

Олександр Кошелькандидат технічних наук,
судовий експерт,

Науково-дослідний центр незалежних судових експертиз

Міністерства юстиції України

<https://orcid.org/0000-0002-0421-7800>

ВІДНОВЛЕННЯ ВИДАЛЕНОГО МАРКУВАННЯ ТОВСТОСТІННИХ ОБ'ЄКТІВ МЕТОДОМ МОВ

У статті доведено ефективність застосування методу магнітооптичної візуалізації (далі - МОВ) для відновлення видаленого рельєфного маркування для товстостінних сталевих об'єктів, причому цей метод також ефективний для дослідження великих за розмірами площадок маркування.

Завдання відновлення маркування для великих металевих об'єктів має актуальність не тільки внаслідок їх вартості, так, для військових об'єктів вирішення цих питань дає можливість отримати необхідну ідентифікаційну інформацію. Місця нанесення заводських номерів для таких об'єктів часто розташовані на нахилених та криволінійних поверхнях, дослідження яких становить труднощі для методів, що використовують рідину.

Викладено стислий огляд фізичної сутності та алгоритму дослідження МОВ, приведені параметри розмірів ділянки, що досліджується, та тривалість дослідження.

На сьогодні не досить досліджено фізичні процеси формування внутрішніх напружень і чутливість методу МОВ для товстих шарів металу. Практичне використання методу МОВ свідчить про його успішне застосування для дослідження товстостінних виробів.

Продемонстровані приклади відновлення видаленого первісного маркування для об'єктів, виготовлених з двох різних типів сталей. Для сталі, яка має більш високі механічні властивості, візуалізація дає більш чітке зображення видалених знаків, ніж для пластичної м'якої сталі. Результат дослідження поверхні з видаленим маркуванням був достатній для вирішення поставлених питань з відновлення видалених знаків та встановлення необхідних ідентифікаційних даних в обох випадках.

Метод магнітооптичної візуалізації має неруйнівний характер та швидкість дослідження, дозволяє дослідити великі поверхні (зробити «картування» зі зшитих зображень), зробити дослідження криволінійних та нахилених поверхонь, має можливість регулювання чутливості.

Обладнання, яке застосовується, виготовлено для роботи в польових умовах у широкому діапазоні температур, характеризується мобільністю та автономністю. Метод магнітооптичної візуалізації успішно використовується в експертних дослідженнях, зокрема, товстостінних об'єктів.

Ключові слова: магнітооптична візуалізація, неруйнівний метод відновлення видаленого маркування, товстостінні об'єкти.

Постановка проблеми. Для дослідження рельєфного маркування застосовуються різні методи та методики, які постійно вдосконалюються. Однією з причин розвитку технічних засобів для відновлення видаленого рельєфного маркування металевих об'єктів є необхідність досліджувати криволінійні

та нахилені поверхні, на сьогодні вирішення такого завдання не повністю вирішується способами, що мають загальне використання.

На відміну від руйнівних або складних фізичних досліджень, які можливі в умовах наукових лабораторій, метод магнітооптичної візуалізації отримав у деяких країнах широке

використання для дослідження транспортних засобів (у тому числі під час огляду).

Вивчення чутливості цього методу та його застосування були зосереджені на дослідженні сталевих об'єктів товщиною до 2,5 мм. Водночас технічний комплекс, що реалізує метод магнітооптичної візуалізації, дозволяє його використання для дослідження великих масогабаритних об'єктів, у т.ч. у складних польових умовах. На сьогодні не досить досліджень щодо вивчення чутливості магнітооптичної візуалізації та ефективності його застосування для товстостінних об'єктів на практиці.

Мета статті. У статті висвітлено можливості методу магнітооптичної візуалізації за результатами досліджень в експертній роботі рельєфного маркування товстостінних металевих об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість робіт стосовно застосування магнітооптичної візуалізації для дослідження маркування виконали українські автори С. В. Левий, Ю. С. Агаліді, Г. В. Прохоров-Лукін, А. В. Мачнев. Вивчення чутливості цього методу та його застосування були зосереджені на дослідженні сталевих об'єктів товщиною до 2,5 мм і практично не представлені результати досліджень щодо чутливості методу і його ефективності для відновлення видаленого маркування металевих об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Маркування деталей, для яких передбачена наявність ідентифікаційних даних □ литі корпуси, масивні деталі (у т.ч. деталі зброї), а також вироби, які виготовлені з товстостінного прокату, передбачає нанесення цифролітерних заводських даних, рисунка (товарного знака) способом, який гарантовано витримає життєвий термін виробу. Найбільш поширеним для маркування таких виробів є нанесення рельєфного маркування ударним способом (вручну або механічно) з використанням клейм, штампів або маркіраторів (у серійному виробництві).

Виходячи зі специфіки конструктивних особливостей, масивності та характеру експлуатації виробу наявні обмеження щодо доступних для огляду поверхонь. Нанесення маркування нерідко здійснюється на плоских нахилених або на циліндричних та кулястих поверхнях.

У таких випадках проведення досліджень, в яких використовуються рідиновмісні речо-

вини, мають певні труднощі та обмеження. До того ж частина з досить ефективних методів є руйнівними, тому у разі їх використання є ризик безповоротної втрати даних з інформативних поверхневих шарів маркувальної площадки.

Для підвищення ефективності досліджень «незручних» поверхонь постійно розробляються нові способи. Так, у роботі 2023 року [1, с. 1] для дослідження вертикальних поверхонь алюмінієвих корпусів двигунів пропонується використовувати хімічну пасту замість рідини.

За довгий час широкого практичного застосування для дослідження металевих поверхонь з видаленим рельєфним маркуванням накопичений чималий практичний досвід використання розчинів для травлення, електрохімічного та магнітопорошкового методів.

Поряд з цими загальновідомими методами неруйнівний метод магнітооптичної візуалізації має досить міцний та мало вичерпаний на сьогодні потенціал для досягнення успішного дослідження рельєфного маркування металевих об'єктів.

З огляду на обмежену на сьогодні практику застосування цього методу, а отже, недостатню, на думку автора, обізнаність щодо його особливостей та інформації стосовно технічних засобів, приводиться стислий опис цього методу дослідження перед викладенням матеріалу щодо товстостінних об'єктів.

Застосування магнітооптичного методу візуалізації внутрішніх напружень приповерхневих шарів магнітних сплавів для дослідження рельєфного маркування має свою історію, яка на сьогодні нараховує близько 20 років і пов'язана з комплексами «Regula» (автори методу та розробники - українські науковці). За цей час відбувся розвиток як теоретичних досліджень можливостей методу, так і технічних розробок, що дозволяють реалізовувати теоретичні напрацювання для експертних досліджень [2, с. 589].

Технічні комплекси, які застосовуються в експертних дослідженнях, зазнали суттєвої еволюції за всіма параметрами, які є важливими в практичних дослідженнях, серед яких - мобільність та автономність, надійність та стабільність роботи. Професійна інженерна багаторічна робота з удосконалення вузлів та складників технічного комплексу дозволила суттєво підвищити зручність вико-

ристання обладнання, надійність його роботи у разі температур нижче нуля та в польових умовах.

Загальний вигляд комплексу представлено на рис. 1.



Рис. 1. Комплекс «Regula» у комплектації для дослідження зброї

Алгоритм проведення досліджень складається з трьох етапів. На першому етапі (магнітографування) здійснюється копіювання магнітних полів з ділянки дослідження – накладається магнітна стрічка (рис. 1, поз. 1), по ній проводиться магнітний сканер одного з двох типів (рис. 1, поз. 2 і 3), на другому етапі магнітна стрічка вставляється у «зчитувач» (рис. 1, поз. 4), на третьому етапі зберігається та обробляється отриманий цифровий сигнал, створюються файли, що візуально відображають результати.

Сутність фізичних процесів така. Під час магнітографування відбувається збудження магнітних полів розсіювання в контактній зоні під сканером та відбувається їх «запис» на магнітну стрічку, далі здійснюється перетворення наведених полів розсіювання за допомогою магнітооптичного ефекту Фарадея в плівці Ві-вмісних ферритгранатів (у блоці зчитування відбувається автоматичне перетворення копії магнітного поля в цифровий сигнал). Результатом застосування методу є можливість зробити візуальний аналіз зображення та провести його обробку за допомогою різноманітних інструментів спеціалізованого програмного забезпечення «NUCA» на ноутбучі (рис. 1).

Магнітне копіювання можна здійснювати багато разів без втрати характеристик ділянки, що досліджується. Розмір ділянки, що досліджується за один цикл, відповідає розміру магнітної стрічки шириною

18 мм і довжиною до 20 см. Тривалість одного циклу становить декілька хвилин. Магнітна копія на стрічці зберігається роками.

Дослідження успішно здійснюються без зняття лакофарбового покриття товщиною до 240 мкм. Але наявність магнітоекрануючих покриттів (наприклад, фарби на основі металевих порошків) зменшує чутливість за рахунок створення перешкод для збудження відклику сканером та його копіювання.

Під час магнітографування об'єкт дослідження піддається невеликому навантаженню внаслідок тиску сканером (який проводиться рукою) та дії магнітного поля від сканера, також може застосовуватися статичне або динамічне підмагнічування під час копіювання.

Дослідження чутливості методу МОВ порівняно з основними методами дослідження, що використовуються в експертній практиці, викладені в роботах [3, с. 93-94; 4, с. 106-107; 5, с. 118-119]. Для використаних у цих роботах сталених зразків метод МОВ демонструє низку переваг щодо інформативності результату досліджень. Дослідження проводилися на металевих зразках товщиною від 1,5 до 2,5 мм, що моделювали маркування корпусів автотранспортних засобів.

Після проведення цих порівняльних досліджень у 2008 році було модернізовано сканери та інші складники, що призвело до підвищення чутливості цього способу дослідження, на сьогодні проведення досліджень можливе для залізобетонних сплавів, алюмінієвих сплавів та деяких видів нержавіючих сталей.

Поряд з традиційними для МОВ дослідженнями автотранспортних засобів було розпочато дослідження маркування деталей зброї та з часом великих масогабаритних об'єктів.

З огляду на те, що товстостінні об'єкти з рельєфним маркуванням є окремими корпусними виробами, корпусами механізмів або великими масивними складниками крупних вузлів, грошова вартість таких виробів може становити чималі цифри, і перевірка або відновлення ідентифікаційних даних може бути винятковою значущістю в розслідуванні. Ще одним важливим аспектом таких об'єктів може бути їх належність до предметів військової техніки або зброї, в такому випадку значимість розслідування має додаткові аспекти зовсім іншої, ніж ціновий фактор, важливості.

Фізичні моделі процесів утворення внутрішніх напружень у тонкостінних і товстостінних об'єктах має суттєві відмінності: у перших внаслідок ударного впливу клейма у разі використання підпору фронт мікродеформацій не може вільно розповсюджуватися, створюються умови для утворення наклепу по всій товщині ділянки з маркуванням.

Для товстостінних об'єктів навіть у разі використання упору глибина проникнення фронту мікродеформацій не розповсюджується на всю товщину металу. Для різних сплавів внаслідок різних механічних властивостей глибина фронту мікродеформацій та відповідно товщина шару із залишковими напруженнями, що визначає ефективність дослідження, буде також суттєво відрізнятися.

Таким чином, залежно від товщини металу та його механічних властивостей, моделі формування зон залишкових напружень кількісні фізичні характеристики цих зон будуть різними. Проведення досліджень фізичної сутності цих процесів виходить за рамки цієї роботи, потребує додаткових теоретичних досліджень, підготовки і проведення практичних дослідів.

На сьогодні застосування МОВ дозволяє використовувати декілька способів підвищення чутливості в результаті розробки та модернізації техніки останніми роками, які успішно випробувані в експертних дослідженнях.

У цій публікації приведені результати дослідження механічно видаленого маркування для сталей двох рівнів механічних властивостей на прикладі затворних рам автомата та корпусів контейнерів, що працюють під тиском. Матеріал затворної рами – середньолегована вуглецева сталь (сталі 25Х2Н4МА, 30ХГСА, 40Х), корпус контейнера виготовлений з низьколегованої сталі 09Г2С.

Сталі за фазовим складом належать до різних типів, мають різну твердість та характеристики міцності (які відрізняються до 2 разів). Товщина металу в ділянках дослідження для затворної рами становить близько 5 мм та 10 мм для контейнера.

Маркування на затворних рамах було видалено механічним способом абразивним інструментом [6], один з характерних прикладів стану поверхні після видалення наведено на рис. 2.

Результат дослідження ділянки видаленого маркування (рис. 2) представлено на

рис. 3. Відновлення елементів первісного маркування досить повне, щоб встановити всі знаки заводського номера.

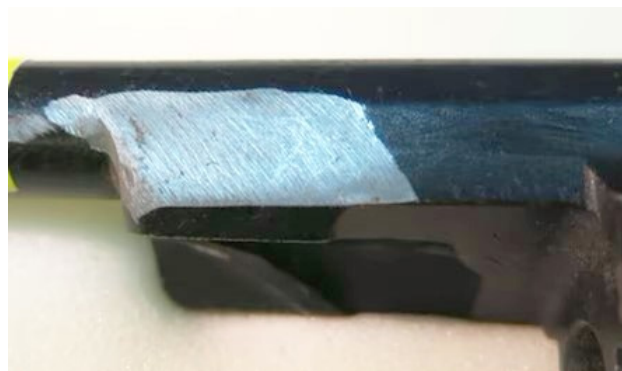


Рис. 2. Загальний вигляд поверхні місця маркування на рамі [6]

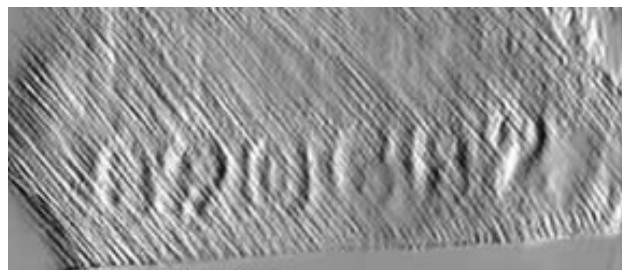


Рис. 3. Магнітооптична візуалізація поверхні видаленого маркування

Всього було досліджено понад 20 об'єктів з високим результатом відновлення заводських номерів.

Розміри та кривизна поверхні дослідження для контейнера значно більші, ніж для затворної рами: на рис. 4 представлено загальний вид контейнера з маркувальною площадкою (а) та частину ділянки з маркуванням (б).

На рис. 5 представлено результат відновлення видаленого маркування методом МОВ для двох ділянок площадки маркування.

Було досліджено понад 20 контейнерів з хорошим результатом відновлення маркування, що дозволило отримати позитивні висновки з поставлених питань.

Порівняння результатів візуалізації магнітних копій з поверхні видаленого маркування для затворної рами та контейнерів демонструє очікувано різний рівень видимості відновлених знаків маркування.

Дані щодо товщини видаленого шару поверхні маркування на цих об'єктах невідомі, але за результатами дослідження видно, що знаки видалені на всю глибину



а) Загальний вигляд маркувальної площадки контейнера



б) Частина номерної площадки
Рис. 4. Загальний вигляд поверхонь з маркуванням контейнера

шрифту. Висота цифр для затворної рами та контейнера відрізняється орієнтовно в два рази, глибина шрифту для контейнера (орієнтовно 0,5 мм) більша, ніж у рами, тому середня товщина видаленого шару з поверхні затворної рами автомата менша, ніж для контейнера.

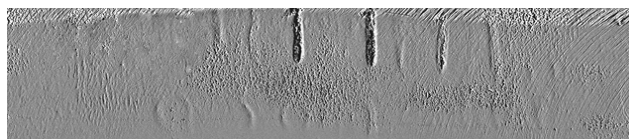
Внаслідок цих двох факторів (менший початковий рівень напружень та більша товщина видаленого шару для контейнера) видимість цифр для контейнера менша, ніж для затворної рами, але інформативність отриманих результатів дослідження достатня для вирішення поставлених питань.

Висновки.

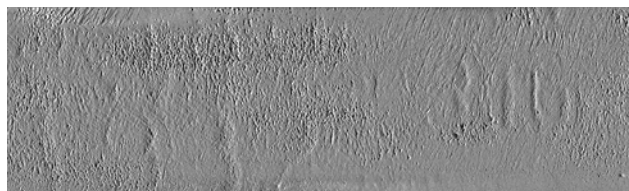
Метод магнітооптичної візуалізації:

Список використаної літератури:

1. Serdar Uysal, Emre Can Yildiz, Canan Armutcu, Aylin Yalçın Sarıbey, Lokman Uzun. Development of etching paste for serial number restoration on aluminum engine block. *Journal of Forensic Sciences*. Volume 68, Issue 4, July 2023, P. 1325-1329. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15303>.



а) середня частина площадки маркування з рис. 4б



а) нижня частина площадки маркування з рис. 4б
Рис. 5. Магнітооптична візуалізація поверхні об'єкта дослідження

1. Має неруйнівний характер дослідження металевих поверхонь з видаленим маркуванням.

2. Дозволяє досліджувати криволінійні поверхні, у т.ч. в умовах обмеженого доступу.

3. Дозволяє зробити картування та зшити зображення для великих поверхонь (внаслідок можливості багаторазового дослідження тих самих ділянок, але з «кроком» магнітної стрічки).

4. Має можливість підвищення чутливості за рахунок застосування декількох варіантів технічних складників.

5. Внаслідок своєї фізичної природи та перевірених багаторічних і новітніх розробок пристосований для досліджень у польових умовах.

6. Дозволяє виконувати багатооб'єктні дослідження за короткий час, який здебільшого можна віднести до експресних.

7. Не потребує складної підготовки поверхні та складних умов проведення робіт.

Зазначені якості методу МОВ та наявний рівень чутливості обладнання дозволяють успішно використовувати його для дослідження товстостінних предметів та великих об'єктів. Практичні результати, які були отримані в ході різноманітних експертних досліджень, не обмежуються представленими результатами та мали високу ефективність у відновленні видаленого рельєфного маркування.

2. Кошель О. Ю. Технічний розвиток методу магнітооптичної візуалізації для дослідження рельєфних знаків металевих об'єктів. *Криміналістика і судова експертиза*. Вип. 66. 2021. С. 586-603. <https://doi.org/10.33994/kndise.2021.66.55>.
3. Агаліді Ю. С., Левий С. В., Мачнев А. М., Прохоров-Лукин Г. В. Порівняльна оцінка чутливості магнітооптичного, магнітопорошкового та електрохімічного методів під час дослідження видаленого рельєфного маркування. Частина 1. Теоретичний аналіз і підготовка експерименту. *Криміналістика і судова експертиза*. Вип. 54. 2008. С. 80-94.
4. Агаліді Ю. С., Левий С. В., Мачнев А. М., Прохоров-Лукин Г. В. Порівняльна оцінка чутливості магнітооптичного, магнітопорошкового та електрохімічного методів під час дослідження видаленого рельєфного маркування. Частина 2. Експериментальні дослідження тонкостінних тест-об'єктів. *Криміналістика і судова експертиза*. Вип. 54. 2008. С. 94-108.
5. Агаліді Ю. С., Левий С. В., Мачнев А. М., Прохоров-Лукин Г. В. Порівняльна оцінка чутливості магнітооптичного, магнітопорошкового та електрохімічного методів під час дослідження видаленого рельєфного маркування. Частина 3. Експериментальні дослідження товстостінних тест-об'єктів. *Криміналістика і судова експертиза*. Вип. 54. 2008. С. 108-119.
6. У СБУ показали зброю, знайдену після вбивств на Майдані. *Українська правда*. 06.02.2016. URL: <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2016/02/6/7098086/>.

References:

1. Serdar Uysal, Emre Can Yildiz, Canan Armutcu, Aylin Yalçın Sarıbey, Lokman Uzun. Development of etching paste for serial number restoration on aluminum engine block. *Journal of Forensic Sciences*. Volume 68, Issue 4, July 2023, P. 1325-1329. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15303> [in English].
2. Koshel O. Yu. Technical development of the magneto-optical visualization method for examining embossed marks on metallic objects. *Kryminalistyka i sudova ekspertyza*. Vyip. 66. 2021. С. 586-603. <https://doi.org/10.33994/kndise.2021.66.55>. [in Ukrainian].
3. Agalidi Yu. S., Levyiy S. V., Machnev A. M., Prohorov-Lukin G. V. Sravnitel'naya otsenka chuvstvitelnosti magnitoopticheskogo, magnitoporoshkovogo i elektrohimicheskogo metodov pri issledovanii udalyonnoy releyfnoy markirovki. Chast 1. Teoreticheskiy analiz i podgotovka eksperimenta. *Kriminalistika i sudebnaya ekspertiza*. 2008. Vyp. 54. Pp. 80-94.
4. Agalidi Yu. S., Levyiy S. V., Machnev A. M., Prohorov-Lukin G. V. Sravnitel'naya otsenka chuvstvitelnosti magnitoopticheskogo, magnitoporoshkovogo i elektrohimicheskogo metodov pri issledovanii udalyonnoy releyfnoy markirovki. Chast 2. Eksperimentalnyie issledovaniya tonkostennyih test-ob'ektov. *Kriminalistika i sudebnaya ekspertiza*. 2008. Vyp. 54. Pp. 94-108.
5. Agalidi Yu. S., Levyiy S. V., Machnev A. M., Prohorov-Lukin G. V. Sravnitel'naya otsenka chuvstvitelnosti magnitoopticheskogo, magnitoporoshkovogo i elektrohimicheskogo metodov pri issledovanii udalyonnoy releyfnoy markirovki. Chast 3. Eksperimentalnyie issledovaniya tolkostennyih test-ob'ektov. *Kriminalistika i sudebnaya ekspertiza*. 2008. Vyp. 54. Pp. 108-119.
6. The Security Service of Ukraine (SBU) displayed weapons found after the killings on Maidan. *Ukraynskaia pravda*. Retrieved from: <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2016/02/6/7098086/>.

Oleksandr Koshel. Restoration of deleted markings on thick-walled objects using the magneto-optical imaging method (MOI)

The article demonstrates the effectiveness of the magneto-optical imaging (MOI) method for restoring deleted embossed markings on thick-walled steel objects. This method has also proven effective for examining large marking areas.

The task of restoring markings on large metal objects is relevant not only due to their value but also because, for military objects, resolving such issues provides essential identification information. Factory serial number markings on these objects are often located on inclined or curved surfaces, which pose challenges for liquid-based methods of investigation.

A concise overview of the physical principles and investigation algorithm of the magneto-optical imaging (MOI) method is presented, along with the parameters of the area under study and the duration of the investigation.

Currently, the physical processes of internal stress formation and the sensitivity of the MOI method for thick metal layers have not been sufficiently studied. However, practical application of the MOI method demonstrates its successful use for examining thick-walled products.

Examples of restoring deleted original markings on objects made of two different types of steel are shown. For steel with higher mechanical properties, visualization provides a clearer image of the deleted markings compared to soft, ductile steel. The results of surface analysis with removed markings were sufficient to address the tasks of restoring deleted symbols and obtaining the necessary identification data in both cases.

The magneto-optical imaging (MOI) method is non-destructive, offers rapid investigation, and enables the examination of large surfaces through “mapping” using stitched images. It also allows for the analysis of curved and inclined surfaces and provides adjustable sensitivity.

The equipment used is designed for field operations within a wide temperature range, characterized by mobility and autonomy. The magneto-optical visualization method is successfully applied in expert investigations, particularly for thick-walled objects.

Keywords: magneto-optic imaging, non-destructive method for restoring deleted markings, thick-walled objects.