

УДК 620.22:539.4:65.011.2

Узлов К.І., Мовчан О.В., Черниш Т.О., Сапунов Ю.М., Колпакова Г.В.

АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ДО ВМ-СТАЛІ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МІКРОСТРУКТУРНОГО КОНТРОЛЮ ЗЕРЕННОГРАНИЧНИХ ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИК

Досліджені нормативні документи ГОСТ 7370 – 2015 та EN 15689:2009 з точки зору вимог до хрестовин залізничних стрілочних переводів. Визначені нормативні вимоги ГОСТ 977-88, ГОСТ 2176 – 77, ГОСТ 5639-82, ГОСТ 7370 – 2015, ГОСТ 21357 – 87, EN 15689:2009, ASTM E3 – 11, ASTM E112 – 10 щодо препарування та дослідження зразків сталі 110Г13Л (ВМ-сталі). Розроблена та впроваджена до Системи управління якістю ПАТ «Дніпропетровський Стрілочний Завод» технологічна інструкція № ТИ-ИП-42-2016 по приготуванню металографічних зразків та виготовленню поліхромних зображень сталі 110Г13Л виробу хрестовина залізнична за ГОСТ 7370-2015 з урахуванням вимог ASTM E3.

The normative documents GOST 7370 - 2015 and EN 15689: 2009 have been investigated from the point of view of requirements for crossings of railway switchers. The normative requirements of GOST 977-88, GOST 2176 – 77, GOST 5639-82, GOST 7370 – 2015, GOST 21357 – 87, EN 15689:2009, ASTM E3 – 11, ASTM E112 – 10 for the preparation and investigation of steel 110G13L (HM-steel) samples are determined. The technological instruction for metallographic samples preparation and polychromic images of steel 110G13L producing for the railway crossings according to GOST 7370-2015 have been developed and implemented into the Quality Management System of PJSC «Dnipropetrovsk Railway Switch Plant» taking into account the requirements of ASTM E3.

Вступ. Україна має одну з найбільш розвинених у Європі мережу залізниць, експлуатаційна довжина якої складає понад 22 тис. км [1]. За густотою вона займає провідне місце серед країн СНД і наближається за цим показником до Європейських країн: Франції та Італії. Тобто, залізниця є базовою галуззю економіки України. На них припадає 88% вантажообігу (без урахування трубопровідного транспорту) та 50% пасажирообігу на відміну від країн ЄС, де частка залізниць становить біля 8%.

Найважливішим елементом залізничного шляху є з'єднання та перетинання, які здійснюють зміну напрямів пересування поїздів [2]. Однак, ситуація ускладнюється тим, у сучасний момент більшість з них спрацювали свій ресурс і є морально застарілими. За даними [3], щоб усунути обмеження швидкостей руху тільки на головних шляхах необхідна заміна тисяч стрілочних переводів. Саме удосконаленню системи якості елементів стрілочних переводів та хрестовин присвячені дослідження наявної роботи.

Матеріал та методи досліджень. Досліджені нормативні вимоги ГОСТ 977-88, ГОСТ 2176 – 77, ГОСТ 5639-82, ГОСТ 7370 – 2015, ГОСТ 21357 – 87, EN 15689:2009, ASTM E3 – 11, ASTM E112 – 10 [4 - 11] до хімічного складу, до режимів термічної обробки та до контролю мікроструктури сталі 110Г13Л (ВМ-сталі). Для досліджень використані зразки високомарганцевої сталі 110Г13Л (ВМ-сталь) 4-х плавков виробництва ПАТ «Дніпропетровський стрілочний завод». При проведенні експериментальних досліджень застосовані сучасні методи мікроструктурного аналізу. Мікроструктуру сталі 110Г13Л (ВМ-сталь) вивчали в лабораторних та промислових умовах з

використанням стандартних [6 - 9] та розроблених в роботі методів металографічного дослідження.

Аналіз нормативних вимог до сталі 110Г13Л (ВМ-сталі) та обговорення результатів. Хімічний склад сталі 110Г13Л за вимогами НД [4, 5, 7, 10, 11] представлений в таблиці 1. Контроль хімічного складу [7] проводили на пробах, відлитих в середині розливки плавки.

За згодою між виробником та власником інфраструктури залізничного транспорту можуть бути встановлені звужені межі масової долі елементів, які не виходять за норми встановлені ГОСТ 7370 [7]. Відливки допускається виготовлять з підвищеним вмістом вуглецю, але не більш за 1,50 % [5].

Допускається, за згодою між виробником та власником інфраструктури залізничного транспорту, вводити в ВМ-сталь легуючі домішки, які не погіршують властивості сталі, безпеку та надійність хрестовин в експлуатації.

Відливки сердцевин збірних та моноблочних хрестовин і суцільнолитих хрестовин із ВМ-сталі (110Г13Л) мають бути термічно оброблені за режимами, що визначаються ТД підприємства-виробника [7].

Режим, встановлений нормативно ГОСТ 977 і ГОСТ 21357 [4, 8]: гартування від 1050 – 1100 °С у воді.

Допускається зміцнювати поверхню кочення литих сердечників і суцільнолитих хрестовин методом вибуху або іншими методами. При цьому твердість на поверхні кочення литих вусовиків і клина сердечника після зміцнення має бути в межах 321 ... 398 НВ [7].

Узлов Костянтин Іванович – д.т.н., проф. НМетАУ,
Мовчан Олександр Володимирович – к.т.н., с.н.с. НМетАУ,
Черниш Тетяна Олегівна – студентка НМетАУ,
Сапунов Юрій Миколайович – к.т.н., гол.метролог, нач.лабораторії ПАТ «Дніпропетровський стрілочний завод»,
Колпакова Галина Вікторівна – інженер ПАТ «Дніпропетровський стрілочний завод».

Таблиця 1 – Нормативні вимоги до хімічного складу сталі 110Г13Л за ковшовою пробою

Нормативний документ	Вміст елементів, мас. %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	Mo	Al
ГОСТ 977	0,90-1,50	0,30-1,00	11,50-15,00	≤1,00	≤1,00	≤0,050	≤0,120	***	***	***
ГОСТ 2176	0,90-1,40	0,30-1,00	11,50-15,00	≤1,00	≤1,00	≤0,050	≤0,120	≤0,30	***	***
ГОСТ 7370	1,00-1,30	0,30-0,90	11,50-16,50	***	***	≤0,020	≤0,090	***	***	***
ГОСТ 21357	0,90-1,20	0,40-0,90	11,50-14,50	≤0,30	≤0,30	≤0,030*	≤0,080*	≤0,30	***	***
EN 15689	0,95-1,30**	≤0,65	11,50-14,00	≤0,50	≤1,75	≤0,030	≤0,050	≤0,30**	≤0,75	≤0,045

* За згодою між виробником та споживачем.

** Марганцю має бути не менше ніж в десять раз більше за вмістом, ніж вуглецю.

*** Нормативні вимоги відсутні.

Ефективність термічної обробки має контролюватись випробуваннями на розтяг, ударний згин, твердість. Випробування мають проводитись для кожної партії плавки і термічної обробки [7, 10].

За ГОСТ 977 [4] сталь 110Г13Л відноситься до аустенітного класу.

Для контролю мікроструктури деталей зі ВМ-сталі (110Г13Л) спеціальну пробу-прилив відділяють від однієї із відливок після термічної обробки. Приливи мають бути розташовані біля найбільш масивної частини відливок та/або поряд з місцем підводу рідкого металу в ливарну форму відливки. Дозволяється виконувати пробу у вигляді приливу до ливарної системи [7].

Контроль здійснюють за допомогою металографічного мікроскопу при збільшенні $\times 100$ і $\times 500$. Мікроструктуру контролюють на глибині більш за 2,5 мм, відраховуючи від краю мікрошліфа [7].

За вимогою [10] мікроструктура хрестовини має бути аустенітною і не має вміщувати шкідливих виділень карбідів. Якщо це передумовлено тендерними умовами то, має бути проведеним металографічний аналіз при збільшенні $\times 100$ з використанням мікроструктурної оптики. Тип та місце розташування зразку має бути узгодженим між замовником і виробником.

За відсутності приливів зразки для контролю мікроструктури дозволяється вирізати безпосередньо з тіла відливки після термічної обробки відповідно до ТД підприємства-виробника [7].

Мікроструктура відливок з ВМ-сталі має бути аустенітною, карбіди не припустимі [7, 10]. За ГОСТ 21357 [8] мікроструктура має бути чисто аустенітною після термічної обробки.

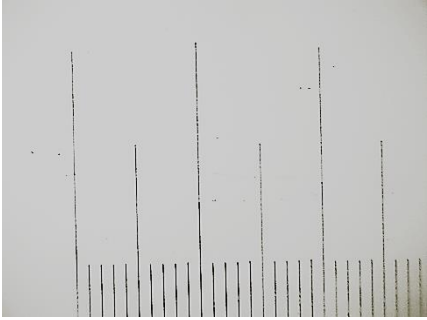
Розробка методики мікроструктурного контролю зернограничних характеристик ВМ-сталі. В початковому стані сталь Гадфілда (ВМ-сталь) має звичайну рівноважну структуру з низькою (до 10^6 см^{-2}) щільністю дислокацій. Але, вже на початкових стадіях деформації (у тому

числі при приготуванні мікрошліфа в результаті поверхневого мікроіндентування) в структурі виникають не тільки звичайні, нерозщеплені дислокації, але і часткові, з'єднані дефектами упаковки. Останні стають видимими у вигляді серії смуг. Зі збільшенням ступеня деформації кількість дефектів різко зростає, утворюються вузькі смуги мікродвійників, виникають дислокації і дефекти упаковки по іншим площинам ковзання.

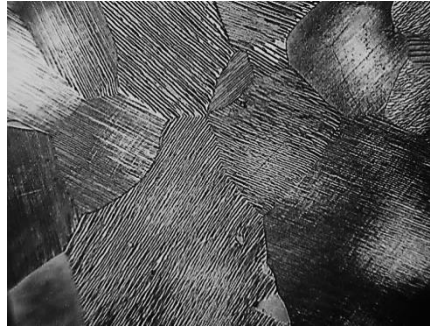
Операція травлення металографічних шліфів включає всі процеси, що розроблені для виявлення специфічних структурних складових зразку, які не видимі на полірованій та не травленій поверхні шліфа. Дослідження полірованих не травлених шліфів дозволяють виявити такі особливості металу, як пористість, тріщини та неметалеві включення. Травлення дозволяє розпізнати фази, структурні складові, декорувати дислокації (виявляти ямки травлення), вивчати орієнтацію фаз. Принцип травлення багатозначних сплавів полягає у вибіркового розчиненні (внаслідок різних швидкостей розчинення фаз у реактиві, що травить) або забарвленні однієї чи декількох фаз завдяки їх різниці у хімічному складі та, в меншій мірі, різній орієнтації структурних складових. Однак, в чистих металах або однофазних сплавах, якою є аустенітна сталь 110Г13Л (ВМ-сталь), вибіркоче травлення є переважним результатом саме різної орієнтації зерен [12, 13].

Для виявлення мікроструктури ВМ-сталі (110Г13Л) ГОСТ 7370 [7] хімічне травлення мікроструктурних об'єктів визначається нормативно наступним чином: металографічне травлення проводять 4%-вим спиртовим розчином (або 3%-вим водним розчином) азотної кислоти з багаторазовими переполіровками та травленнями (**Метод 1**).

Цей метод дозволяє одержувати та реєструвати мікроструктурні монохромні зображення при обраних збільшеннях оптичного приладу (рис. 1).

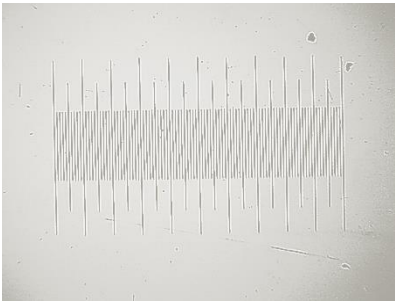


а масштабна шкала об'єктива з числовою апертурою 0,60,



б мікроструктура сталі 110Г13Л

Рисунок 1 – Приклад мікроструктури ВМ-сталі після травлення за режимом «Метод 1», яка одержана з використанням об'єктива з числовою апертурою 0,60

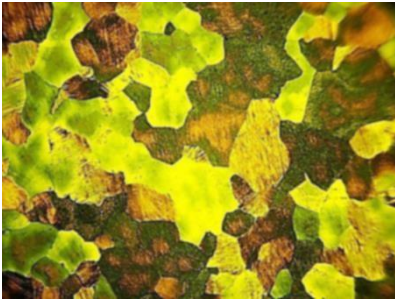


а

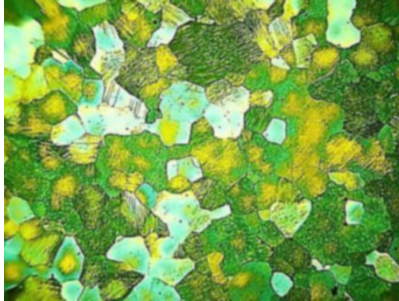


б

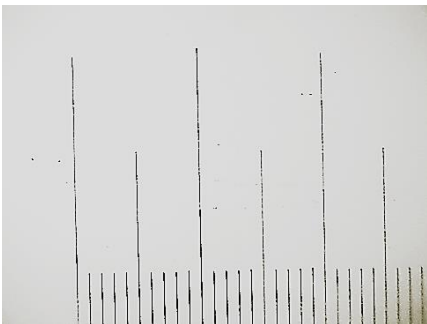
Рисунок 2 – Приклад мікроструктури ВМ-сталі після кольорового травлення за режимом «Метод 2», одержаній з використанням об'єктива з числовою апертурою 0,17
а – масштабна шкала об'єктиву 0,17, б – в – приклади мікроструктур



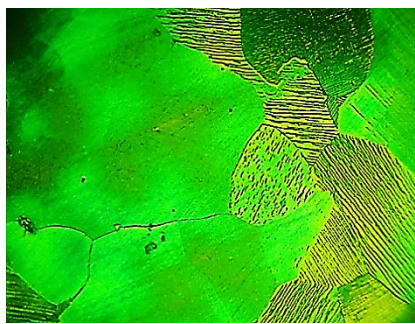
в



г

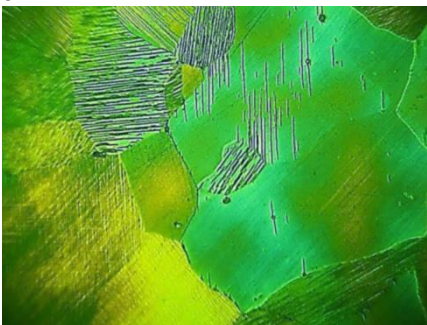


а



б

Рисунок 3 – Приклад мікроструктури ВМ-сталі після кольорового травлення по режиму «Метод 2», одержаної з використанням об'єктива з числовою апертурою 0,60
а – масштабна шкала об'єктиву 0,60, б – в – приклади мікроструктур



в



г

Як свідчать дані Рисунку 1 при приготуванні металографічних об'єктів дослідження зеренногранична структура сталі 110Г13Л характеризується наявністю великої кількості смуг ковзання. За наявності такого структурного стану, використання автоматичної металографічної техніки визначення розміру зерна закономірно буде обумовлювати одержання неправдивих експериментальних даних кількісної металографії.

З метою реалізації методів адекватної оцінки кількісних характеристик зереннограничної структури, в роботі був запропонований метод приготування мікрошліфів з їх вибіркового травлення для поліхромної презентації різної орієнтації зерен (*Метод 2*).

Тобто, з урахуванням рекомендацій технічної документації [14, 15], для одержання на мікрошліфах поліхромних зображень високої презентаційної якості мікроструктури ВМ-сталі (110Г13Л) в роботі запропоноване використання двоетапного режиму металографічного травлення – ніталь / пікратного травлення:

- 1) Травлення у розчині 4 мл азотної кислоти в 100 мл етилового спирту протягом 15...20 секунд.
- 2) Травлення у розчині 4 г пікринової кислоти в 100 мл етилового спирту протягом 2...5 хвилин.

Рисунки 2 та 3 демонструють поліхромні, високого презентаційного ґатунку мікроструктури ВМ-сталі (110Г13Л), одержані на мікрошліфах з використанням двоетапного травлення, іменованого в наявній роботі і в розробленій технологічній інструкції ТИ-ИЛ-42-2016 ПАТ

«Дніпропетровський Стрілочний Завод», як «Метод 2».

Фотографічна реєстрація візуальних мікроструктурних зображень виконується при збільшеннях $\times 100$ за вимогами ГОСТ 7370 [7], EN 15689 [10] та $\times 500$ за вимогами ГОСТ 7370 [7]. Одночасна реєстрація масштабної шкали об'єкта - мікрометра (рис. 1 а, рис. 2 а, 3 а) та мікроструктури ВМ-сталі (110Г13Л) дозволяє забезпечити достовірну презентацію мікрофотографій структур промислових проб та виробів з прецизійним додержанням вимог нормативної документації, передумовлених [7, 10], стосовно збільшень $\times 100$ и $\times 500$.

Висновки. За результатами аналізу нормативних вимог [4 – 9] щодо сталі 110Г13Л (ВМ-сталі) розроблена та випробувана технологія підготовки зразків високомарганцевої сталі, та був здійснений вибір режимів її травлення.

Проведена мікрофотографічна реєстрація кількісних та якісних показників зереннограничної структури матеріалу виробу хрестовина залізнична за ГОСТ 7370-2015.

Розроблена, узгоджена та впроваджена до Системи управління якістю ПАТ «Дніпропетровський Стрілочний Завод» «Технологічна інструкція по приготуванню металографічних зразків, в тому числі для виготовлення кольорових фотографій найвищого презентаційного ґатунку зі сталі 110Г13Л виробу хрестовина залізнична за ГОСТ 7370-2015 з урахуванням вимог ASTM E3» № ТИ-ИЛ-42-2016.

Бібліографічний список

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки. Київ: Укрзалізниця, ДНДЦ УЗ. 2009. – 299 с.
2. Карпущенко Н.И. Железнодорожный путь / Н.И. Карпущенко, С.И. Клинов, Н.Н. Пугря, М.П. Смирнов; под ред. Т.Г. Яковлева. – М.: Транспорт, 1999. – 405 с.
3. Barberon M. Рынок крестовин стрелочных переводов / M. Barberon //La Vie du Rail. - 2002. - №229. - P. 42-45.
4. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия.
5. ГОСТ 2176 – 77 Отливки из высоколегированной стали со специальными свойствами. Общие технические условия.
6. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
7. ГОСТ 7370 – 2015 Крестовины железнодорожные. Технические условия.
8. ASTM E3 – 11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.
9. ASTM E112 – 10 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.
10. EN 15689:2009 Railway applications - Track - Switches and crossings - Crossing components made of cast austenitic manganese steel.
11. ГОСТ 21357 – 87 Отливки из хладостойкой и износостойкой стали. Общие технические условия.
12. Металловедение и термическая обработка. Справочник в 3-х томах /Под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта. – Т. 1 «Методы испытаний и исследований». – М.: Металлургия. – 1983 – 352 с.;
13. Неорганическое материаловедение: Энциклопедическое издание: Т. 1 «Основы науки о материалах» / под ред. В. В. Скорохода, Г. Г. Гнесина. – Киев: Наукова думка. – 2008. – 1152 с.
14. Беккерт М. Способы металлографического травления. Справочник / М. Беккерт, Х. Клемм. – М.: Металлургия. – 1988 – 400 с.;
15. Коваленко В.С. Металлографические реактивы. Справочник / В.С. Коваленко. – М.: Металлургия. – 1973 – 112 с.

Стаття постуила: 19.09.18