

МОДЕРНІЗАЦІЯ ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІКРОСТРУКТУРИ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

А.А. Бабінець, І.О. Рябцев, І.П. Лентюгов

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

У статті проведений аналіз способів модернізації оптичних мікроскопів для одержання цифрових зображень і спрощення їх наступного аналізу при проведенні базових металографічних досліджень зразків наплавленого металу. Розглянуто два основні способи модернізації – за допомогою фотоапарата, оснащеного спеціальними адаптерами, який закріплюється на тубусі окуляра мікроскопа, та за допомогою відеоокуляра, який встановлюється замість штатного окуляра мікроскопа. Відзначені основні переваги й недоліки кожного способу. Використовуючи металографічний мікроскоп МІМ-7, фотоапарат Canon 650D, відеоокуляр SIGETA MCMOS 3100, а також зразки мікрошліфів з наплавленим шаром полутеплостійкої сталі системи легування С–Cr–Mo–W–V, проведені порівняльні металографічні дослідження. Показано, що застосування спеціального відеоокуляра SIGETA MCMOS 3100 дозволяє одержувати більш якісні цифрові зображення мікроструктур металу. В якості ілюстрації основних переваг роботи, які надає використання модернізованого у такий спосіб устаткування, наведено результати металографічного дослідження металу, наплавленого електродуговим способом порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ. Експериментально встановлено, що програмне забезпечення Tourview, яке поставляється в комплекті до відеоокуляра SIGETA MCMOS 3100, який використовувався в даних дослідженнях, дозволяє легко проводити обробку отриманих цифрових зображень, що значно розширює можливості базового металографічного аналізу. Бібліогр. 10, рис. 7.

Ключові слова: металографія, оптичний мікроскоп, відеоокуляр, дугове наплавлення, порошковий дріт, наплавлений метал, полутеплостійка сталь

На сьогодні у багатьох сучасних металографічних науково-дослідних лабораторіях використовуються спеціальні цифрові мікроскопи, у яких зображення, отримане з оптичної системи приладу, передається безпосередньо на світлочутливу матрицю високої чіткості, що дозволяє легко проводити його подальшу комп'ютерну обробку [1]. Найчастіше спостереження досліджуваного об'єкта ведеться або через вбудований рідкокристалічний екран, або ж через екран ноутбука або персонального комп'ютера, до якого підключений даний мікроскоп. Це значно спрощує попередній пошук і дослідження у порівнянні з необхідністю постійно дивитися в окуляр мікроскопа.

Крім того, маючи цифрове зображення досліджуваних об'єктів, можна за допомогою відповідного програмного забезпечення (далі ПЗ) накладати спеціальні фільтри, виділяти потрібні області, «склеювати» кілька зображень в одне, проводити різні виміри і т. д., що значно розширює можливості базового металографічного аналізу, дозволяє знизити витрати часу й трудомісткість на його проведення [2]. Враховуючи те, що при розробці нових матеріалів чи технологій наплавлення доводиться виконувати великий об'єм попередніх експериментів по виготовленню та дослідженню макро- і мікрошліфів наплавленого металу, задача по спрощенню базового металографічного аналізу є досить актуальною.

Однак на даний момент деяка частина дослідницьких лабораторій все ще обладнана оптичними мікроскопами МІМ, МЕТАМ, ММУ та ін. моделей, у яких оптична система дозволяє одержувати чітке зображення зі збільшенням до 1000 раз, однак відсутня можливість одержання цифрових зображень досліджуваних об'єктів.

Метою роботи є аналіз і вибір способів модернізації оптичних мікроскопів для одержання цифрових зображень і способів спрощення їх наступного аналізу при проведенні базових металографічних досліджень, а також ілюстрація можливостей модернізованого металографічного обладнання на прикладі дослідження структури полутеплостійкого наплавленого металу системи легування С–Cr–Mo–W–V.

Аналіз способів модернізації оптичних мікроскопів. Враховуючи високу вартість як сучасних цифрових мікроскопів, так і комплексної професійної модернізації наявних оптичних мікроскопів, багато дослідників вживають спроби модернізації «самотужки». Для цієї мети часто використовуються або різні цифрові фотоапарати, або ж спеціальні відеоокуляри.

У першому випадку завдання вирішується декількома шляхами. Так, фотозйомку можна вести безпосередньо через окуляр мікроскопа, однак такий спосіб має значні недоліки [3, 4]:

Бабінець А.А. – <https://orcid.org/0000-0003-4432-8879>, Рябцев І.О. – <https://orcid.org/0000-0001-7180-7782>

Лентюгов І.П. – <https://orcid.org/0000-0001-8474-6819>

© А.А. Бабінець, І.О. Рябцев, І.П. Лентюгов, 2020

- необхідність забезпечення жорсткого закріплення окуляра з фотоапаратом і співвісності їх оптичних систем;
- необхідність забезпечення захисту від бічних засвічень;
- додаткова оптика (об’єктив фотоапарата) часто погіршує якість зображення, знижуючи його різкість і зменшуючи яскравість.

Для усунення цих недоліків зйомку через окуляр мікроскопа можна робити фотоапаратом без його об’єктива, замість якого безпосередньо використовується оптика мікроскопа [3, 4]. У цьому випадку можливі дві схеми роботи: зйомка через об’єктив і окуляр мікроскопа або зйомка тільки

через об’єктив мікроскопа (рис. 1). В обох випадках фокусування зображення здійснюється тільки мікротвинтом мікроскопа по зображенню на екрані фотоапарата.

Однак, як показує досвід використання вищезгаданих схем, найбільш якісні знімки вдається одержати при невеликих збільшеннях (не більше $\times 100$), або ж із застосуванням додаткової спеціальної дорогої оптики. Наприклад, у роботі [5] показана працездатність подібної модернізації мікроскопа Ломо Мета Р-1 шляхом заміни окуляра цифровою дзеркальною фотокамерою Canon 650D. Тобто зображення проектувалося на матрицю без використання окуляра мікроскопа й об’єктива фотоапарата – за схемою, наведеною на рис. 1, б.

За допомогою модернізованого мікроскопа авторами [5] були отримані цифрові зображення при збільшеннях $\times 10 \dots \times 40$ (рис. 2). З рисунка видно, що при збільшенні $\times 40$ якість зображення стає гірше – штатного освітлення вже явно недостатньо для одержання якісного зображення. Таким чином, використання схеми, зображеної на рис. 1, б значно обмежує можливості дослідника через те, що сумарне збільшення мікроскопа в цьому випадку буде забезпечуватися лише власним збільшенням використовуваних об’єктивів мікроскопа (найчастіше в межах $\times 4 \dots \times 90$) і можливостями цифрового масштабування фотоапарата. Крім того, саме зображення при всіх збільшеннях «засмічене» чорною окантовкою тубуса мікроскопа.

Як бачимо, одержання цифрових зображень з оптичного мікроскопа за допомогою звичайних цифрових фотоапаратів пов’язано з певними складнощами із забезпечення гарної якості зображень і необхідністю придбання фотоапарата з можливістю заміни об’єктива, спеціальних пере-

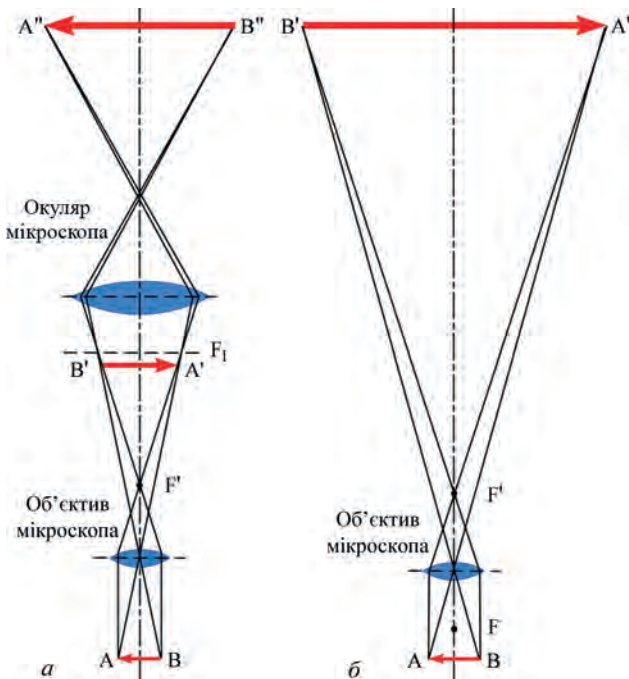


Рис. 1. Хід променів при фотозйомці об’єктивом і окуляром мікроскопа (а) і одним об’єктивом мікроскопа (б) [4]

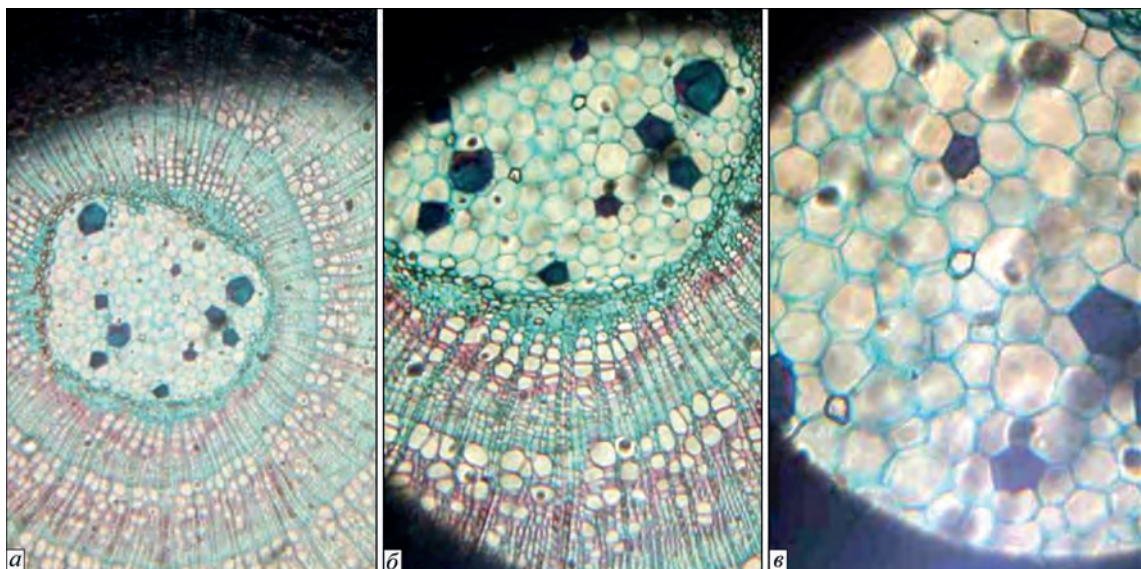


Рис. 2. Цифрове зображення об’єкта, отримане авторами роботи [5] при використанні об’єктивів зі збільшенням $\times 10$ (а), $\times 20$ (б) та $\times 40$ (в)

хідників під конкретну марку фотоапарата й мікроскопа, а також такого додаткового устаткування, як зовнішні освітлювачі і т. д.

До відзначених вище недоліків слід віднести необхідність виготовлення спеціальних адаптерів для закріплення фотоапарата на мікроскопі й відсутність рідного ПЗ для обробки отриманих цифрових зображень. Таке ПЗ дозволяє проводити калібрування системи, необхідну для проведення геометричних вимірів і наступного кількісного аналізу й у випадку придбання спеціальних відеоокулярів, як правило, поставляється в комплекті з ними.

Таким чином, до переваг використання цифрового фотоапарата разом з оптичним мікроскопом можна віднести лише три – це висока світлочутливість, висока роздільна здатність знімків і можливість тривалих витримок. Але й ці переваги залежать від вартості використовуваного устаткування, через те що ручні налаштування цих параметрів можливі лише в професійних фотоапаратах.

Виходячи з цього, більш привабливо виглядає використання спеціальних відеоокулярів, які дозволяють вести роботу із зображенням у режимі реального часу безпосередньо на екрані монітора комп'ютера. Перевагою такого устаткування є простота його встановлення замість рідного окуляра, а також відповідність роздільної здатності цифрового окуляра використовуваному збільшенню, що дозволяє одержувати зображення з максимальною деталізацією без сторонніх «шумів», що значно підвищує точність і відтворюваність результатів вимірів [6, 7].

Так, у роботі [6] дослідження проводилися на мікроскопі MIM-8, замість окуляра якого була встановлена цифрова камера Scope Tek DEM35, що дозволило одержати якісні зображення мікрошліфів чавунів марок СЧ15 та ВЧ400-12 і провести подальший аналіз цих зображень. У роботі [7] для дослідження мікроструктури використовували металографічний мікроскоп Метам ЛВ-42

при збільшенні $\times 50 \dots \times 1000$ разом із цифровим окуляром CAM V200.

Вартість цифрових відеоокулярів визначається, насамперед, роздільною здатністю одержуваного зображення, а також наявністю спеціального оптичного блоку (гомала) з певним збільшенням (найчастіше $\times 10$). Наявність гомала необхідна не тільки для одержання знімків з більшим збільшенням, але й для поліпшення якості самого зображення, тому що гомал служить компенсаційним окуляром для виправлення дефектів зображення внаслідок хроматичної аберації й особливо для випрямлення кривизни площини зображення. Також на вартість таких відеоокулярів впливає зручність, пропрацьованість і кількість вимірювальних інструментів у ПЗ, що поставляється разом з окуляром [2].

Використання такого ПЗ при наступній обробці й аналізі цифрових зображень дозволяє частково автоматизувати цей процес, значно знизити витрати часу й трудомісткість при проведенні, зокрема, металографічного аналізу, а також підвищити точність отриманих результатів [2]. Прикладами такого ПЗ можуть служити як платні Thixomet і ZEISS Axiovision, так і безкоштовні, такі як imagej, Jmicrovision і ін. [6–9].

Порівняльний аналіз двох способів модернізації мікроскопа. На підставі викладеного вище, з метою визначення кращого способу для модернізації оптичного мікроскопа, було вирішено провести порівняльні дослідження якості одержуваних цифрових зображень, використовуючи наступне устаткування: оптичний металографічний мікроскоп MIM-7, цифровий фотоапарат Canon 650D і відеоокуляр SIGETA MCMOS 3100. Через те, що відеоокуляр SIGETA поставляється з гомалом із власним збільшенням $\times 10$, для забезпечення однакових умов, зйомку за допомогою фотоапарата проводили без його об'єктива із встановленим у тубус мікроскопа стандартним окуляром з таким же збільшенням $\times 10$ (тобто за



Рис. 3. Фотоустаткування, яке використовувалося для модернізації мікроскопа MIM-7: фотоапарат Canon 650D з виготовленими під нього адаптерами (а); відеоокуляр SIGETA MCMOS 3100 із комплектними адаптерами та ПЗ Tourview (б)

схемою, зображеною на рис. 1, *а*). Об'єктив мікроскопа в обох випадках був однаковий – ахроматичний епіоб'єктив ЛООМП F-6,2; A-0,65, із власним збільшенням $\times 32$.

Через те, що мікроскоп МІМ-7 не обладнаний штатною системою для приєднання до нього фотоапарата, були виготовлені спеціальні адаптери, які одягалися на тубус окуляра мікроскопа й дозволяли закріпити на ньому фотоапарат (рис. 3, *а*). При цьому встановлення відеоокуляра SIGETA (рис. 3, *б*) на мікроскоп відбувалося значно простіше, адже в комплекті до нього вже присутні кілька адаптерів під найпоширеніші діаметри тубуса окуляра мікроскопа. Зовнішній вигляд мікроскопа МІМ-7, додатково укомплектований фотоапаратом і відеоокуляром, представлено на рис. 4.

Для прикладу, порівняння якості цифрових зображень, отриманих із цифрового фотоапарата Canon 650D і відеоокуляра SIGETA MCMOS 3100 виконували, використовуючи мікрошліфи металу, наплавленого порошковим дротом системи легування С–Cr–Mo–W–V (ПП-Нп-120В3ХМФ) [10].

Зразки для досліджень мікроструктури були вирізані із заготовок зі сталі Ст3, наплавлених у чотири шари цим дротом. Структуру наплавленого й основного металу виявляли хімічним травленням у 4%-му спиртовому розчині азотної кислоти HNO_3 . Перед проведенням вимірювань виконували калібрування мікроскопа та ПЗ за допомогою об'єкта-мікрометра.

Результати порівняльного аналізу двох способів модернізації мікроскопа. Значні відмінності при використанні фотоапарата й відеоокуляра для одержання цифрових зображень на оптичному мікроскопі спостерігаються вже на перших етапах роботи – при налаштуванні устаткування. У випадку використання фотоапарата необхідно правильно налаштувати величину витримки, діафрагми, світлочутливості, балансу білого і т. д., через те що най-

частіше автоматичні налаштування не дозволяють одержати прийнятну якість зображення. Зробити це на високому рівні, дивлячись у невеликий екран фотоапарата досить проблематично (рис. 4, *а*). Крім того, налаштуваннями фотоапарата так і не вдалося прибрати жовтизну зображення, яку дає лампа розжарювання, використовувана в мікроскопі МІМ-7.

Після встановлення відеоокуляра SIGETA у тубус мікроскопа він підключається за допомогою usb-кабелю до комп'ютера та, використовуючи ПЗ, яке поставляється у комплекті з відеоокуляром, виводить одержуване зображення на екран (рис. 4, *б*). Наведення на різкість і пошук потрібної ділянки мікрошліфа на великому екрані значно легше, а завдяки широким можливостям ПЗ Tourview, ручне налаштування якості (якщо автоматичні налаштування не влаштовують користувача) зображення, одержуваного з мікроскопа, займає не більше декількох хвилин. У режимі реального часу користувач може міняти «повзунками» такі параметри як витримка, баланс білого, колірний тон, насиченість, яскравість, контраст, різкість і ін., досягаючи максимальної якості одержуваного зображення. Також, використовуючи вбудовані можливості ПЗ, можна зменшувати «шум» зображення, виділяти на ньому об'єкти одного кольору, «зшити» кілька зображень в одне і т. д.

Для порівняння, зображення однакових ділянок зразка, отриманих за допомогою цифрового фотоапарата Canon 650D і відеоокуляра SIGETA при однаковому збільшенні ($\times 320$), наведені на рис. 5. Як видно, застосування відеоокуляра SIGETA дозволяє одержати більш високу якість і деталіровку зображення у порівнянні з використанням цифрового фотоапарата. Крім того, різкість зображень, отриманих за допомогою фотоапарата, не однакова по всій площі знімка – зона різкості в центральній частині знімка займає близько 45 % від його загальної площі (рис. 5, *а, б*). Зображення, отримане за допомогою

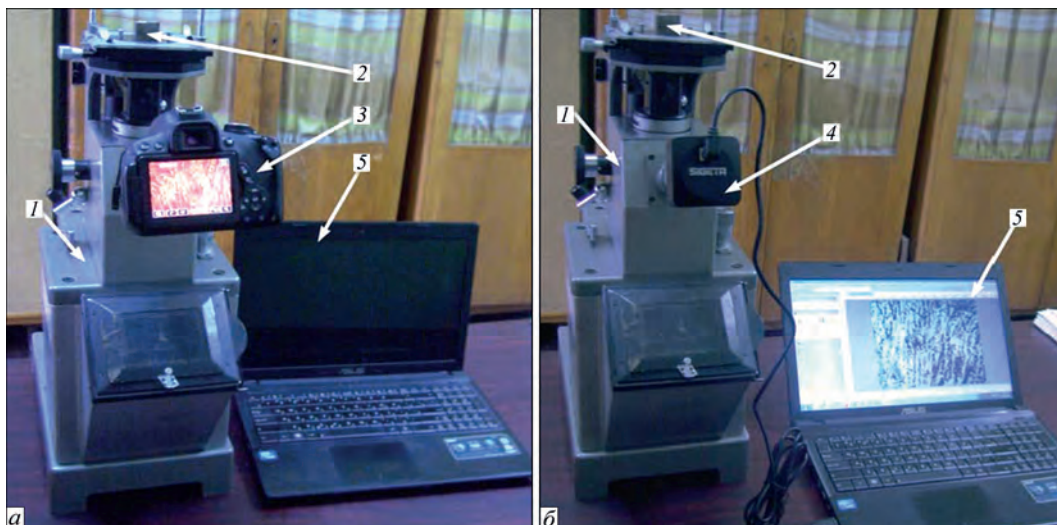


Рис. 4. Модернізований мікроскоп МІМ-7 при використанні фотоапарата (*а*) або відеоокуляра (*б*): 1 – мікроскоп МІМ-7; 2 – досліджуваний зразок; 3 – фотоапарат Canon 650D; 4 – відеоокуляр SIGETA; 5 – ноутбук із спеціальним ПЗ.

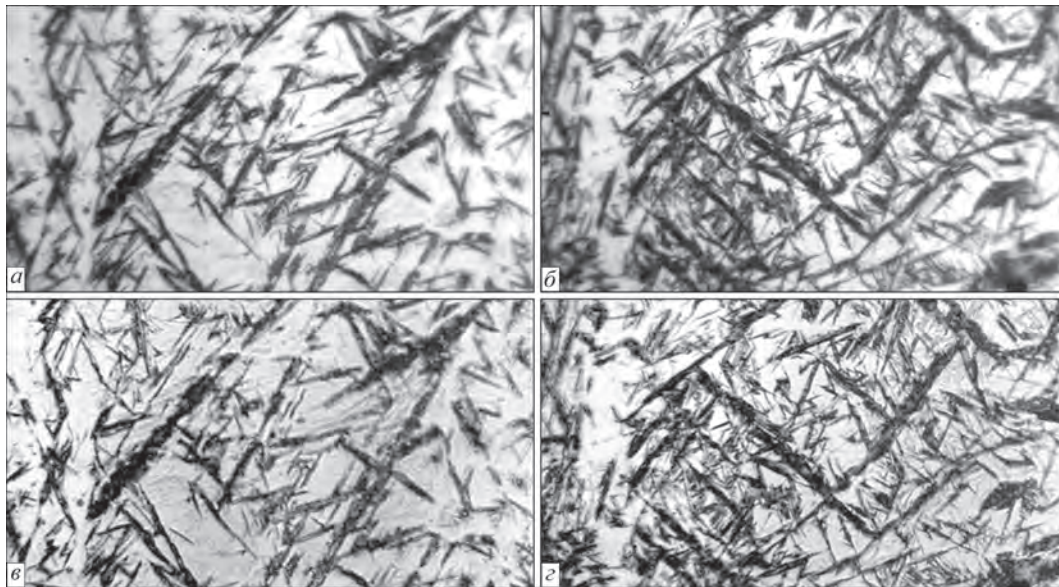


Рис. 5. Мікроструктура ($\times 320$) зразка, наплавленого дротом ПП-Нп-120В3ХМФ. Фото отримане за допомогою фотоапарата Canon 650D (а, б) та відеоокуляра SIGETA MCMOS 3100 (в, з)

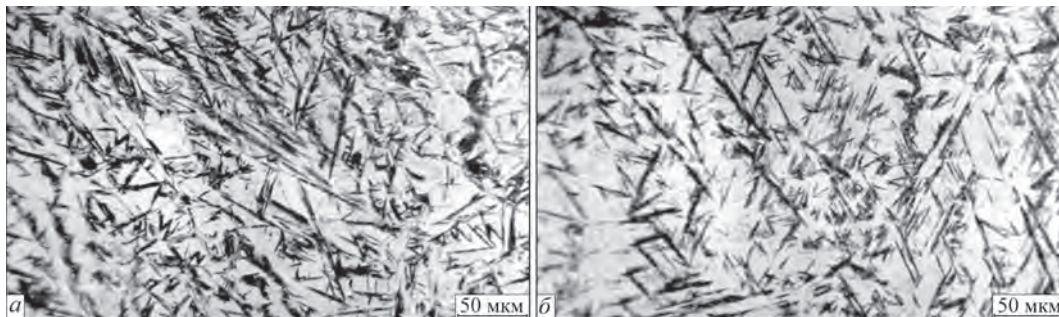


Рис. 6. Мікроструктура ($\times 320$) металу в центрі (а) та у верхнього краю (б) шару, наплавленого порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ

відеоокуляра SIGETA, має більш рівномірну різкість практично по всій площі знімка (рис. 5, в, з). У цьому випадку область із гарною різкістю становить більше 85 % від площі знімка.

Враховуючи описані вище переваги застосування відеоокуляра SIGETA, в якості ілюстрації, далі більш повно наведено можливості роботи з даним устаткуванням та ПЗ Tourview при проведенні металографічного аналізу.

Структура металу, наплавленого порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ, складається з мартенситу з великими й дрібними голками різної протравленості та невеликої кількості залишкового аустеніту (рис. 6, а). У верхнього краю наплав-

леного металу кількість залишкового аустеніту трохи збільшується, а розмір голок мартенситу навпаки – зменшується (рис. 6, б). При цьому характерна структура литого металу зберігається по всій висоті наплавленого шару. Аналіз структури металу в зоні термічного впливу (ЗТВ) показав (рис. 7, а), що вона складається з феритно-перлітної суміші, при цьому кількість фериту переважає.

Слід відзначити, що в наплавлених зразках виявлені окремі пори в нижньому шарі наплавленого металу, поблизу лінії сплавлення (рис. 7, б). Середній розмір пор становить 76 мкм. Також на полірованих нетравлених зразках визначали розміри, кількість і бал неметалічних включень. У

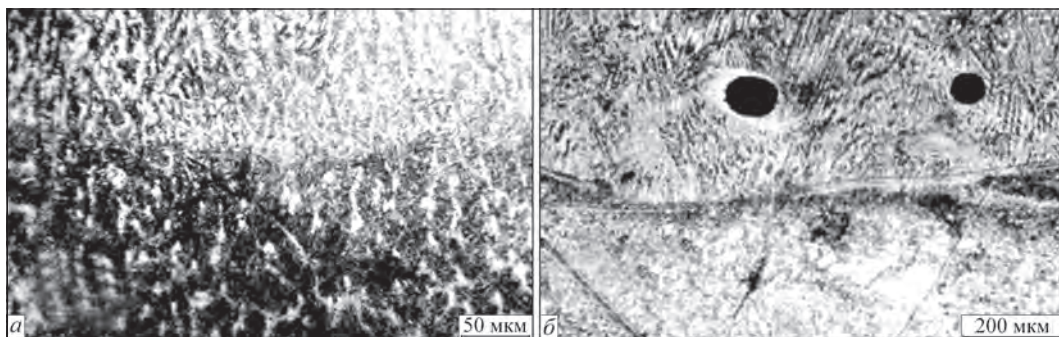


Рис. 7. Мікроструктура металу біля лінії сплавлення в зразку, наплавленого дротом ПП-Нп-120В3ХМФ: а – $\times 320$; б – $\times 90$

досліджуваних зразках виявлені оксиди, сульфіді й оксисульфіді. Кількість включень невелика, розташовані вони досить рівномірно й мають переважно округлу форму. Об'ємна частка включень у металі, наплавленому дослідним порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ, склала 0,18 %.

Висновки

1. Для модернізації оптичних мікроскопів з метою одержання цифрових зображень, існує кілька різних способів, найбільш доцільним з яких є застосування цифрових відеоокулярів, що встановлюються безпосередньо в тубус мікроскопа без будь-яких додаткових маніпуляцій. Значно прискорити й спростити вимірювання при проведенні базового металографічного аналізу можна використовуючи спеціалізоване ПЗ для обробки цифрових зображень.

2. Використовуючи мікрошліфи металу, наплавленого порошковим дротом системи легування С–Cr–Mo–W–V (ПП-Нп-120В3ХМФ), показано основні переваги та можливості металографічного аналізу, проведеного за допомогою мікроскопу МІМ-7, модернізованого шляхом встановлення відеоокуляра SIGETA MCMOS 3100 та використання ПЗ Touview 3.7.

Список літератури

1. Литовченко С.В., Малыгина Т.В., Шпагина Л.О. (2011) Автоматизация анализа металлографических структур. *Вісник Харківського національного університету*, 960, 215–223.
2. Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. (2005) *Компьютерная микроскопия*. Москва, Техносфера.
3. Транковский С.Д. (2014) Как работает микроскоп. *Наука и жизнь*, 2, 101–104.
4. Hawkins A., Avon D. (1980) *Photography: The guide to technique*. London, Book Club Associates.
5. Гужов В.И., Ильтимиров Д.В., Хайдуков Д.С. и др. (2016) Модификация оптических микроскопов. *Автоматика и программная инженерия*, 2, 71–76.
6. Лутай А.М., Климчук О.С., Ключинський В.Б. (2016) Автоматизация анализа металлографических структур.

Матеріали III міжн. науково-практ. конф. «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології». Київ, НТУУ «КПІ», сс. 121–123.

7. Глухова К.Л., Долгодворов А.В. (2014) Исследование микроструктуры композиционного конструкционного материала на этапе получения углепластика. *Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника*, 2, 222–235.
8. Терновых А.М., Тронза Е.И., Юдин Г.А., Дальская Г.Ю. (2013) ELEMENTIZER – программный модуль микроструктурного анализа. *Вестник МПГУПИ. Серия: приборостроение и информационные технологии*, 44, 106–114.
9. Зубко Ю.Ю., Фролов Я.В., Бобух А.С. (2017) Влияние МНРКУП на микроструктуру АД0. *Обработка материалов давлением*, 2, 93–100.
10. Lentyugov, I.P., Ryabtsev, I.A. (2015) Structure and properties of metal deposited by flux-cored wire with charge of used metal-abrasive wastes. *The Paton Welding J.*, 5/6, 87–89. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.19>

References

1. Litovchenko, S.V., Malykhina, T.V., Shpagina, L.O. (2011) Automation of analysis of metallographic structures. *Vіsnyk KhNU*, 960, 215–223 [in Russian].
2. Panteleev, V.G., Egorova, O.V., Klykova, E.I. (2005) *Computer microscopy*. Moscow, Tekhnosfera [in Russian].
3. Trankovsky, S.D. (2014) How the microscope operates. *Nauka i Zhizn*, 2, 101–104 [in Russian].
4. Hawkins, A., Avon, D. (1980) *Photography: The guide to technique*. London, Book Club Associates.
5. Guzhov, V.I., Iltimirov, D.V., Khaidukov, D.S. et al. (2016) Modification of optical microscope. *Avtomatika i Programnaya Inzheneriya*, 2, 71–76 [in Russian].
6. Lutai, A.M., Klimchuk, O.S., Klyufinskiy, V.B. (2016) Automation of analysis of metallographic microstructures. In: *Proc. of 3rd Int. Sci.-Pract. Conf. on Automation and Computer-Integrated Technologies*. Kyiv, NTUU KPI, 121–123.
7. Glukhova, K.L., Dolgodvorov, A.V. (2014) Examination of microstructure of composite structural material at the stage of carbon-filled plastic producing. *Vestnik PNIPIU. Aerokosmicheskaya Tekhnika*, 2, 222–235 [in Russian].
8. Ternovyykh, A.M., Tronza, E.I., Yudin, G.A., Dalskaya, G.Yu. (2013) ELEMENTIZER – program module of microstructural analysis. *Vestnik MPGUPiI. Priborostroenie i Informatcionnye Tekhnologii*, 44, 106–114 [in Russian].
9. Zubko, Yu.Yu., Frolov, Ya.V., Bobukh, A.S. (2017) Influence of MECAP on microstructure of AD0. *Obrabotka Materialov Davleniem*, 2, 93–100 [in Russian].
10. Lentyugov, I.P., Ryabtsev, I.A. (2015) Structure and properties of metal deposited by flux-cored wire with charge of used metal-abrasive wastes. *The Paton Welding J.*, 5/6, 87–89. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.19>

MODERNIZATION OF OPTICAL MICROSCOPE AND ITS USE TO OBTAIN DIGITAL IMAGES OF MICROSTRUCTURE OF DEPOSITED METAL

A.A. Babinets, I.O. Riabtsev, I.P. Lentyugov

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

The article analyzes the methods of modernization of optical microscopes to obtain digital images and simplifies their subsequent analysis while conducting basic metallographic examinations of deposited metal specimens. Two main methods of modernization were considered: with the help of a camera, equipped with special adapters, which is attached to the tube of the microscope eyepiece and with the help of a video eyepiece, which is installed instead of a standard microscope eyepiece. The main advantages and disadvantages of each method were noted. Using MIM-7 metallographic microscope, Canon 650D camera, SIGETA MCMOS 3100 video eyepiece, as well as specimens of microsections with a deposited layer of semi-heat-resistant steel of C – Cr – Mo – W – V alloying system, comparative metallographic examinations were performed. It is shown that the use of a special video eyepiece SIGETA MCMOS 3100 allows obtaining better digital images of metal microstructures. As an illustration of the main advantages of the work, provided by the use of the equipment modernized in this way, the results of metallographic examination of metal, deposited by electric arc method using flux-cored wire PP-NP-120V3KhMF, were provided. It was experimentally established that the Touview software, supplied with the eyepiece SIGETA MCMOS 3100, used in these examinations, allows easy processing of the obtained digital images, which greatly expands the capabilities of basic metallographic analysis. 10 Ref., 7 Fig.

Key words: metallography, optical microscope, video eyepiece, arc surfacing, flux-cored wire, deposited metal, semi-heat-resistant steel

Надійшла до редакції 17.11.2020