

УДК 669.15:669.14.256

Н. А. СОЛДОР

*Приазовський державний технічний університет, Україна*

## **ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ 110Г13Л НА ЇЇ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ В РІЗНИХ УМОВАХ АБРАЗИВНОЇ ДІЇ**

*Досліджено вплив режимів термічної обробки на абразивну й ударно-абразивну зносостійкість сталі Гадфільда 110Г13Л. Розроблені режими термічної обробки сталі 110Г13Л направлені на підвищення її зносостійкості за рахунок отримання в структурі метастабільного аустеніту і реалізацією динамічного мартенситного перетворення в процесі експлуатації.*

**Ключові слова:** *сталь Гадфільда, термічна обробка, метастабільний аустеніт, мартенситне перетворення*

**Вступ та постановка завдання.** В промисловості широке застосування в якості зносостійкого матеріалу знайшла аустенітна сталь 110Г13Л. В даний час вона активно використовується на ПАТ «МК «Азовсталь», ВАТ «Азов», ПАТ «ММК ім. Ілліча» та ін. підприємствах України і країн СНД. Відсутність дорогих легувальних складових у високомарганцевій сталі зумовлює економічність і масовість її застосування.

В умовах стирання зі значними ударними або великими питомими статичними навантаженнями сталь Гадфільда характеризується високою зносостійкістю. Проте в умовах інтенсивного абразивного зношування, коли питоме навантаження порівняно невелике і непостійне, ця сталь швидко виходить з ладу. Відбувається це тому, що поверхня відливок зі сталі 110Г13Л при цих умовах експлуатації не встигає отримати достатнє зміцнення. Між тим, на металургійних комбінатах м. Маріуполя сталь Гадфільда використовується і для деталей, що працюють переважно в умовах абразивного зношування (била коксових дробарок, ролики та ланки чавуннорозливної машини та ін.), які характеризуються низькою стійкістю. У зв'язку з цим, підвищення абразивної зносостійкості даних деталей – вельми актуальне завдання.

Відомо, що підвищення властивостей сталі 110Г13Л можливо за рахунок легування та/або термічної обробки [1–8]. Аналіз літературних даних [1–3] показав, що модифікування і легування є одними з найважливіших засобів підвищення надійності і довговічності литих деталей зі сталі 110Г13Л. Введення до складу сталі Гадфільда легувальних елементів (V, Ti, Nb та ін.) впливає на підвищення зносостійкості, сприяє подрібненню зерна, що, у свою чергу, приводить до зростання її міцності та пластичних властивостей. Проте, у зв'язку з тим, що більшість елементів є гостродефіцитними в Україні, з економічної точки зору використовувати легування для забезпечення необхідного рівня зносостійкості і механічних властивостей недоцільно.

Крім того, застосування таких видів термообробки, як подвійний відпал з подальшим гартуванням, термоциклічна обробка, а також різних видів дії (магнітно-імпульсного, пружного збудження) [4–8] не отримали широкого застосування в промисловості з причин підвищених тривалості й енергетичних витрат, а також складності відтворення.

В сучасному матеріалознавстві перспективним напрямом рішення однієї з актуальних сучасних проблем – підвищення довговічності деталей машин і інструменту – є отримання в сплавах метастабільної структури, здібної до самоорганізації під впливом зовнішніх дій, що дозволяє їм адаптуватися до умов наван-

таження і мати високі службові властивості [9]. Одним з основних механізмів підвищення зносостійкості є фазово-структурна трансформація метастабільних сплавів, що відрізняються найбільш високим рівнем самоорганізації і розгалуженістю системи дисипації енергії в процесі еволюції при зношуванні, формування більш довершених фазовий-структурних комплексів в поверхневих шарах (мартенситів деформації, надмірних фаз, субструктур дислокацій) [10].

Актуальним представляється підвищення зносостійкості високомарганцевої сталі 110Г13Л в різних умовах абразивної дії за рахунок отримання в ній метастабільного стану і реалізації динамічного деформаційного мартенситного перетворення (ДДМП) при експлуатації, що дозволить підвищити експлуатаційну стійкість деталей і скоротити витрати на ремонт устаткування.

**Методика дослідження.** В роботі представлені результати дослідження впливу різних режимів термічної обробки сталі Гадфільда на її мікроструктуру, абразивну й ударно-абразивну зносостійкість. Хімічний склад сталі 110Г13Л (у масових долях): 0,9–1,4 % С, 11,5–15 % Мn, 0,3–1,0 % Si,  $\leq 0,3$  % Cu,  $\leq 1,0$  % Ni,  $\leq 0,05$  % S,  $\leq 0,12$  % P.

При проведенні досліджень використовувалися дюрOMETричний та металографічний методи.

Випробування на абразивне зношування здійснювалося за методом Брінелля-Хаурта [11]. До гумового валу, що обертається, під вантажем притискається зразок розмірами 25×10×10 мм. З бункера через воронку з каліброваним отвором прокидалася дозована кількість абразивних частинок (кварцовий пісок) розміром 0,8–1,0 мм, які захоплювалися валом і протягувалися по поверхні зразка.

Випробування на ударно-абразивне зношування здійснювалося при зіткненні зразків, які закріплені на обертовому диску, зі сталевим литим дробом  $\varnothing 0,8$ –1,0 мм. Швидкість обертання вала становила 1350 об/хв. Знос визначався за втратою маси, що припадає на одиницю площі. В якості еталону служила сталь 110Г13Л, загартована за стандартним режимом.

**Обговорення результатів дослідження.** В ході досліджень встановлено, що з метою збереження високих механічних характеристик високомарганцевої сталі і підвищення її абразивної зносостійкості за допомогою спеціальної термічної обробки рекомендується трансформувати карбіди несприятливої форми в дрібнодисперсні глобулярні включення, розташовані не тільки по межах аустенітних зерен, а і всередині них. Для деталей, що працюють переважно в умовах абразивного зношування, цей режим включає: попередній нагрів литої сталі на 600 °С (час витримки 10 год. для більшого ступеня розпаду аустеніту) з подальшим гартуванням у воді від 850–950 °С. Для деталей, що працюють в умовах ударно-абразивного зношування, після нагріву до 600 °С протягом 5 годин рекомендується підвищувати температуру нагріву під гартування до 1050 °С. Тривалість нагріву обрана, з одного боку, для забезпечення певної міри розпаду аустеніту і коагуляції карбідної фази досліджуваних зразків, а, з іншого, більш тривалі витримки нерационально використовувати в зв'язку з великими витратами електроенергії і труднощами реалізації в промислових умовах.

Мета попереднього нагріву сталі 110Г13Л до 600 °С полягає в перерозподілі включень карбідів, зміні їх форми і величини (рис. 1, а і б). При такому нагріві аустеніт частково розпадається з утворенням ферито-карбідної суміші типу троститу і при подальшому швидкісному нагріві під гартування в результаті фазової

$\alpha \rightarrow \gamma$ -перекристалізації відбувається подрібнення первинного зерна литої сталі [12]. При цьому утворюється структура, що складається з аустеніту і дрібнодисперсних включень карбідів округлої форми всередині зерен (рис. 1, в).

Отримання карбідної фази сприяє зниженню стабільності аустеніту та інтенсифікує ДДМП за рахунок збіднення твердого розчину вуглецем і марганцем.

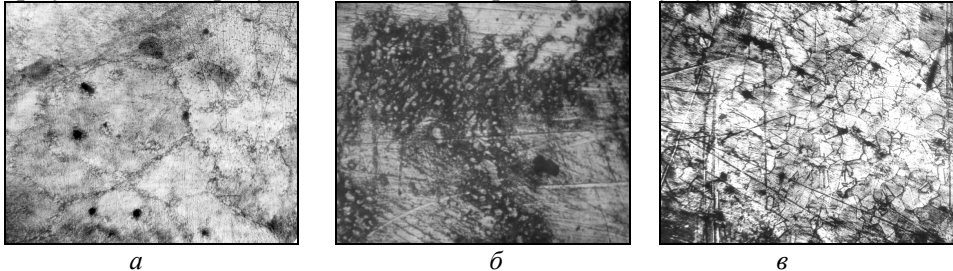


Рис. 1. Мікроструктура сталі 110Г13Л,  $\times 600$ :

*a* – після попереднього нагріву до 600 °С, 2 год.; *б* – після попереднього нагріву до 600 °С, 10 год.; *в* – попереднього нагріву до 600 °С, 10 год. з подальшим гартуванням від 850 °С

В результаті випробувань встановлено, що абразивна й ударно-абразивна зносостійкість сталі 110Г13Л, термообробленої за запропонованими режимами, в 1,5–2 і 2,5–3 рази відповідно вище в порівнянні зі сталлю, що термооброблена за стандартним режимом (табл.).

Таблиця

**Вплив попереднього нагріву до 600 °С і подальшого гартування від різних температур на абразивну й ударно-абразивну зносостійкість сталі 110Г13Л\***

Режим термічної обробки	Відносна зносостійкість	
	абразивна	ударно-абразивна
Нагрів до 600 °С + гартування від 850 °С	1,90/2,43	3,27/2,76
Нагрів до 600 °С + гартування від 950 °С	1,60/1,85	3,35/2,82
Нагрів до 600 °С + гартування від 1050 °С	1,10/1,25	3,51/3,11

\*У чисельнику значення зносостійкості після витримки при 600 °С протягом 5 год., у знаменнику – після витримки при 600 °С протягом 10 год.

Також вивчали вплив на структуру, твердість і зносостійкість сталі 110Г13Л східчастого нагріву, який включає нагрів до 600 °С (з витримками протягом 3–8 год.), подальший нагрів до 720 °С з витримкою 1, 2, 3, 4 години з наступним гартуванням від температур 850, 950 і 1050 °С. Найбільш раціональним режимом термообробки перед нагрівом під гартування, який гарантує отримання оптимальної структури та властивостей досліджуваної сталі є нагрів до 600 °С, 6 год. та подальший нагрів до 720 °С з витримкою протягом 2-х годин.

Після такої термообробки спостерігається структура, що складається з аустеніту і дисперсних включень карбідів округлої форми всередині зерен, яка характеризується вищою твердістю та зносостійкістю, ніж після стандартного гартування від 1050 °С (рис. 2).

Гартування від 850 °С з попереднім нагрівом при 600 і 720 °С приводить до підвищення абразивної зносостійкості в 3,25 рази. Після такої обробки структура представляє собою стабільний аустеніт, дисперсні включення карбідів округлої форми всередині зерен і метастабільний аустеніт, схильний до мартенситоутворення в процесі експлуатації.

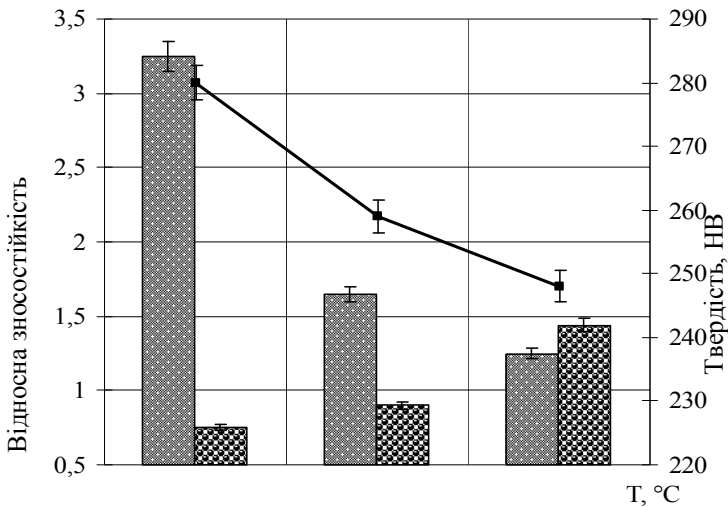


Рис. 2. Вплив температури нагріву під гартування на твердість, відносну абразивну й ударно-абразивну зносостійкість сталі 110Г13Л після попереднього нагріву при 600 та 720 °C: ■ – абразивна; ▨ – ударно-абразивна, —■— – твердість

Підвищення абразивної зносостійкості обумовлено тим, що на розвиток ДДМП витрачається значна частина енергії зовнішнього впливу і, відповідно, менша частка її йде на руйнування матеріалу. Крім того, протікання ДДМП в процесі зношування абразивними частинками супроводжується релаксацією мікронапружень, внаслідок чого підвищується працездатність мікрооб'ємів сплаву. Утворення мартенситу деформації в приповерхневому шарі приводить до появи внутрішніх напружень стиснення в об'ємі металу, охопленому мартенситним перетворенням. На їх подолання при наступних циклах навантаження потрібні додаткові витрати енергії, в результаті чого на руйнування залишається менше енергії абразиву. Крім того, мартенсит деформації, що утворюється, має високу щільність дислокацій та дуже дисперсний, і в ньому протікає динамічне старіння, що супроводжується виділенням дисперсних частинок. Ці фактори збільшують опір сталі руйнуванню під впливом абразивного впливу.

При ударному характері зношування інтенсивне мартенситоутворення призводить до крихкого руйнування поверхні, що знижує ударно-абразивну зносостійкість. У зв'язку з цим необхідно стабілізувати аустеніт, що досягається підвищенням температури нагріву під гартування для розчинення карбідів  $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ . Так, найвищою відносною ударно-абразивною зносостійкістю характеризується сталь після подвійного східчастого нагріву і гартування від 1050 °C ( $\epsilon = 1,44$ ). Гартування сталі 110Г13Л від 1050 °C після попереднього старіння приводить до подрібнення зерна аустеніту, що, в свою чергу, сприяє підвищенню ударної в'язкості та додаткової стабілізації аустеніту.

### Висновки:

1. Розроблені режими термічної обробки сталі 110Г13Л направлені на збереження високих механічних характеристик і підвищення її зносостійкості за рахунок отримання в структурі разом зі стабільним метастабільного аустеніту і реалізацією динамічного деформаційного мартенситного перетворення останнього в процесі експлуатації.

3. На основі проведених досліджень обґрунтована необхідність диференційного підходу до вибору термообробки сталі Гадфільда залежно від умов зношування. Так, у разі абразивного зношування за відсутності динамічних навантажень деталі зі 110Г13Л рекомендується нагрівати до 600 °С і витримувати при цій температурі протягом 10 год., а потім нагрівати до 850 °С і проводити гартування у воді. Зносостійкість сталі при цьому підвищується більш ніж в 1,5–2 рази.

4. В умовах значних динамічних навантажень температура нагріву під гартування деталей повинна бути підвищена до 1050 °С, а попередній нагрів відливок проводити при 600 °С протягом 5 год. Така обробка дозволяє подрібнити зерно і підвищити ударну в'язкість сталі 110Г13Л, причому без коректування хімічного складу, а також приводить до підвищення ударно-абразивної зносостійкості в 2,5–3 рази.

5. Гартування від 850 °С з попереднім нагрівом при 600 і 720 °С приводить до підвищення абразивної зносостійкості сталі 110Г13Л в 3,25 рази. Після такої обробки спостерігається структура, що складається з аустеніту і дисперсних включень карбідів округлої форми всередині зерен. При цьому в структурі значна частина аустеніту є метастабільною по відношенню до динамічного деформаційного мартенситного перетворення в процесі зношування. Найвищою відносною ударно-абразивною зносостійкістю характеризується сталь після подвійного східчастого нагріву і гартування від 1050 °С ( $\varepsilon = 1,44$ ).

6. Запропоновані в роботі режими термічної обробки рекомендується застосовувати в умовах масового виробництва деталей зі сталі 110Г13Л, що працюють в різних умовах абразивної дії, на металургійних підприємствах ТОВ «МЕТІН-ВЕСТ ХОЛДІНГ».

#### Список літератури

1. Новомейский Ю.Д. Свойства и применение комплекснолегированных высокомарганцовистых сталей / Ю.Д. Новомейский, Ю.А. Евтюшкин, В.И. Лившиц. – М. : НИИинформтяжмаш, 1970. – 68 с.
2. Зимокос Г.Н. О рациональном составе высокомарганцевой стали / Г.Н. Зимокос, Н.М. Шелудько, А.А. Шерстюк и др. // Литейное производство. – 1971. – № 11. – С. 10–11.
3. Давыдов Н.Г. Высокомарганцевая сталь / Н.Г. Давыдов. – М. : Металлургия, 1979. – 176 с.
4. Зимокос Г.Н. Влияние химического состава на свойства высокомарганцевой стали в отливках броней конусных дробилок / Г.Н. Зимокос, Л.А. Адаменко, Л.Х. Иванова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 39–42.
4. Парфенов Л.И. Влияние термообработки на распределение механических свойств по сечению отливок из стали Г13Л / Л.И. Парфенов, Г.А. Сорокин, О.Г. Таранов // Литейное производство. – 1969. – № 3. – С. 32–33.
5. Кондратюк С. Е. Определение режима термической обработки стали 110Г13Л для повышения абразивной износостойкости / С. Е. Кондратюк, Г. Г. Луценко // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1985. – № 8. – С. 54–56.
6. Гасик М.И. Металлургия высокомарганцевой стали / М.И. Гасик, Ю.Н. Петров, И.А. Семенов. – К.: Техника, 1990. – 136 с.
7. Володин В.Л. Структура, прочность и износостойкость стали Гадфильда, подвергнутой поверхностному магнитно-импульсному воздействию / В.Л. Володин, Л.Б. Зуев, Т.В. Володин, В.Е. Громов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2009. – № 8. – С. 23–26.
8. Колубаев А.В. Влияние упругих возбуждений на формирование структуры поверхностного слоя стали Гадфильда при трении / А.В. Колубаев, Ю.Ф. Иванов, О.В. Сизова, Е.А. Колубаев, Е.А. Алешина, В.Е. Громов // Журнал технической физики. – 2008. – № 2. – С. 63–70.
9. Малинов Л.С. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Х.: ННЦ ХФТИ, 2007. – 352 с.

10. Чейлях А.П. Взаимосвязь энергоемкость – свойства с позиции самоорганизации метастабильных сплавов / А.П. Чейлях // Сб. научных трудов. – Днепропетровск: ПГА-СА, 2002. – Вып. 15. – Ч. 1. – С. 198–202.

11. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М.М. Тененбаум. – М. : Машиностроение, 1966. – 331 с.

12. Садовский В.Д. Фазовая перекристаллизация в аустенитных марганцовистых сталях / В.Д. Садовский, Г.Н. Богачева, А.К. Варская // Проблемы металловедения и термообработки. – 1960. – С. 57–67.

Стаття надійшла до редакції 06.06.2013

*N. A. SOLIDOR*

#### **THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT OF STEEL 110Г13Л AT ITS WEAR RESISTANCE UNDER DIFFERENT CONDITIONS ABRASIVE ACTION**

In work influence of heat treatment on the abrasive and impact-abrasive wear resistance of Hadfield steel 110Г13Л is considered. The developed modes of heat treatment steel 110Г13Л aimed at improving its wear resistance by getting in the structure of the metastable austenite and dynamic implementation of the martensitic transformation in the last operation. Based on these studies substantiates the necessity of a differentiated approach to the selection of the heat treatment of Hadfield steel, depending on the conditions of wear.

**Keywords:** Hadfield steel, heat treatment, metastable austenite, martensitic transformation

**Солідор Наталія Аркадіївна** – канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства, зварювального факультету ДВНЗ «ПДТУ», [solidor@rambler.ru](mailto:solidor@rambler.ru).