

DOI: <https://doi.org/10.33994/kndise.2021.66.55>
УДК 343.983

Олександр Юрійович Кошель
кандидат технічних наук
старший науковий співробітник

ORCID 0000-0002-0421-7800
E-mail: okukraine@gmail.com

*Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України*

ТЕХНІЧНИЙ РОЗВИТОК МЕТОДУ МАГНІТООПТИЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЬЄФНИХ ЗНАКІВ МЕТАЛЕВИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті здійснено огляд розвитку технічного комплексу для неруйнівного дослідження рельєфних знаків на металевих об'єктах методом магнітооптичної візуалізації. Описано модернізацію складових комплексу та результати підвищення чутливості з візуалізації залишкових напружень. Представлено методологію розробників комплексу щодо оцінки чутливості з відновлення видаленого маркування та результати порівняльної оцінки чутливості магнітооптичного, магнітопорошкового та електрохімічного способів дослідження. Представлено практичні результати підтвердження високої ефективності методу.

***Ключові слова:** рельєфне маркування, відновлення видаленого маркування, неруйнівні методи, магнітооптична візуалізація.*

Постановка проблеми. Після розробки в 2000-х роках спеціалістами Київського політехнічного інституту методу магнітооптичної візуалізації залишкових напружень, впровадження приладів першого покоління та методики, подальший розвиток магнітооптичних приладів та їх практичне застосування в експертних дослідженнях залишилися маловідомими в Україні. За цей час відбувся технічний розвиток цього методу, магнітооптичні прилади успішно використовуються в понад 40 країнах, зокрема для відновлення видаленого рельєфного маркування з металевих об'єктів.

Практичне застосування автором сучасного магнітооптичного комплексу підтверджує високу ефективність виконання досліджень видаленого маркування як в лабораторних умовах, так і в умовах проведення досліджень за місцем знаходження об'єктів.

Вирішення питання доцільності та перспективності застосування в експертизах конкретного виду інструментальних досліджень потребує певного обсягу інформації стосовно його принципів, можливостей, ефективності та практичності. Висвітлення основних характеристик цих складових для магнітооптичного методу доцільно зробити в рамках оглядової статі,

особливо враховуючи достатньо великий обсяг даних стосовно методу, який на сьогодні можна віднести як до "старих", так і до "нових".

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експертна практика використання магнітооптичних (далі – МО) приладів для дослідження рельєфного маркування розпочалася відносно не давно, перші комплекси було запроваджено у використанні більш ніж 20 років.

З цей час розробниками методу було здійснено ряд розробок та досліджень параметрів комплексів, в яких реалізовано розробки.

Розроблено сканери роторного типу, використання яких дозволяє отримати більш високу чутливість магнітограм як поверхні об'єкта дослідження, так і підповерхневих шарів ділянки з рельєфним маркуванням [2].

Для числової оцінки чутливості магнітооптичного дослідження розроблена числова методика аналізу співвідношення сигнал/шум зображення, яке отримується в результаті візуалізації залишкових напружень [3].

В роботах [4-8] описані дослідження практичної оцінки порівняння чутливості магнітооптичного, магнітопорошкового і електрохімічного методів при відновленні видаленого рельєфного маркування сталевих об'єктів.

В роботі [5] проведено також дослідження щодо застосування методу магнітооптичної візуалізації маркування для об'єктів з не видаленим шаром лакофарбового покриття товщиною від 120 до 240 мкм.

Розвиток технічних засобів для використання в експертних трасологічних дослідженнях дозволив суттєво підвищити чутливість та інформативність магнітного копіювання, а також розширити область застосування МО методу, включив в перелік об'єктів дослідження не тільки магнітні, а й електропровідні матеріали.

Мета дослідження. Проаналізувати результати технічного розвитку магнітооптичного методу, оцінити вплив модернізації складових та вузлів магнітооптичного комплексу на чутливість методу магнітооптичної візуалізації, а також оцінити вплив цих змін на ефективність дослідження поверхні металевих об'єктів та відновлення видаленого.

Надати приклади практичних порівняльних досліджень за результатами аналізу публікацій та результатів експертних досліджень.

Оцінити перспективність та ефективність магнітооптичного методу як інструментального способу дослідження металевих об'єктів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Дослідження рельєфного маркування на металевих об'єктах є постійно актуальним напрямом, навіть при вирішенні інших питань експертних досліджень стосовно таких об'єктів як автотранспорт і зброя, оскільки вирішення питань ідентифікації для цих об'єктів може бути визначальним в кримінальному судочинстві та майнових справах.

Застосування методів дослідження неруйнівного характеру для цих об'єктів, що є пріоритетним при виборі експертом методів дослідження, може бути обов'язковим у випадку дослідження нових виробів, унікальних об'єктів з огляду на їх фінансову вартість або історичну цінність.

На сьогодні для дослідження рельєфного маркування металевих об'єктів успішно застосовуються програмно-апаратні комплекси, в яких реалі-

зовано магнітооптичний метод візуалізації (далі – МОВ) розробки спеціалістів Київського політехнічного інституту.

На сьогодні ці комплекси реалізуються загальновідомою компанією REGULA та використовуються правоохоронними і правозастосовними органами для дослідження маркування автотранспорту та зброї в 40 державах.

Методичне забезпечення стосовно застосування в експертних дослідженнях магнітооптичної візуалізації було розроблено для криміналістичних досліджень ідентифікаційних номерів транспортних засобів, відповідну методику впроваджено в ДНДЕКЦ МВС України у 2000 році [1].

За минулий час технічні можливості комплексів "Регула" для дослідження рельєфних знаків значно розширилися, збільшився перелік досліджень, в яких вже застосовується МОВ, розширився також перелік напрямів, перспективних для застосування МОВ.

Найбільш вагомими і цікавими технічними розробками зазначених вище комплексів, аналіз практики їх застосування та результати досліджень викладені в ряді робіт [2-8]. Враховуючи, що на сьогодні застосування в Україні методу магнітооптичний метод візуалізації не має широкого розповсюдження, перш ніж ознайомитися з розвитком цього методу, пропонується коротке ознайомлення з характеристиками і принципами роботи спеціалізованих комплексів, призначених для проведення експертних досліджень рельєфного маркування на металевих об'єктах.

Суть методу МОВ полягає в створенні копії магнітного поля з поверхні ділянки металевого об'єкта, який має магнітні властивості, та перетворенні копії магнітного поля у візуальне зображення. При цьому інформація отримується як з поверхні, так і від приповерхневих шарів до глибини декількох міліметрів за рахунок фіксації викривлень магнітного поля, які виникають внаслідок наявності залишкових напружень. Джерелом напружень є залишкова деформація при рельєфному маркуванні та механообробці, структурні зміни при електрозварюванні та інших технологічних процесах.

Метод магнітооптичної візуалізації має цілий ряд корисних практичних характеристик, його особлива цінність для експертних досліджень полягає в тому, що він є неруйнівним методом дослідження. При цьому кількість досліджень однієї ділянки практично не обмежується.

Послідовність та принципи роботи обладнання наступні.

На першому етапі здійснюється копіювання магнітних полів з ділянки дослідження (здійснюється "магнітографування" за допомогою "магнітної стрічки" та магнітного сканера), під час чого відбувається збудження магнітних полів розсіювання в контактній зоні під сканером та відбувається їх "запис" на магнітну стрічку.

На другому етапі здійснюється перетворення наведених полів розсіювання за допомогою магнітооптичного ефекту Фарадея в плівці Ві-вмісних ферритгранатів (при цьому магнітна стрічка вставляється в блок та відбувається "зчитування" – автоматичне перетворення копії магнітного поля в цифровий сигнал).

Результатом застосування методу є можливість зробити візуальний аналіз зображення та застосувати його подальшу обробку за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення у складі ноутбука.

За минулий час з початку використання обладнання компанії "REGULA" для магнітооптичного дослідження відбувся значний розвиток всіх складових комплексу.

Так, поряд з удосконаленням статичного щілинного сканера (сканер, в якому використовуються постійні магніти), розроблено сканер роторного типу (також статичний), який реалізує локальне полюсне збудження – рис. 1 [2]. На прикладах результатів дослідного застосування показано [2], що використання комбінованого сканера (рис.2), дозволяє отримати більш високу чутливість магнітограм як поверхні об'єкта дослідження, так і підповерхневих шарів ділянки з рельєфним маркуванням.

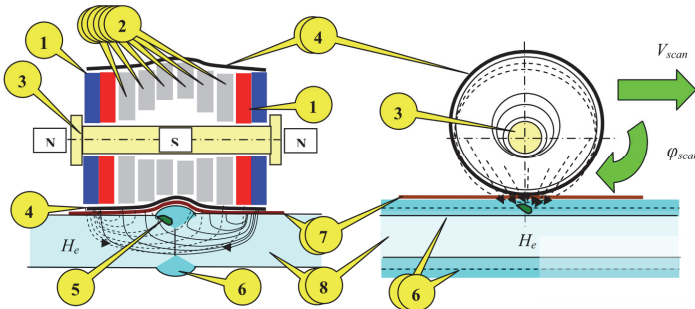


Рис. 1 Принципова схема статичного сканера роторного типу

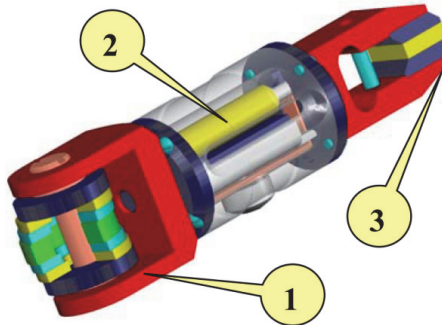


Рис. 2 Комбінований магнітний сканер (1-щілинний сканер, 2- роторний сканер, 3-блок розмагнічування)

Для оцінки чутливості методу магнітооптичного дослідження рельєфного маркування була розроблена числова методика аналізу співвідношення сигнал/шум. Зокрема, аналіз сегментованого зображення тест-об'єкта дає чисельну оцінку чутливості метода МОВ [3]. Викладена в роботі [3] методика, що основана на аналізі зображення, дозволяє отримати чисельну оцінку чутливості метода, за аналізом зображення з відновленим маркуванням [3].

В роботі [4] проведена практична оцінка чутливості магнітопорошкового метода і метода МОВ. Робота проведена на одному й тому ж металевому тест-об'єкті, який виготовлено з листа сталі 45 товщиною 1,5 мм, знаки "865" виконано холодною штамповкою, висота знаків 6 мм, глибина рельєфу знаків 0,3...0,4 мм. Знаки видалено на плоскошліфувальному станку на глибину 0,5 мм. В дослідженні для магнітопорошкового метода використана суспензія "РОСАВА-1200" ТУ 13700348.23-97.

На рис. 3 проілюстровано, що у магнітооптичного методу більше співвідношення сигнал/шум, тобто вище чутливість.

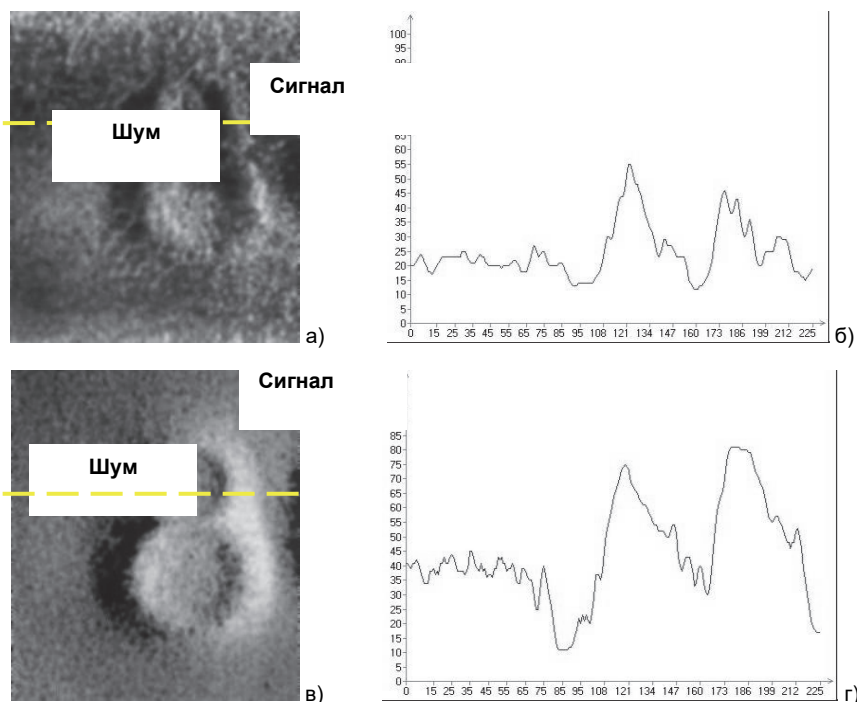


Рис. 3. Візуальні зображення (відновлення) знищеного маркування: магнітопорошковий метод (а) і магнітооптичний метод (в); б) і г) – розподіл амплітуд сигналу і шуму для зображення на пунктирній лінії [4].

Приведені зображення на рис. 4 наочно ілюструють різницю у чутливості двох методів в дослідженні з роботи [4].

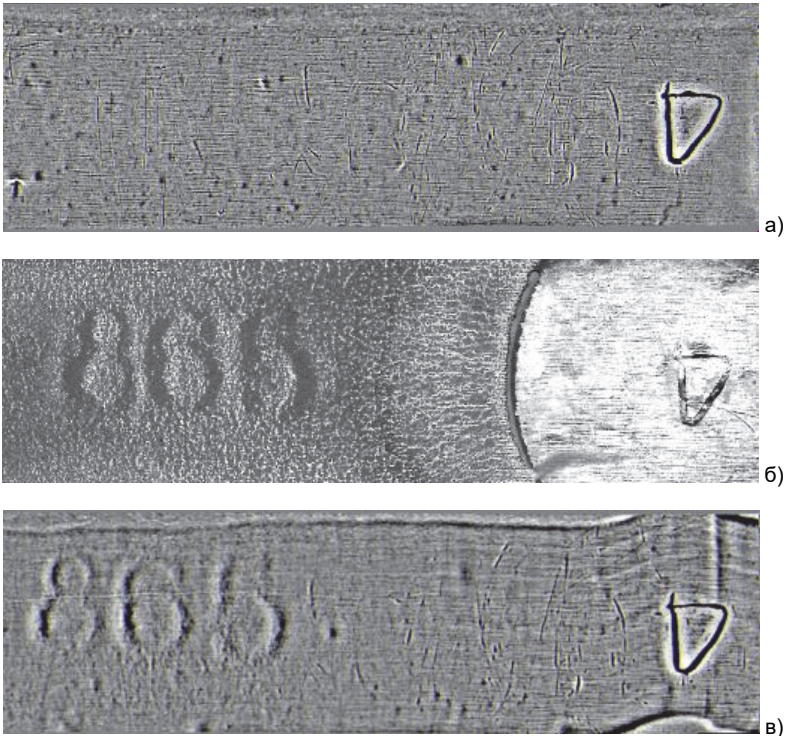


Рис. 4. Відновлення маркування на тест-об'єкті: а) зовнішній вигляд тест-об'єкту; б) магнітопорошковий метод; в) магнітооптичний метод.

За результатами дослідження магнітооптичний метод має відношення сигнал/шум вище, ніж у магнітопорошкового методу на 3+6 дБ, що має практичне підтвердження при порівняльному аналізі результатів відновлення маркування [4].

Слід зазначити, що на практиці для метода МОВ просторове положення не визначає можливість застосування дослідження або не має значного впливу на результат, що має місце для магнітопорошкового методу. Також значний вплив для використанні індикаторної рідини має температура, при якій проводиться дослідження.

При цьому такі характеристики поверхні об'єкта як рельєф (шорсткість), властивості адгезії, змочування мають значний вплив на результат відновлення маркування в магнітопорошковому методі. Для цього метода також має місце утворення конгломератів (злипання, притягування) часток, що може значно зменшити чутливість.

З метою практичного визначення можливості застосування метода магнітооптичної візуалізації маркування для автотранспортних засобів з не видаленим шаром лакофарбового покриття, була проведена робота [5], в який дослідження поверхні проводилися з не феромагнітними прокладками, товщини яких відповідають максимальним стандартним для автотранспорту товщинам лакофарбового покриття в 120 і 180 мкм, а також 240 мкм, що значно їх перевищує. В таблиці приведені результати експериментально визначеної чутливості застосованих технічних засобів магнітооптичної візуалізації.

Таблиця

Експериментальна гранична чутливість магнітооптичної візуалізації

| № | Товщина покриття | Мінімальний розмір дефекта (<i>шир. x глиб. траси</i>), мкм | |
|---|------------------|---|------------------|
| | | Пороговий контроль | Експертні оцінки |
| 1 | без покриття | 100 x 50 | < 100 x 50 |
| 2 | 120 мкм | 300 x 150 | ≈ 100 x 50 |
| 3 | 180 мкм | 800 x 400 | < 300 x 150 |
| 4 | 240 мкм | 800 x 400 | ≈ 300 x 150 |

З метою проведення експериментальної роботи щодо порівняльної чисельної оцінки чутливості магнітооптичного, магнітопорошкового і електрохімічного метода для візуалізації залишкових напружень в феромагнітних об'єктах, була проведена робота з теоретичного аналізу факторів впливу на характеристики об'єктів з рельєфним маркуванням, та теоретичною оцінкою чутливості зазначених трьох способів досліджень [6]. Зроблено висновок щодо можливих переваг розглянутих методів дослідження для тонкостінних і товстостінних об'єктів.

За результатами аналізу методів оцінки чутливості, які регламентуються нормативно-технічними документами та застосовуються на практиці показана актуальність розробки методу для коректної оцінки чутливості різних способів досліджень [6]. В цій роботі також представлено розробку експерименту з практичної оцінки чутливості.

Для порівняльної оцінки чутливості [7] було виготовлено тест-об'єкти 120x25 мм товщиною 1 мм з сталі 08кп, на який було нанесено цифрове рельєфне маркування (холодною штампівкою) від 0 до 9 (рис. 5,а). Висота цифр 6 мм, відстань між знаками 10 мм. В наступному етапі підготовки тест-об'єкти його було прошліфовано на клин 1:100, останнім знаком, який візуально визначається є "2" (рис. 5). За своїми характеристиками тест-об'єкт відноситься до тонкостінних об'єктів, для яких глибина рельєфного маркування становить 20-70% товщини номерного майданчика.

Відновлення рельєфного маркування було проведено трьома способами: магнітооптичної візуалізації, магнітопорошковим і електрохімічним травленням.

Магнітографування було проведено на двох рівнях високочастотного підмагнічування [7]. На обох рівнях підмагнічування впевнено визнача-

ються всі видалені рельєфні знаки. Результати для другого рівня підмагнічування приведено на рис.6.

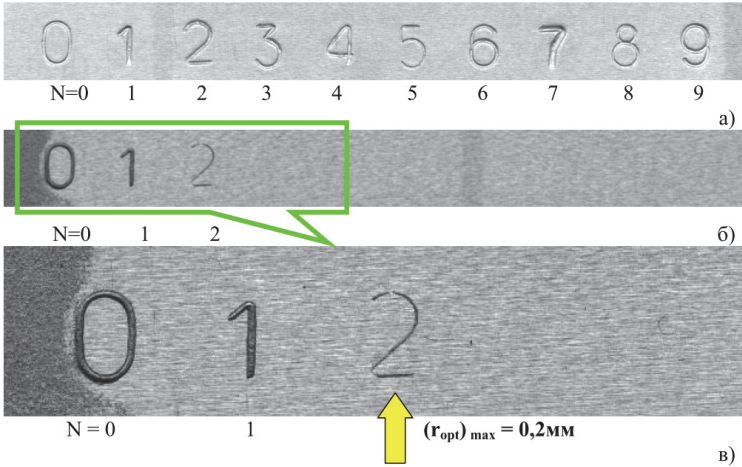


Рис. 5. Тест-об'єкт для порівняльної чутливості: а) до шліфування; б, в) після шліфування

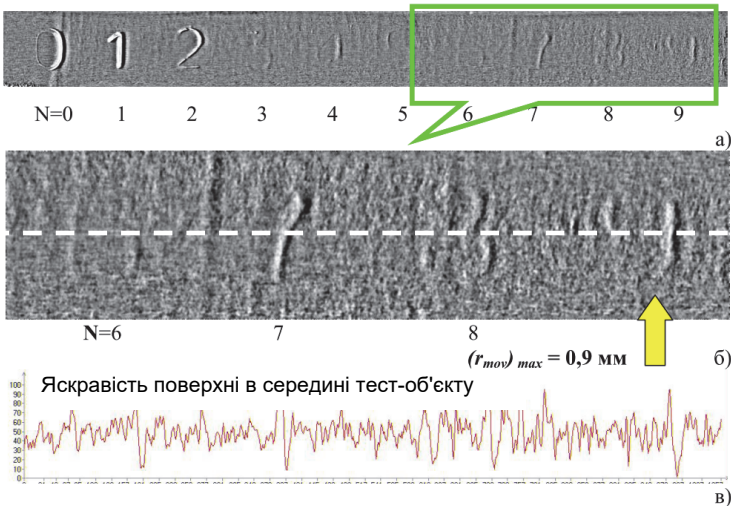


Рис. 6. Результати відновлення маркування тест-об'єкта магнітооптичним способом [7]

Дослідження магнітопорошковим способом проводилось з застосуванням індикаторної рідини "РОСАВА-120" відповідно до стандартів і рекомендацій, результати приведено на рис.7.

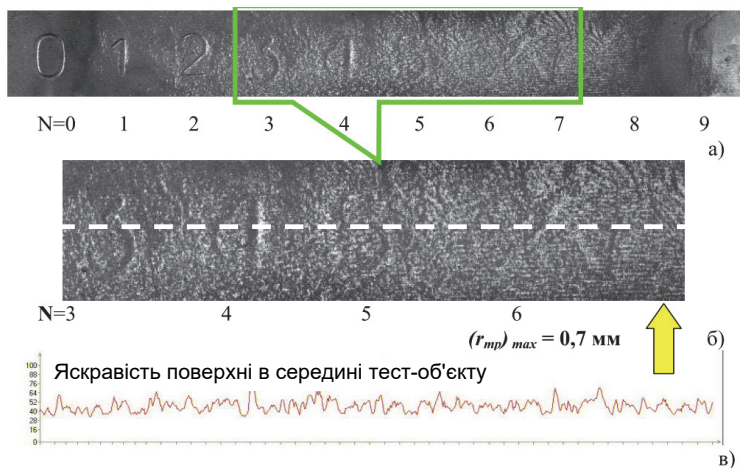


Рис. 7. Результати відновлення маркування тест-об'єкта магнітопорошковим способом [7]

Електрохімічне травлення тест-об'єкта проведено водним розчином лимонної кислоти, хлористого калію при струмі 0,5–1А, результати представлено на рис. 8.

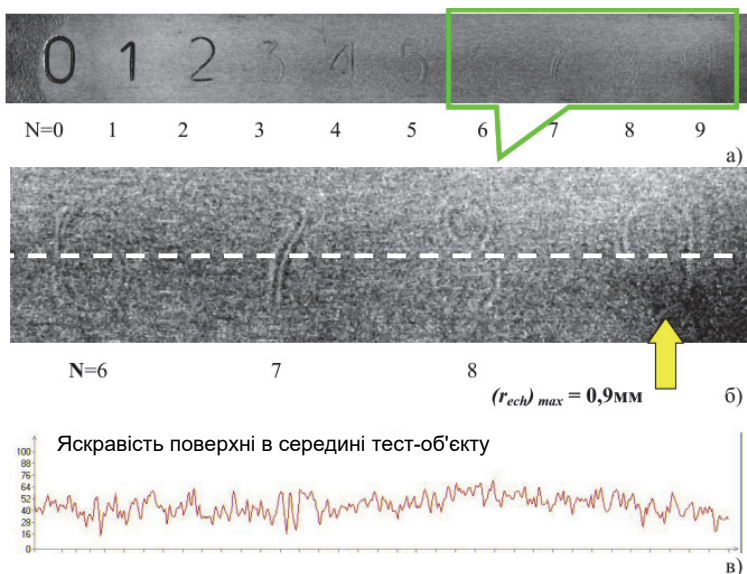


Рис.8. Результати відновлення маркування тест-об'єкта електрохімічним травленням [7]

За отриманими у проведених дослідженнях даними розподілу яскравості розраховано співвідношення сигнал/шум для зображень з результатами відновлення видалених з тест-об'єкта знаками (рис. 6-8). У графічному вигляді ці данні представлено на рис. 9 [7].

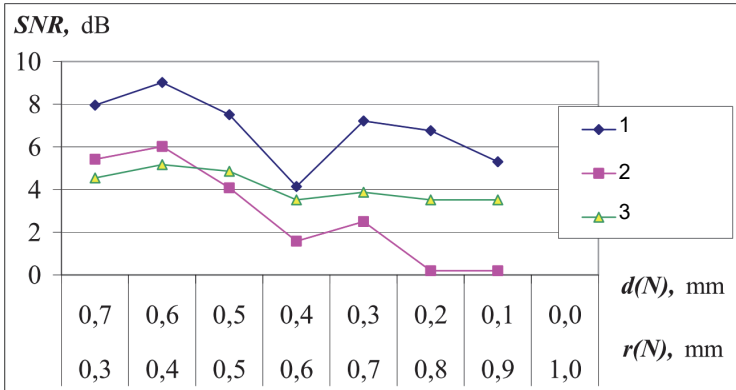


Рис. 9. Співвідношення сигнал/шум яскравості зображення для магнітооптичного (1), магнітопорошкового (2) і електрохімічного (3) способів (d -залишкова товщина тонкостінного тест-об'єкту, r – товщина видаленого шару)

За експертною оцінкою чутливості магнітооптичного, магнітопорошкового та електрохімічного способів в дослідженнях з відновлення рельєфних знаків тест-об'єктів в роботі [7] зроблено висновки про те, що магнітооптичний і електрохімічний методи мають достатню чутливість для розпізнавання всіх знаків для тонкостінних об'єктів, яка вище, ніж у магнітопорошкового.

За сукупністю отриманих даних зроблено висновок про те, що метод магнітооптичної візуалізації найбільш ефективний з розглянутих трьох методів при дослідженні використаних тонкостінних тест-об'єктів [7].

Слід зазначити, що використаний в роботі [7] тест-об'єкт моделює не тільки маркування автотранспортних засобів, а й широкий ряд співвідношення зон залишкових напружень і залишкових деформацій, що дозволяє зробити припущення про ефективність в дослідженнях об'єктів з невеликим рівнем залишкових напружень, зокрема товстостінних об'єктів.

Продовження досліджень чутливості зазначених трьох способів за аналогічним алгоритмом, який розроблено в роботі [7], було зроблено в роботі [8] для товстостінних тест-об'єктів з сталі 45 розмірами 200x20 мм товщиною 2,5 мм. На тест-об'єкти було нанесено маркування двох типів: крапками діаметром близько 1 мм і цифрами висотою 6 мм, тест-об'єкти також було прошліфоване на клин (рис.10).

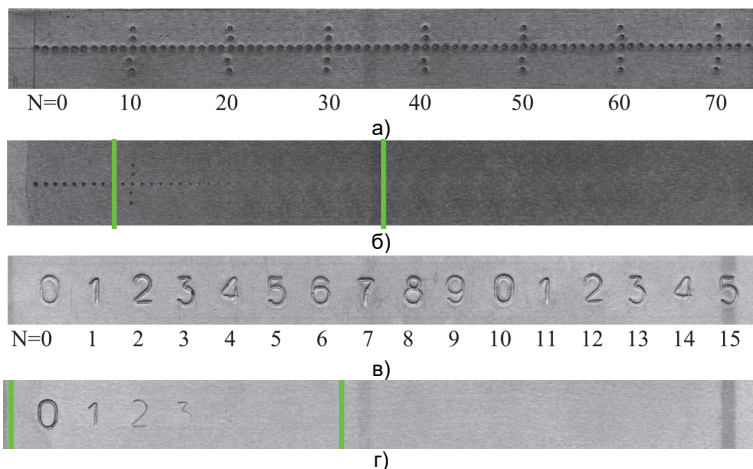


Рис. 10. Товстостінні тест-об'єкти: а, б – крапкові, в, г – символльні (б і г – прошліфовані на клин)

За результатами оцінки результатів досліджень по відновленню видаленого рельєфу [8], чутливість магнітопорошкового методу обмежується товщиною видаленого шару 1,3...1,36 мм, чутливість електрохімічного методу обмежується товщиною видаленого шару в 0,7...0,8 мм, чутливість магнітооптичного методу – до 1,5 мм.

На рис. 11 у графічній формі представлені данні співвідношення сигнал/шум зображення з відновленням видаленого рельєфу в залежності від товщини видаленого шару для магнітооптичного, магнітопорошкового та електрохімічного методів.

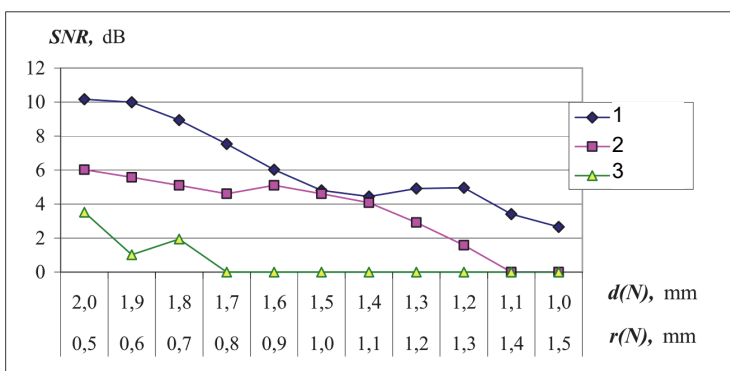


Рис. 11. Співвідношення сигнал/шум яскравості зображення для магнітооптичного (1), магнітопорошкового (2) і електрохімічного (3) способів (d-залишкова товщина товстостінного тест-об'єкту, r – товщина видаленого шару)

Підсумковий аналіз результатів, отриманих в колективних дослідницьких роботах [7] і [8] дає підстави вважати метод магнітооптичної візуалізації найбільш універсальним за ефективністю дослідження тонкостінних і товстостінних об'єктів, виготовлених з сплавів, які мають достатні магнітні властивості, в експертних дослідженнях з відновлення видаленого рельєфного маркування феромагнітних сплавів.

На рис. 12 представлена сучасна модифікація комплексу "REGULA", який застосовується в експертних дослідженнях.



Рис.12. Комплекс REGULA 7517

В комплексі для магнітографування використовується стрічка 18 мм (що відповідає ширині магнітної копії) довжина стрічки (та копії) близько 20 см.

Підготовка поверхні об'єкта дослідження мінімальна (лише очищення від липких забруднень), умови застосування – відсутність атмосферних опадів, температурний діапазон застосування обладнання від -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Комплекси виконані у мобільному варіанті в компактному захисному кейсі, автономність роботи – до 8 год.

Виконання магнітної копії та її перетворення потребує до 1-2 хвилин (в одній з держав за робочу 8-ми годинну зміну одним комплексом було перевірено номерні площадки у близько 200 автомобілів).

Слід відзначити одну з особливостей метода магнітооптичної візуалізації, а саме – відновлення рельєфного зображення з шару іржи, який відноситься до товстих і відповідно, є дуже крихким та пухким, що створює чималі труднощі для застосування рідин та порошоків.

З використанням вищезазначеного комплексу було проведено відновлення рельєфного маркування з шару іржи для зразка, який виготовлено з листової конструкційної сталі.

Зображення зразка з іржею приведено на рис.13. Шар іржи в деяких ділянках значно перевищує 1 мм, шар іржи на зразку достатньо повно характеризує всі модифікації з'єднань заліза в іржі (різні "види" іржі), які утворюються на залізовуглецевих сплавах.

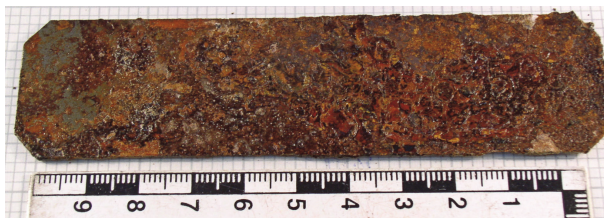
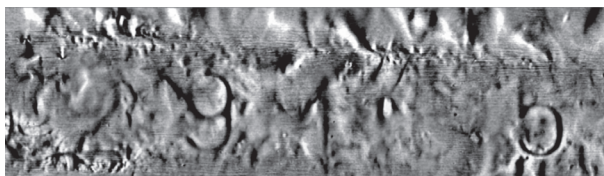
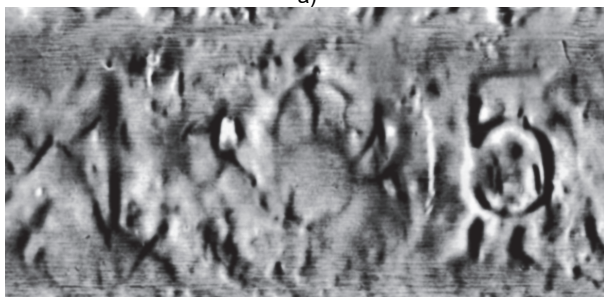


Рис. 13. Зображення поверхні об'єкта з корозійним шаром

Візуалізація магнітних копій зразка з іржею представлена на рис. 14.



а)



б)

Рис. 14.

Представлені магнітограми ілюструють впевнене визначення всіх знаків. Випробування методу МОВ показує, що з шару іржи товщиною навіть більше 1 мм вдається відновити маркування.

Значимість конкретного методу дослідження для експерта визначається на практичних прикладах. Одним з таких випадків є дослідження рельєфного маркування на об'єкті, на якому після застосування методу хімічного травлення не вдалося визначити знаки первісного маркування, також не вирішено питання про зміну маркування.

Застосування магнітографування цього об'єкта дослідження дало можливість визначити знаки первісного маркування – на рис.15 представлено відновлення знаків на ділянці номерного майданчика, на якому застосування методу магнітооптичної візуалізації дозволило визначити, зокрема, два знаки, які було знищено.



Рис. 15

В іншому випадку знищення рельєфного маркування проводилося в промислових умовах з нанесенням міцного захисного антикорозійного покриття та захисного фарбового покриття за військовими стандартами. Зниження номерного майданчика складало близько 0,5 мм. У даному випадку питання про зміну маркування мало ключове значення. В результаті застосування методу магнітооптичної візуалізації вдалося не тільки підтвердити версію про зміну маркування, а також відновити знаки первісного маркування з даними "критичного значення".

За універсальністю та ефективністю магнітооптичного методу, практичності застосування і технічними характеристиками комплексу REGULA, його застосування можна віднести до пріоритетного при виборі методу дослідження для відновлення видаленого рельєфного маркування з металевих об'єктів.

На сьогодні цей технічний комплекс дозволяє досліджувати залізобуглецеві, алюмінієві сплави та деякі нержавіючі сталі.

Значний розвиток технічних засобів, які забезпечують реалізацію магнітооптичного методу візуалізації в експертних дослідженнях закономірно потребує послідовного розвитку методичного забезпечення.

На першому етапі актуальна розробка методичних рекомендацій з викладенням практичних прийомів застосування обладнання для виконання досліджень відповідно до конкретного виду об'єкта та задач. На другому етапі, за результатами узагальнення і систематизації практичного досвіду і прийомів роботи здійснити розробку відповідної методики.

Використання методу магнітооптичної візуалізації вбачається ефективним також при виконанні інших, крім трасологічних, експертних дослідженнях, в яких аналіз залишкових напружень та дефектів будови може бути основною або допоміжною задачею. Зокрема, становить інтерес використання цього методу в дослідженнях з причин руйнування металевих об'єктів.

Висновки. В статті здійснено огляд розвитку та ефективності неруйнівного методу дослідження рельєфного маркування. Представлено результати модернізації основних розробок в обладнанні, проаналізовано вплив технічних змін.

Показано результат порівняльних експериментальних досліджень з оцінки основних параметрів магнітооптичної візуалізації внутрішніх напружень видаленого рельєфного маркування для трьох методів.

Технічний розвиток магнітооптичних приладів, за результатами досліджень, збільшив їх кількісні показники чутливості, які вище ніж у магніто-

порошкового та електрохімічного способів в дослідженнях з відновлення рельєфних знаків, що підтверджується також якісною оцінкою отриманих експериментальних даних.

Досвід експертного застосування також підтверджує більшу ефективність магнітооптичного методу, у тому числі за результатами досліджень одних і тих самих об'єктів. Вперше представлено практичні можливості магнітооптичного методу для дослідження в криміналістиці шару з іржею.

Невелика, на сьогодні, розповсюдженість цього методу експертних досліджень в Україні, порівняно з іншими країнами, призвела до затримки у розробці методичного забезпечення. Накопичений практичний експертний досвід застосування сучасних магнітооптичних технічних комплексів дозволяє здійснити підготовку методичного забезпечення з метою більш ефективного проведення трасологічних та інших досліджень з аналізу залишкових напружень в металевих об'єктах.

Перелік посилань

References

1. Агалиди Ю. С., Красюк И. П., Левый С. В., Прохоров-Лукин Г. В. Методика аппаратных криминалистических исследований идентификационных номеров транспортных средств: утв. и рекоменд. к внедрению ГНИИ ЭКЦ МВД Украины (протокол № 2 от 21.07.2000), рекоменд. к внедрению секцией науч.-метод. совета МЮ Украины (протокол от 24.05.2000). Киев, 2000.
2. Агалиди Ю. С. Принцип и теоретическая модель локального полюсного возбуждения при магнитографировании. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Приладобудування.* 2007. № 33. С. 55-62.
3. Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М. Методика исследований сигналов и шумов при магнитооптической дефектоскопии. *Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серія: Физика.* 2006. Том 19 (58).
4. Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М. Сравнительный анализ магнитного порошкового и магнитооптического методов визуализации пространственного распределения магнитного поля при исследовании остаточных напряжений. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Приладобудування.* 2006. № 31. С. 18-24.
1. Agalidi, Iu. S., Krasjuk, I. P., Levyi, S. V., Prokhorov-Lukin, G. V. (2000). Methodology of hardware forensic research of vehicle identification numbers: approved and recommended to the implementation of the GNII EKTs of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine (protocol No. 2 dated 21.07.2000), recommended to implementation by the scientific-methodological section of the Council of the Ministry of Justice of Ukraine (protocol as of May 24, 2000). Kiev. (in Russian).
2. Agalidi, Iu. S. (2007). Principle and theoretical model of local pole excitation during magnetography. *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Instrument making.* No. 33. P. 55-62. (in Russian).
3. Agalidi, Iu. S., Levyi, S. V., Machnev, A. M. (2006). Methodology of signal and noise research in magneto-optical flaw detection. *Scientific notes of the V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Physics.* Vol. 19 (58). (in Russian).
4. Agalidi, Iu. S., Levyi, S. V., Machnev, A. M. (2006). Comparative analysis of magnetic particle and magneto-optical methods for visualizing the spatial distribution of the magnetic field in the study of residual stresses. *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Instrument making.* No. 31. P. 18-24. (in Russian).

5. Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М. Экспериментальная оценка чувствительности и достоверности магнитооптической визуализации рельефных трасс. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Приладобудування*. 2006. № 32. С. 39-46.
6. Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М., Прохоров-Лукин Г. В. Сравнительная оценка чувствительности магнитооптического, магнитопорошкового и электрохимического методов при исследовании удаленной рельефной маркировки. Ч. 1. Теоретический анализ и подготовка эксперимента. *Криміналістика і судебна експертиза: межвед. науч.-метод. сб.* 2008. № 54. С. 80-94.
7. Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М., Прохоров-Лукин Г. В. Сравнительная оценка чувствительности магнитооптического, магнитопорошкового и электрохимического методов при исследовании удаленной рельефной маркировки. Ч. 2. Экспериментальные исследования тонкостенных тест-объектов. *Криміналістика і судебна експертиза: межвед. науч.-метод. сб.* 2008. № 54. С. 94-108.
8. Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М., Прохоров-Лукин Г. В. Сравнительная оценка чувствительности магнитооптического, магнитопорошкового и электрохимического методов при исследовании удаленной рельефной маркировки. Ч. 3. Экспериментальные исследования толстостенных тест-объектов. *Криміналістика і судебна експертиза: межвед. науч.-метод. сб.* 2008. № 54. С. 108-119.
5. Agalidi, Iu. S., Levyi, S. V., Machnev, A. M. (2006). Experimental evaluation of the sensitivity and reliability of magneto-optical visualization of relief paths. *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Instrument making*. No. 32. P. 39-46. (in Russian).
6. Agalidi, Iu. S., Levyi, S. V., Machnev, A. M., Prokhorov-Lukin, G. V. (2008). Comparative assessment of the sensitivity of magneto-optical, magnetic particle and electrochemical methods in the study of remote relief marking. Part 1. Theoretical analysis and preparation of the experiment. *Criminalistics and Forensics: interdepartmental scientific and methodological collection*. No. 54. P. 80-94. (in Russian).
7. Agalidi, Iu. S., Levyi, S. V., Machnev, A. M., Prokhorov-Lukin, G. V. (2008). Comparative assessment of the sensitivity of magneto-optical, magnetic particle and electrochemical methods in the study of remote relief marking. Part 2. Theoretical analysis and preparation of the experiment. *Criminalistics and Forensics: interdepartmental scientific and methodological collection*. No. 54. P. 94-108. (in Russian).
8. Agalidi, Iu. S., Levyi, S. V., Machnev, A. M., Prokhorov-Lukin, G. V. (2008). Comparative assessment of the sensitivity of magneto-optical, magnetic particle and electrochemical methods in the study of remote relief marking. Part 2. Theoretical analysis and preparation of the experiment. *Criminalistics and Forensics: interdepartmental scientific methodological collection*. No. 54. P. 108-119. (in Russian).

ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ МЕТОДА МАГНитоОПТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛЬЕФНЫХ ЗНАКОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. Ю. Кошель

Исследование рельефной маркировки металлических предметов – одно из постоянно востребованных направлений экспертных исследований, в особенности для таких объектов, как оружие и транспортные средства.

Постоянно актуальный для эксперта вопрос выбора метода исследований для этих объектов приобретает особенную актуальность в случае раритетных и исторических объектов, новых дорогостоящих изделий.

В последнее десятилетие за рубежом для данных исследований в 40 странах успешно применяется неразрушающий метод магнитооптической визуализации, который был разработан в Киевском политехническом институте более 20 лет назад. За это время техническая реализация метода была усовершенствована, существенно доработаны и изменились технические составляющие комплекса.

Разработчиками в 2008 году были проведены исследования, в которых на основании результатов практического применения на специально разработанных тест-объектах, в том числе с тремя толщинами лакокрасочных покрытий, проведена оценка чувствительности магнитопорошкового, электрохимического и магнитооптического методов.

Полученные результаты продемонстрировали более высокую чувствительность магнитооптического метода для тонкостенных объектов и чувствительность для толстостенных объектов не хуже, чем другие методы.

Практическое применение современного комплекса REGULA 7517 в экспертных исследованиях в различных условиях работы подтверждает его высокую чувствительность, свидетельствует о высокой скорости работы, надежности, автономности комплекса и широких температурных условиях применения.

Высокая эффективность неразрушающего метода магнитооптической визуализации позволяет рассматривать его как один из наиболее перспективных методов в трасологических исследованиях, а также в материаловедческих исследованиях, где необходима информация о состоянии и структуре поверхностных и приповерхностных слоев металлических объектов.

Ключевые слова: рельефное маркирование, восстановление удаленной маркировки, неразрушающий метод, магнитооптическая визуализация.

TECHNICAL DEVELOPMENT OF THE MAGNETO-OPTICAL IMAGING METHOD IN THE RESEARCH OF RELIEF SIGNS OF THE METAL OBJECTS

O. Koshel

The study of relief marking of metal objects is one of the constantly demanded areas of expert research, especially for objects such as weapons and vehicles.

The question of choosing a research method for these objects, which is constantly topical for an expert, acquires particular relevance in the case of rare and historical objects, new expensive products.

In the last decade, a non-destructive method of magneto-optical imaging, which was developed at the Kyiv Polytechnic Institute more than 20 years ago, has been successfully applied abroad for these studies in 40 countries. During this time, the technical implementation of the method has been developed, the technical components of the complex have been significantly improved and changed.

In 2008 basing on the results of practical application on specially designed test objects, including those with three thicknesses of paint coatings, the developers carried out studies in which they assessed the sensitivity of magnetic powder, electrochemical and magneto-optical methods.

Obtained results demonstrated a higher sensitivity of the magneto-optical method for thin-walled objects and the sensitivity for thick-walled objects is not worse than other methods.

Practical application of the modern REGULA 7517 complex in expert studies under various operating conditions confirms its high sensitivity, testifies to the high speed of operation, reliability, autonomy of the complex and wide temperature conditions of use.

The high efficiency of the non-destructive method of magneto-optical imaging makes it possible to consider it as one of the most promising methods in trace studies, as well as in materials science studies, where information on the state and structure of the surface and near-surface layers of metal objects is needed.

Key words: relief marking, restore of deleted marking, non-destructive method, magneto-optical imaging

DOI: <https://doi.org/10.33994/kndise.2021.66.56>
УДК 343.98

Олег Олексійович Посільський
кандидат хімічних наук,
завідувач відділу досліджень матеріалів, речовин та виробів
лабораторії криміналістичних видів досліджень

E-mail: o.posilskyi@kndise.gov.ua

Остап Сергійович Савенок
судовий експерт
відділу методичного забезпечення
лабораторії організації експертної діяльності

E-mail: ostap.savenok@kndise.gov.ua

Ігор Михайлович Чалюк
завідувачу відділу дослідження якості та вартості
дорожньо-будівельних робіт
лабораторії інженерно-технічних видів досліджень

E-mail: ihor.chaliuk@kndise.gov.ua

Інна Олександрівна Бурлака
судовий експерт четвертого кваліфікаційного класу відділу
матеріалів, речовин та виробів лабораторії
криміналістичних видів досліджень

E-mail: inna.burlaka@kndise.gov.ua

*Київський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України*