

medium with hydrogen electrode. It was found that the microwave irradiation for half an hour increases the speed of oncoming transmembrane ion transfer in 1.22 times. This is the effect of the microwaves' reduction of the "effective" thickness of the membrane boundary diffusion water layer. The "effective" thickness is reduced due to the "loosen" action of air bubbles, which are localized in the membrane boundary water layer. The speed of the air bubble in the gravitational field and in the temperature gradient field depends on the radius (it increases with the increase of radius). The microwave irradiation promotes the increase of bubbles' size. This fact makes bubbles move more actively, strengthening the process of mixing of membrane boundary water layer. The result is a "loosening" of the layer, which leads to the reduction of the "effective" thickness. The process of ion transfer through the thinner layer of water runs faster, which was registered experimentally.

Keywords: microwaves, red blood cells (erythrocytes), membrane boundary water layer

УДК 669.15:669.14.256

ПІДВИЩЕННЯ АБРАЗИВНОЇ Й УДАРНО-АБРАЗИВНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ 110Г13Л ЗА РАХУНОК ОТРИМАННЯ МЕТАСТАБІЛЬНОГО АУСТЕНІТУ

В роботі показана ефективність застосування диференційного підходу до вибору режимів термічної обробки сталі 110Г13Л, що дозволяють значно підвищити її зносостійкість в різних умовах абразивної дії за рахунок отримання метастабільного аустеніту

Ключові слова: аустеніт, термообробка, мартенсит деформації

В работе показана эффективность применения дифференцированного подхода к выбору режимов термической обработки стали 110Г13Л, позволяющих значительно повысить ее износостойкость в различных условиях абразивного воздействия за счет получения метастабильного аустенита

Ключевые слова: аустенит, термообработка, мартенсит деформации

Л.С. Малінов

Доктор технічних наук, професор, завідувач*
Контактний тел.: (0629) 44-66-58

Н.А. Солідор

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: (0629) 44-61-69,
e-mail: solidor@rambler.ru

В.О. Мілентьєв

Здобувач*

Заступник начальника ЦДР ПАТ «ММК ім. Ілліча»,
пр. Ілліча, 57, м. Маріуполь, Донецька обл., Україна, 87500
Контактний тел.: 096-884-32-71

*Кафедра «Матеріалознавство»

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,
вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Донецька обл., Україна, 87500

1. Вступ

До теперішнього часу однією з найпоширеніших зносостійких сталей, що використовуються в промисловості, є сталь Гадфільда 110Г13Л. Переваги цієї сталі в тому, що вона володіє високим опором розриву й удару, а головне – великим опором зношуванню в умовах одночасної дії стираючих і ударних навантажень, що обумовлене низькою енергією дефектів пакування (ЕДП), процесами двійникування та динамічного старіння аустеніту. Проте при експлуатації в умовах зношування без ударних навантажень зносостійкість високомарганцевої сталі невисока.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомі роботи [1-2], в яких з метою підвищення якості відливок та зносостійкості автори рекомендують вводити до складу сталі 110Г13Л додаткові елементи (V, Ti, Nb, Zr та ін.), що збільшує її вартість.

Широкі можливості у підвищенні зносостійкості високомарганцевої сталі без коректування її хімічного складу відкриває термічна обробка. Між тим, запропоновані в роботах [3-4] режими термообробки сталі 110Г13Л, незважаючи на збереження відносно високого рівня ударної в'язкості, не дозволяють значно підвищити її абразивну зносостійкість, у зв'язку з чим

не знайшли широкого застосування на підприємствах України та країн СНД.

На основі літературних даних встановлено, що існує недостатня кількість даних про вплив режимів термообробки на зносостійкість сталі Гадфільда в різних умовах абразивної дії. Ця стаття спрямована на заповнення даного пробілу.

3. Мета і завдання дослідження

У зв'язку з вищевикладеним, в даній роботі представляється цікавим дослідження впливу нестандартних режимів термообробки, які приведуть до підвищення абразивної й ударно-абразивної зносостійкості сталі 110Г13Л за рахунок отримання в структурі метастабільного аустеніту, що здатен до динамічного деформаційного мартенситного перетворення (ДДМП) в процесі експлуатації.

В роботі представлені результати дослідження мікроструктури, абразивної й ударно-абразивної зносостійкості високомарганцевої сталі в залежності від режимів термічної обробки. Хімічний склад сталі 110Г13Л (у масових долях): 0,9-1,4 % С, 11,5-15 % Мп, 0,3-1,0 % Si, $\leq 0,3$ % Cu, $\leq 1,0$ % Ni, $\leq 0,05$ % S, $\leq 0,12$ % P.

В дослідженнях використовувалися дюрOMETричний та металографічний методи. Випробування на абразивне зношування здійснювалося на установці, типу Брінелля-Хаурта. Абразивом служив кварцовий пісок з розміром частинок $\varnothing 0,8-1,0$ мм. Ударно-абразивне зношування здійснювалося при зіткненні зразків, що закріплені на диску, який обертається, з чавунним дробом $\varnothing 0,8$ мм. Швидкість обертання валу складала 1350 об/хвил. В якості еталону служила сталь 110Г13Л після стандартної термічної обробки.

4. Експериментальні дані та їх обробка

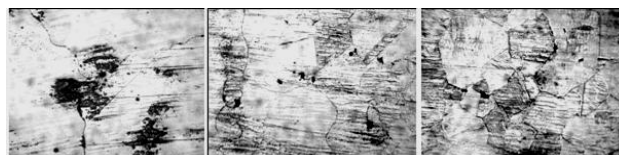
Досліджували вплив температури нагріву під гартування від 850 до 1050 °С на мікроструктуру, твердість і зносостійкість високомарганцевої сталі (зразки розміром 10×10×25 мм).

Вивчення впливу термообробки на структуру сталі показало, що після гартування від 850 °С структура 110Г13Л представляє собою аустеніт з карбідами. Подальше підвищення температури нагріву під гартування до 950 °С приводить до збільшення ступеня розчинення карбідів в твердому розчині. Після гартування з 1050 °С спостерігається чисто аустенітна структура без карбідів. Вплив температури нагріву під гартування на мікроструктуру сталі 110Г13Л представлено на рис.1.

Підвищення температури нагріву під гартування від 850 до 1050 °С сталі Гадфільда призводить до зниження її твердості за рахунок зменшення частки карбідів внаслідок їх розчинення в аустеніті. Максимум твердості спостерігається при температурі нагріву під гартування 850 °С і складає 265 НВ, а мінімум при 1050 °С – 185 НВ. Вплив нагріву під гартування на твердість і зносостійкість сталі 110Г13Л показано на рис. 2.

Встановлено, що істотно меншу втрату маси в процесі абразивного зношування мають зразки, які загартовані від 850 і 950 °С ($\epsilon=1,53$ та $\epsilon=1,37$ відповідно). Така залежність пояснюється тим, що при підвищенні

температури нагріву під гартування відбувається більш повне розчинення карбідів і, як наслідок, підвищується стабільність аустеніту до структурно-фазових перетворень при навантаженні. Так, найсильніше під дією абразиву зношується сталь, що загартована від 1050 °С, відносна зносостійкість якої складає 1 (еталон).



а б в

Рис. 1. Мікроструктура сталі 110Г13Л після гартування від різних температур, $\times 550$: а – від 850 °С; б – від 950 °С; у – від 1050 °С

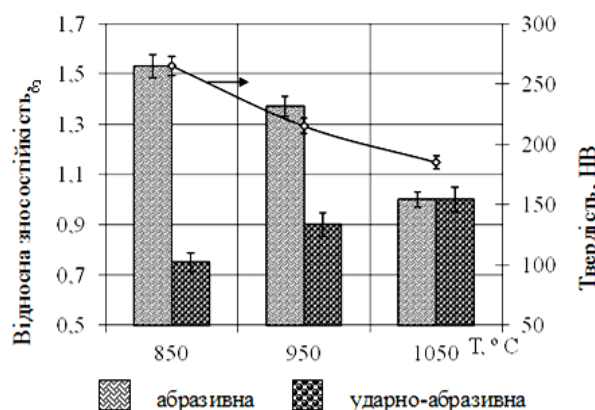


Рис. 2. Залежність твердості, відносної абразивної й ударно-абразивної зносостійкості сталі 110Г13Л від температури нагріву під гартування

При випробуваннях на ударно-абразивне зношування спостерігається протилежна залежність. Підвищення температури нагріву під гартування збільшує відносну ударно-абразивну зносостійкість сталі 110Г13Л. Так, при гартуванні від 850 °С відносна зносостійкість рівна 0,75, при гартуванні з 950 °С - 0,9, при 1050 °С - 1 (рис. 2). Низькі значення зносостійкості після гартування від температур 850-950 °С обумовлені тим, що в структурі сталі присутня значна кількість карбідної фази типу $(Fe, Mn)_3C$, навколо якої в мікрооб'ємах присутній аустеніт, збіднений вуглецем і марганцем, який не володіє великою здібністю до акомодатії енергії мікроударів в порівнянні зі стабільним аустенітом. Крім того, наявність в сталі Гадфільда неоднорідних за формою і розподілом включень карбідів істотно знижує не тільки ударно-абразивну зносостійкість, але і міцність, пластичність та в'язкість.

В роботі досліджено вплив температури старіння на мікроструктуру сталі 110Г13Л, оскільки відомо, що за допомогою варіювання температури та часу старіння, можна ефективно змінювати розмір, щільність і розподіл карбідних часток та, відповідно, змінювати співвідношення хімічного і структурного факторів,

які визначають ступінь стабільності аустеніту по відношенню до ДДМП.

Зразки сталі 110Г13Л піддавалися старінню протягом п'яти годин в інтервалі температур 400-700 °С з кроком у 50 °С з наступним охолодженням на спокійному повітрі. Перед старінням усі зразки були загартовані від 1050 °С у воді для отримання однорідної аустенітної структури.

Згідно з отриманими даними, після старіння при 400-450 °С в структурі високомарганцевої сталі не спостерігається яких-небудь змін в порівнянні з загартованим станом (рис. 3, а). Підвищення температури до 550-600 °С зумовлює частковий розклад аустеніту з утворенням ферито-карбідної суміші типу тростит (рис. 3, б і в), кількість якої максимальна при 600 °С, що супроводжується підвищенням твердості зразків до 290-300 НВ. Після старіння при 650 карбіді виділяються переважно в місцях найбільшої дефектності – по межах зерен аустеніту, утворюючи ланцюжки (рис. 3, г). Після старіння сталі 110Г13Л при 700 °С кількість карбідної фази суттєво зменшується, оскільки процеси розчинення карбідів домінують над процесами виділення (рис. 3, д).

Вплив температури старіння на твердість і відносну абразивну зносостійкість сталі 110Г13Л представлено на рис. 4.

В процесі досліджень встановлені температури старіння, при яких найбільш інтенсивно протікає розклад аустеніту з утворенням ферито-карбідної суміші, а саме – 550-600 °С.

Наступним кроком дослідження було визначення впливу східчастого нагріву на твердість та зносостійкість сталі Гадфільда. Попередньо всі зразки було загартовано від 1050 °С (t=30 хвил.). Режим термічної обробки включав в себе нагрів до температури 550 °С з витримкою протягом трьох годин з наступним нагрівом до температур 850, 950 та 1050 °С (30 хвил.) та гартуванням у воді. В результаті старіння при 550 °С аустеніт частково розкладається з утворенням ферито-карбідної суміші та при наступному нагріві під гартування відбувається подрібнення зерен [5].

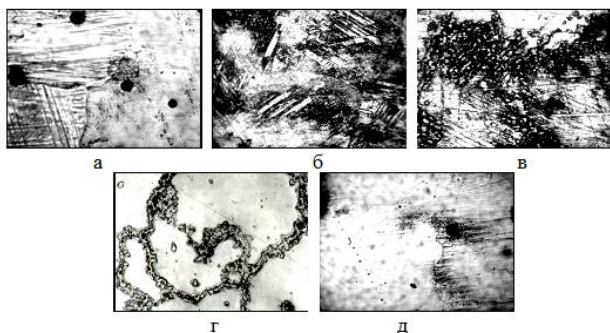


Рис. 3. Мікроструктура сталі 110Г13Л після гартування від 1050 °С і старіння від різних температур, × 550: а – 400 °С; б – 550 °С; в – 600 °С; г – 650 °С; д – 700 °С

Встановлено, що максимальним значенням твердості та абразивної зносостійкості характеризується структура, яка отримана в сталі в результаті східчастого нагріву після гартування від температури 850 °С (табл. 1). Це обумовлено отри-

манням в структурі значної кількості карбідної фази та збідненого вуглецем і марганцем аустеніту, що здатен до динамічного деформаційного мартенситного перетворення (ДДМП) на мартенсит деформації в процесі випробувань. Слід зазначити, що на розвиток деформаційного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -перетворення витрачається значна частина енергії зовнішньої дії і, відповідно, менша її частка йде на руйнування матеріалу. Крім того, в процесі мартенситоутворення при навантаженні відбувається не тільки зміцнення, але і релаксація мікронапружень, внаслідок чого підвищується пружатність мікрооб'ємів сплаву [5].

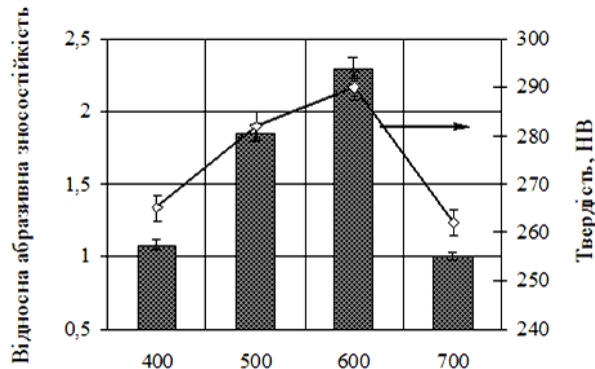


Рис. 4. Вплив температури старіння на твердість та абразивну зносостійкість сталі 110Г13Л

Таблиця 1

Вплив режимів східчастого гартування та твердість та зносостійкість сталі 110Г13Л

Режим термічної обробки	Твердість, НВ	Відносна зносостійкість	
		абразивна	ударно-абразивна
Нагрів до 550 °С (5 год.) +850 °С (30 хвил.), вода	272	2,60	0,90
Нагрів до 550 °С (5 год.) +950 °С (30 хвил.), вода	260	1,62	1,10
Нагрів до 550 °С (5 год.) +1050 °С (30 хвил.), вода	240	1,10	1,43

З підвищенням температури східчастого нагріву до 1050 °С твердість та абразивна зносостійкість знижуються, а ударно-абразивна, навпроти, знижується внаслідок розчинення карбідів в аустеніті і стабілізацією останнього. Підвищення ударно-абразивної зносостійкості також може бути пов'язано з отриманням дрібнозернистої структури.

5. Висновки

1. Встановлено, що підвищення температури нагріву під гартування призводить до зниження абразивної і підвищення ударно-абразивної зносостійкості сталі 110Г13Л, що пов'язане з розчиненням карбідів в аустенітній матриці і стабілізацією останнього. Температура нагріву під гартування сталі 110Г13Л по-

винна вибиратися диференційно залежно від умов експлуатації.

2. Найбільш інтенсивно протікає розклад аустеніту з утворенням ферито-карбідної суміші при температурах 550-600 °С.

3. Як показують отримані дані, східчастий нагрів та подальше гартування сталі 110Г13Л від різних температур може приводити як до стабілізації аустеніту, так і до його дестабілізації. Змінюючи параметри

східчастого гартування, можна управляти ступенем стабільності аустеніту по відношенню до динамічного деформаційного мартенситного перетворення стосовно конкретних умов абразивної дії.

4. Результати досліджень можуть бути застосовані для підвищення довговічності деталей з високомарганцевих сталей, що швидко зношуються, на металургійних підприємствах Групи Метінвест.

Література

1. Новомейский, Ю.Д. Свойства и применение комплекснолегированных высокомарганцевистых сталей [Текст] / Ю.Д. Новомейский, Ю.А. Евтюшкин, В.И. Лившиц. – М. : НИИинформтяжмаш, 1970. – 68 с.
2. Зимокос, Г.Н. Влияние химического состава на свойства высокомарганцевой стали в отливках броней конусных дробилок [Текст] / Г.Н. Зимокос, Л.А. Адаменко, Л.Х. Иванова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. - № 4. – С. 39-42.
3. Парфенов, Л.И. Влияние термообработки на распределение механических свойств по сечению отливок из стали Г13Л [Текст] / Л.И. Парфенов, Г.А. Сорокин, О.Г. Таранов // Литейное производство. – 1969. – № 3. – С. 32–33.
4. Кондратюк, С.Е. Определение режима термической обработки стали 110Г13Л для повышения абразивной износостойкости [Текст] / С.Е. Кондратюк, Г.Г. Луценко // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1985. – № 8. – С. 54–56.
5. Малинов, Л.С. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии [Текст] / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Х. : ННЦ ХФТИ, 2007. – 352 с.

Abstract

Despite the large amount of data in the literature concerning the effect of heat treatment modes on the properties of steel 110G13L, little attention has been paid to the differentiation of their choice taking into account the specific conditions of wear-and-tear. In this connection, the topical problem is the increasing of wear resistance of high-manganese steel 110G13L in different conditions of abrasive effect for the account of the metastable state and implementation of dynamic deformative martensite transformation during the operation, which will improve the operational resistance of parts and reduce the cost of repairs. On the basis of these studies the necessity of a differentiated approach to the selection of the heat treatment of Hadfield steel, depending on the conditions of wear-and-tear is justified. The research results can be used to increase the durability of high-wear details from high-manganese steels at metallurgical enterprises of Metinvest Group.

Keywords: austenite, heat treatment, deformation martensite