режимів технологічних операцій забезпечить однаково високу твердість по перетину куль при відсутності в них гартівних тріщин.

Для рішення поставленої задачі в способі термічного зміцнення молотних куль, який передбачає підстикування куль після прокатки на спокійному повітрі, загартування і самовідпуск, відповідно до винаходу, тривалість загартування встановлюють до одержання початкової температури самовідпуску, що перевищує на $50-80^{\circ}\text{C}$ точку мартенситного перетворення, і при цій температурі починають самовідпуск, який здійснюють протягом не менш 50 годин зі швидкістю охолодження не більш $3^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

У тому випадку, коли початкова температура самовідпуску перевищує на $50...80^{\circ}\text{C}$ точку почат-

ку мартенситного перетворення сталі, розпад переохолодженого аустеніту по всьому перетину кулі відбувається в нижній області бейнітного перетворення. У результаті практично по всьому перетину кулі формується структура нижнього бейніта, що має високий комплексом механічних властивостей і досить високу твердість в межах 520-550HB. Одночасність протікання перетворення в різних місцях кулі, а також менший (стосовно мартенситу) питомий об'єм нижнього бейніту забезпечують сприятливе розподілення залишкових напруг і відсутність гартівних тріщин. Якщо початкова температура самовідпуску буде менше, ніж $(M_n + 50^{\circ}\text{C})$, то бейнітне перетворення буде сильно гальмуватися, і в структурі збережеться значна частина не перетвореного аустеніту, який перетвориться в мартенсит при остаточному остиганні куль після їхнього витягнення з бункера. Результатом такої обробки виявиться розтріскування куль. У тому випадку, коли початкова температура самовідпуску перевищить температуру, рівну $(M_n + 80^{\circ}\text{C})$, то розпад аустеніту буде відбуватися з утворенням бейніту, у якому α -фаза збіднена вуглецем, чи навіть з утворенням верхнього бейніту. Це призведе до зниження твердості куль до 400-470HB, що несприятливо позначиться на їхній експлуатаційній довговічності.

Самовідпуск протягом не менш 50 годин при середній швидкості охолодження не вище $3^{\circ}\text{C}/\text{год}$ гарантує завершення розпаду аустеніту в області нижнього бейніту і зняття виникаючих у процесі обробки напруг. Якщо тривалість самовідпуску складе менш 50 год. і (чи) середня швидкість охолодження виявиться вище $3^{\circ}\text{C}/\text{год}$, то це викликає розтріскування куль через часткове перетворення аустеніту за мартенситним механізмом і внаслідок недостатньо повного зняття гартівних напруг. Збільшення тривалості самовідпуску понад 50 год. недоцільно, оскільки це не дасть додаткового зниження напруг, а зайняті кулями бункери будуть виведені із технологічного процесу.

Перевірку пропонованого способу проводили в умовах ВАТ "МК "Азовсталь" при виготовленні партії куль $\varnothing 80\text{мм}$. Сталь виплавляли в 440-тонній мартенівській печі. Сталь мала такий хімічний склад: 0,75% С; 0,28% Si; 0,95% Mn; 0,55% Cr. Температура M_n цієї сталі складає 220°C , тобто початкова температура самовідпуску повинна бути в межах $270-300^{\circ}\text{C}$. Після прокатки кулі підстикували в ковшовому конвеєрі на спокійному повітрі, загартовували в установці барабанного типу і збирали в утеплених коробах. Короби розміщували в накопичувальних бункерах, які до того були наповнені іншими кулями. Швидкість охолодження експериментальних куль на стадії самовідпуску варіювали зміною рівня завантаження бункерів кулями та використанням на бункерах футерованих кришок. Після завершення обробки кулі піддавали зовнішньому огляду, з них виготовляли темплети, на яких заміряли розподіл твердості по перетину. Режимі обробки і результати випробувань наведено в таблиці.

Таблиця

Режими термозміцнення куль і результати дослідження їхньої якості

№ режиму	Початкова температура самовідпуску, °С	Параметри самовідпуску		Твердість (НВ) на глибині			Наявність гартівних тріщин
		тривалість, год	середня швидкість охолодження °С/год.	5мм	20мм	у центрі	
1	270	55	2,0	560	555	555	немає
2	300	58	1,8	534	524	514	немає
3	285	51	2,9	555	555	534	немає
4	245	42	6,5	578	601	614	є
5	330	39	7,8	475	465	460	є
Відомий	220	24	10,5	601	614	628	є

Результати досліджень показують, що коли параметри термозміцнення знаходяться в межах, що заявляються, то кулі мають однаково високу твердість (понад 500НВ) по всьому перетину без гартівних тріщин, що гарантує їм добру експлуатаційну стійкість в умовах помелу. Якщо зазначені вище параметри порушуються, то це призводить або до істотного зниження твердості, або до розтріскування куль по завершенні самовідпуску. І втім, і в іншому випадку кулі будуть характеризуватися низькою експлуатаційною довговічністю, що неприпустимо з огляду ефективності переробного виробництва.

Джерела, прийняті в увагу при складанні заявки:

1. Исследование технологии термической обработки и качества стальных мелющих шаров диаметром 60 и 80мм / В.А.Гринь, Ж.В.Башкатова, М.Г.Гаврилец и др. // Металлургическая и горно-рудная промышленность. -1988. - №3. - С.24-25.

2. Разработка и освоение новой технологии заковки мелющих шаров с прокатного нагрева / А.Н.Клименко, В.Л.Кострыкин, А.П.Сичевой и др. // Сталь - 1985. - №11. - С.71-72.