

$$K = \left( \frac{6,13}{r_s / a_0} \right)^5 \cdot 10 \text{ дин/см}^2.$$

Подставив в это выражение проведенные в таблице значения  $r_s=1,18 \cdot 10^{-8}$  см и  $a_0=0,8529 \cdot 10^{-8}$  см, получаем  $K_{Fe}=2 \cdot 10^{12}$  дин/см<sup>2</sup>, что хорошо согласуется с экспериментальным значением (1,683 дин/см<sup>2</sup>) [1].

В колонке 11 приведены результаты расчетов давления электронного газа в исследуемых металлах. Как видно из данных таблицы, наиболее высокое давление  $\sim 12 \cdot 10^5$  атм. наблюдается у Cr, Co и Ni. Весьма низкое значение  $P \cong 3,6 \cdot 10^5$  ат характерно для Mn. Значение этого показателя для железа составляет  $\sim 10,6 \cdot 10^5$  атм.

#### Выводы

1. В рамках квантовой теории свободных электронов выполнены оценочные расчеты основных параметров электронного газа 3d- переходных металлов: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni и Cu.
2. Установлено, что уровень энергии Ферми железа составляет  $E_F=11,1$  эВ; элементы: Ti, V, Cr, Co и Ni имеют  $E_F \geq 11,1$  эВ, а элементы: Mn и Cu характеризуются  $E_F < 11,1$  эВ.
3. Полученные результаты рекомендуется использовать при обосновании выбора системы легирования стали.

#### Список использованных источников:

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела./ Ч. Киттель.– М.: Наука, 1978. –791с.
2. Ашкрофт Н. Физика твердого тела./ Н. Ашкрофт, Н. Мермин.– М.: Мир, 1979. –399с.
3. Григорович В.К. Электронное строение и термодинамика сплавов железа/ В.К. Григорович – М.: Наука, 1970.– 291с.
4. Займан Дж Принципы теории твердого тела/ Дж. Займан. –М.: Мир, 1966. –416с.

Рецензент: А.П. Чейлях  
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 20.04.2010

УДК 621.78:669.14.018.295

Ткаченко І.Ф.<sup>1</sup>, Уніят М.А.<sup>2</sup>

#### ВПЛИВ УМОВ НАГРІВАННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ТВЕРДІСТЬ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ ЛИСТОВИХ СТАЛЕЙ

*Вивчено фазово-структурний стан сталей 09Г2С і 10ХСНД після ізотермічної витримки при температурах двофазної області з подальшим охолодженням у воді. Показано, що структура сталі 09Г2С, на відмінну від сталі 10ХСНД, найбільш суттєво змінюється після витримки при досліджених температурах протягом 8 годин. Встановлено складний характер залежності твердості сталі 09Г2С від температури витримки, що узгоджується зі змінами мікроструктури.*

**Ключові слова:** низьколеговані листові сталі, мікроструктура, твердість.

**Ткаченко И.Ф., Уніят М.А. Влияние условий нагрева на структуру и твердость низколегированных листовых сталей.** Изучено фазово-структурное состояние сталей 09Г2С и 10ХСНД после изотермической выдержки при температурах двухфазной области с дальнейшим охлаждением в воде. Показано, что структура стали 09Г2С, в отличие от стали 10ХСНД, наиболее существенно изменяется после выдержки при исследуемых температурах в течение 8 часов. Установлен сложный характер зависимости твердости стали 09Г2С от температуры

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, Приазовський державний технічний університет, г. Маріуполь

<sup>2</sup> аспірант, Приазовський державний технічний університет, г. Маріуполь

*выдержки, что согласуется с изменениями микроструктуры.*

**Ключевые слова:** *низколегированные листовые стали, микроструктура, твердость.*

*Tkachenko I.F., Uniayt M.A. The influence of heating conditions on structure and hardness of low-alloyed sheet steel grades. Analyzed was the phase-structural state of steels 09G2S and 10HSND after isothermal holding at the temperatures within two-phase region with quenching. It is shown, that the structure of 09G2S steel, unlike 10HSND steel grade changes, most essentially after holding, during 8 hours, at the investigated temperature range. The complex character of hardness-holding temperature dependence was revealed in steel 09G2, which is in accordance with the microstructure changes.*

**Keywords:** *low alloy sheet steels, microstructure, hardness.*

**Формулювання проблеми.** У наш час листовий прокат є основним різновидом продукції більшості металургійних підприємств в Україні та закордоном. Незважаючи на тривалий період досліджень та виробництва низьколегованих листових сталей, залишаються невирішеними проблеми, що пов'язані з недостатньо високою та стабільною якістю продукції. Дотепер головні зусилля були направлені головним чином на підвищення міцності досліджуваних сталей.[1] Досвід виробництва, особливо, товстолистого прокату виявив, однак, недостатній рівень забезпечення вимог стандартів, щодо показників пластичності та спротиву ударному руйнуванню, особливо при негативних кліматичних температурах. Виходячи з викладеного, важливого значення набуває вдосконалення режимів термічної обробки прокату сталей, що розглядаються, з метою підвищення та стабілізації загального рівня їх якості.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Перспективним напрямком вирішення вказаної проблеми є застосування термічної обробки що включає до себе гартування з двофазної температурної області.[2] Суттєвий внесок в розвиток досліджень та технологічних розробок в цьому напрямку зробили: І.Узлов, С.Д'яченко [3], Н.Вhadeshia [4], Л.Дейнеко та ін.

**Мета роботи** – Визначення особливостей формування структури та механічних властивостей головних типів сучасних низьколегованих сталей, після ізотермічної витримки різної тривалості в залежності від температури в межах двофазної області.

**Викладення основного матеріалу.** Досліджували листовий прокат сталей 09Г2С та 10ХСНД за ГОСТ 19282-73. Для проведення термічної обробки за дослідними режимами були використані картки розмірами 300×200×40мм, які відбиралися з ділянки листа у відповідності с діючим стандартом (ГОСТ 7564-73). Термічну обробку заготовок проводили в напівпромислових умовах за режимами, які включали до себе: нагрів та ізотермічну витримку при температурах 690...790 °С протягом 4 та 8 годин з наступним охолодженням у воді. Після проведення термічної обробки та видалення окалини вимірялась твердість за Брінеллем (ГОСТ 9012-59) і проводили металографічні дослідження. Шліфування полірування виконували у відповідності із загальноприйнятими методиками. Травлення металографічних шліфів проводили в 4% розчині HNO<sub>3</sub>. Микроструктуру вивчали за допомогою мікроскопа „Неофот” – 21 при збільшенні ×500 та ×1000.

На рис. 1 наведено результати досліджень впливу температури та тривалості ізотермічної витримки на твердість листового прокату вказаних сталей. На рис. 1, а представлено залежність твердості сталі марки 09Г2С від температури ізотермічної витримки протягом 4 год. Слід відзначити, що твердість за даних умов термообробки змінюється досить неоднозначно. Як видно, підвищення температури від 690 °С до 710 °С призводить до зниження твердості.

Подальше підвищення температури ізотермічної витримки від 710 оС до 790 оС призводить до збільшення твердості дослідженої сталі. При більш високих температурах знову спостерігаються відхилення від монотонної залежності.

Подібний характер має залежність твердості сталі 09Г2С від температури нагріву з ізотермічною витримкою протягом 8 годин (рис. 1, б). Підвищення температури від 690 оС до 710 оС, на відмінну від витримки протягом 4 годин, призводить до збільшення твердості від ~210 до ~270 НВ. Подальше підвищення температури від 710 оС до 730 оС викликає значне зниження твердості, до ~205 НВ. Надалі при підвищенні температури ізотермічної витримки від 730 оС до 790 оС спостерігається монотонне збільшення значень твердості від ~205 до ~295 НВ.

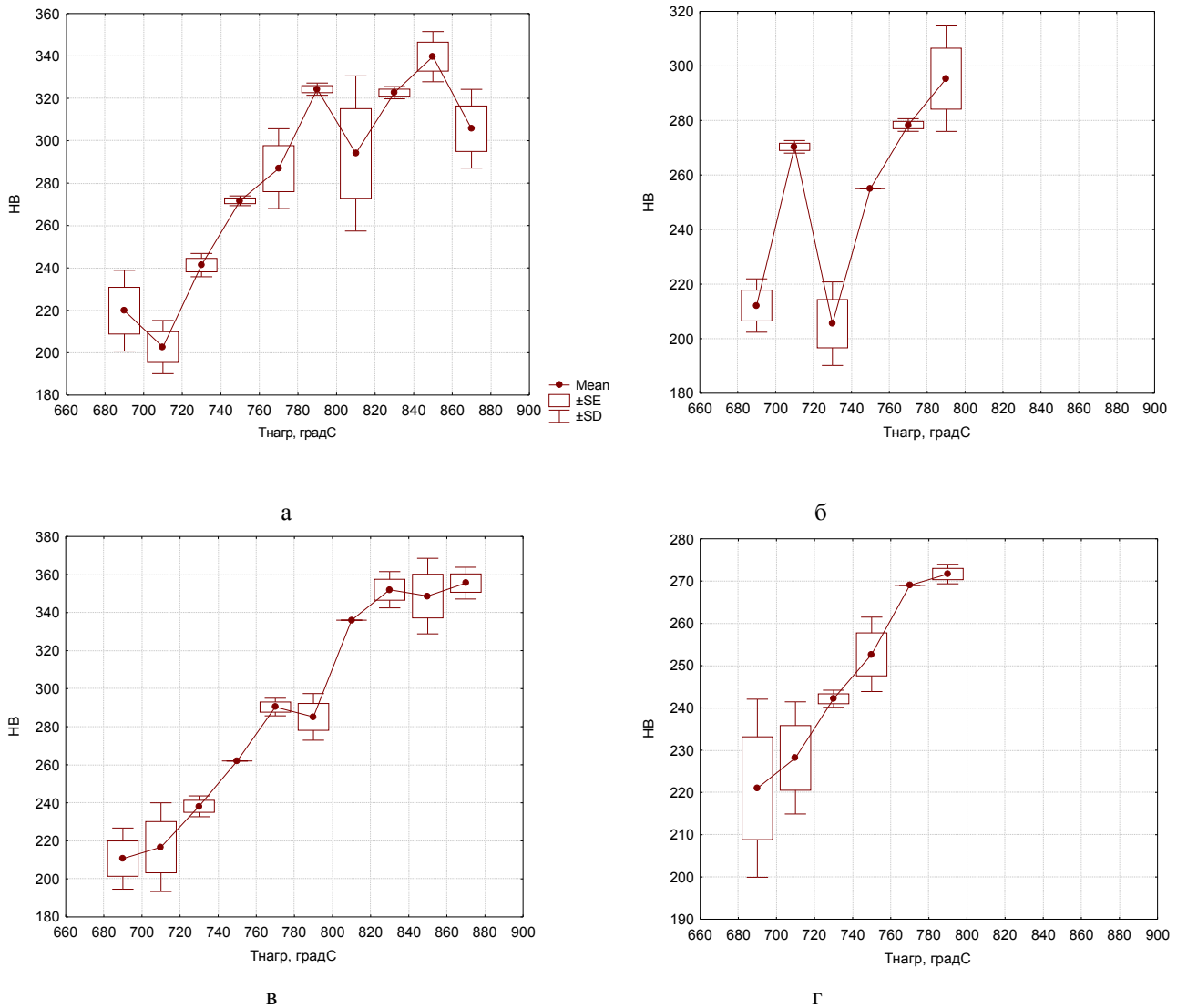


Рис. 1 - Вплив температури та часу ізотермічної витримки на твердість сталей 09Г2С та 10ХСНД: а – сталь 09Г2С витримка протягом 4 годин; б – сталь 09Г2С витримка протягом 8 годин; в – сталь 10ХСНД витримка протягом 4 годин; г – сталь 10ХСНД витримка протягом 8 годин.

На рис.1 в, г наведені залежності твердості сталі 10ХСНД від температури нагріву з ізотермічною витримкою 4 та 8 годин, відповідно. На обох рисунках спостерігаються практично монотонно-зростаючі залежності.

Дослідження структури розглянутих сталей (див. рис. 2) дозволили встановити наступне. В початковому нормалізованому стані в структурі сталі 09Г2С спостерігається значна ферито-перлітова смугастість 4-5 балу за ГОСТ 5640. Характер структури суттєво змінюється після проведеної термічної обробки. Зокрема після ізотермічної витримки при 710 °С, 8 годин, спостерігається утворення мартенситноподібних структур у вигляді практично безперервної мережі на межах феритних зерен. Зазначеною особливістю структури можна пояснити підвищення твердості сталі після вказаної термічної обробки, завдяки тому що ділянки з мартенситноподібною структурою, які повністю обмежують феритні зерна, являють собою нездоланні перешкоди для дислокацій, що рухаються в межах цих зерен, на відміну від початкової структури, де феритні зерна мали протяжні внутрішньо-фазні межі розподілу.

Структура сталі 10ХСНД показана на рис. 2 в, г. Як видно, в цій сталі практично відсутня структурна смугастість, спостерігається достатньо рівномірний розподіл ділянок перлітової складової серед феритних зерен. Зазначений характер структури зберігається після проведення термічної обробки за дослідними режимами, зокрема після ізотермічної витримки при 770 °С, 8 год. рис 2, г.

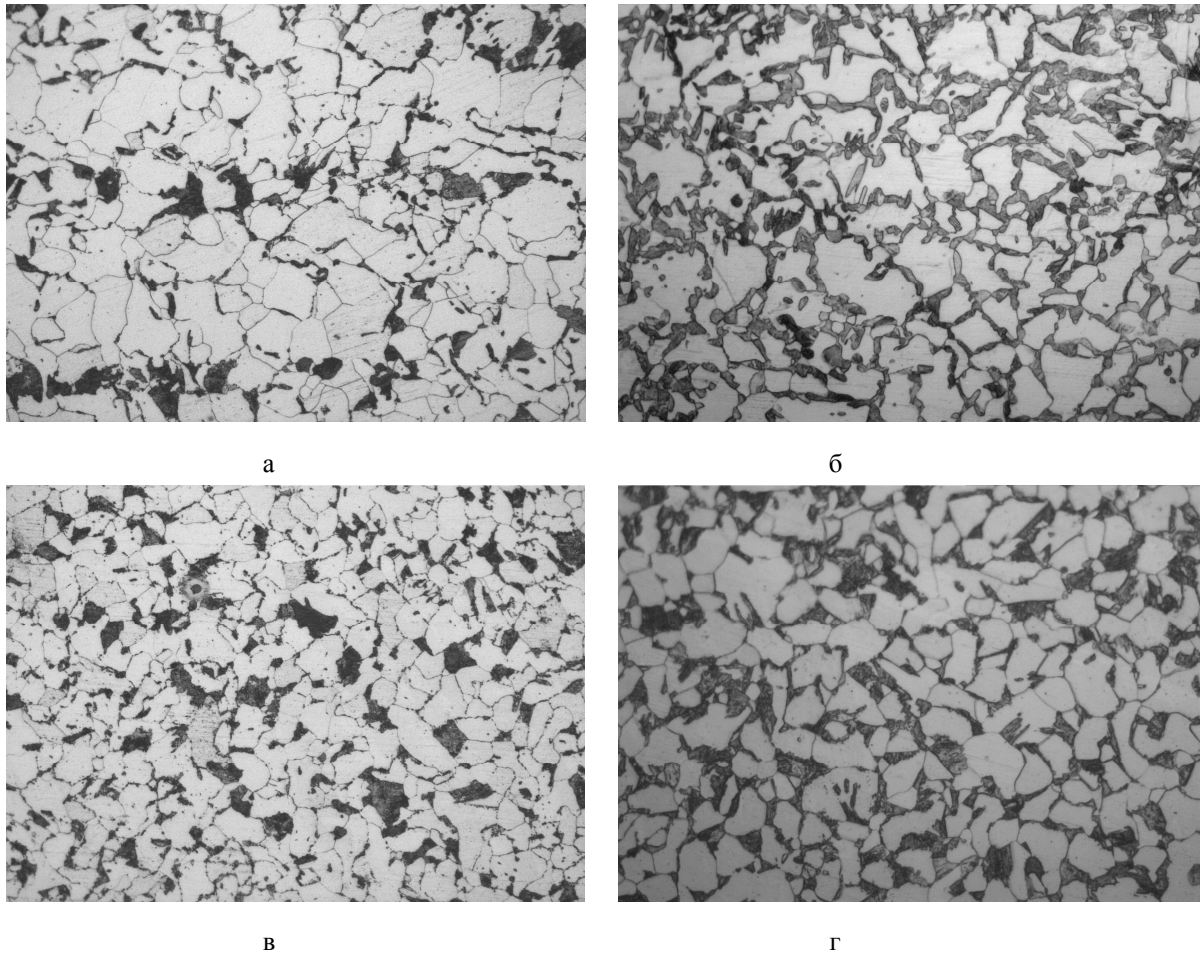


Рис. 2 - Мікроструктури досліджених сталей ( $\times 500$ ) після різних режимів термічної обробки: сталь 09Г2С, а – нормалізація в промислових умовах, б – ізотермічна витримка 710 °С, 8 годин; сталь 10ХСНД, в - нормалізація в промислових умовах, г – ізотермічна витримка 770 °С, 8 годин

#### Висновки

1. Методами оптичної металографії в поєднанні з дослідженням механічних властивостей вивчено зміни мікроструктури і твердості в сталях 09Г2С та 10ХСНД в процесі ізотермічної витримки в двофазній температурній області, з подальшим охолодженням у воді.
2. Показано, що в сталі 09Г2С термічна обробка за дослідними режимами призводить до немонотонних змін твердості, які пов'язані зі змінами її мікроструктури.
3. Встановлено, що при дослідженій термічній обробці сталі 10ХСНД, с підвищенням температури в межах двофазної області спостерігається монотонне збільшення твердості, яке не пов'язано зі змінами характеру мікроструктури, а може бути пояснено утворенням мартенситної складової в межах ділянок з початковою перлітоподібною структурою.

#### Список використаних джерел:

1. Титов Т.И. Металловедение и термическая обработка металлов №4, 2000г.//Особенности формирования структуры листовой низколегированной стали при термической обработке в промышленных условиях /Т.И.Титова, С.И.Ривкин, С.Ю. Баландин, И.Ф.Семернина.
2. Ткаченко И.Ф., Ткаченко К.И. Об особенностях образования аустенита при нагреве легированных сталей // Вестник ПДТУ №12, 2001 г.
3. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железо-углеродистых сплавах.- М.: Металлургия, 1982. -122с.
4. Bhadeshia H.K.D.H., Christian J.W. Bainite in steel Transformations, Microstructure and Properties. Second Edition // Metall. Trans. 1990. V. 21A. P. 767 – 797.

Рецензент: В.І.Щетиніна  
д-р техн. наук. проф., ПДТУ

Стаття подана 05.05.2010