



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2021.1.4>

УДК 544

ББК 24.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАНОМАРКИРОВКИ, НАНЕСЕННОЙ НА СТАЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА, ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Татьяна Викторовна Кислова

Старший преподаватель кафедры судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
sefm@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе проведены исследования воздействия эксплуатационных факторов на динамику изменения параметров наномаркировки, нанесенной на стальные детали с использованием новой инновационной технологии – сканирующей зондовой микроскопии, обеспечивающей стопроцентную верификацию предметов и объектов.

Ключевые слова: защитная наномаркировка, долговечность, сталь, сканирующий зондовый микроскоп, динамическая литография.

Криминогенная обстановка в России на сегодняшний день характеризуется высоким уровнем преступности. Об этом свидетельствуют официальные данные Федеральной Службы Государственной Статистики и МВД России. Только в январе 2020 года совершено 496 преступлений, связанных с использованием оружия [4]. Одна из проблем, с которой сталкиваются правоохранительные органы при расследовании преступлений – это установление подлинности или верификация предметов, обнаруженных в ходе оперативно-следственных действий. Для повышения вероятности верификации предметов необходим ряд превентивных мер.

В качестве такой превентивной меры может выступать защитная маркировка предметов, представляющих повышенный интерес со стороны криминальных структур. Нанесение маркирующих знаков может быть использовано для защиты прав собственности, защиты от контрафактной продукции, а также

различными силовыми ведомствами для маркирования оружия [8]. Защитные свойства маркировки повышаются в том случае, если она является латентной, то есть не воспринимается визуально, в том числе с помощью доступных увеличительных приборов.

Скрытность нанесенной маркировки обеспечивается размерами нанометрового уровня, которые находятся в пределах 10–100 нм.

Считывание информации с целью обнаружения и последующей подделки такой маркировки невозможно с помощью известных оптических приборов. Нанесение и выявление ее изображения может быть воспроизведено только с использованием новой инновационной технологии – сканирующей зондовой микроскопии в литографическом режиме по специально разработанным методикам [1; 6; 7].

Проведенными ранее исследованиями установлено, что четкость, долговечность и износоустойчивость наномаркировки зависят от твердости, жесткости и пластичности ма-

териала изделия, подвергаемого маркированию [3]. Важнейшее требование, предъявляемое к наномаркировке – сохранять устойчивость к воздействию различных факторов, определяемых режимами эксплуатации изделия.

Поверхность стальных деталей изнашивается под действием многих факторов, зависящих от конкретных условий эксплуатации изделия. Можно выделить три основные группы факторов, определяющих вид и интенсивность износа: конструктивные, технологические и эксплуатационные. Эксплуатационными факторами являются: соблюдение режима эксплуатации и технического обслуживания изделия; марка и качество используемых для смазки материалов; соблюдение технологии чистки и смазки деталей.

Под воздействием внешней окружающей среды (атмосферы) на поверхности стальных деталей протекают химические и электрохимические процессы. Входящие в состав атмосферы кислород, азот, углекислый газ, пары воды и различные примеси, окисляют металл и приводят к коррозионному разрушению. Существует много различных способов защиты металлов от коррозии.

В данной работе исследованиям подвергались детали огнестрельного оружия, так как оружие относится к числу распространенных объектов криминалистического исследования. Для предохранения металлических деталей оружия от коррозии и износа необходимо принимать меры для исключения испарения влаги на поверхности металлических частей оружия, защищать его различными покрытиями, смазками и периодически, особенно после стрельбы, тщательно чистить. Для обеспечения безотказной работы механизмов огнестрельного оружия применяют механическую чистку и смазку оружейным маслом [10].

Наномаркировка, нанесенная на металлическую деталь оружия, также подвергается, одновременно с оружием, естественным, абразивным и химическим воздействиям во время чистки и смазки.

Поэтому актуальным является исследование долговечности наномаркировки под воздействием факторов, характерных для рабочих условий эксплуатации изделия.

В работе проведены исследования наномаркировки, нанесенной по подобранным па-

раметрам и заданному графическому изображению – шаблону, на стальную легированную деталь оружия (спусковая тяга), на заранее подготовленную поверхность, в области предварительно созданной координатной сетки (реперных точек) [6].

Для нанесения и выявления защитных маркирующих знаков нанометрового уровня используется сканирующий зондовый микроскоп в режиме динамической силовой литографии растровым способом. При осуществлении нанесения наномаркировки давление кончика вольфрамового зонда вызывает локальную необратимую механическую деформацию поверхности и изменение рельефа твердого тела. В результате на поверхности появляется канавка с характерным сечением и глубиной, определяемыми формой зонда и твердостью материала (см. рис. 1). При этом происходит извлечение материала из канавки в виде борозд (отвала) вдоль нее, что является признаком отражаемого объекта (зонда сканирующего микроскопа). Первое выявление наномаркировки произведено сразу после ее нанесения (см. рис. 1а). Глубина канавки наномаркировки определялась анализом сечения по z-координате (см. рис. 1б).

Деталь после нанесения наномаркировки подвергалась химическим и механическим воздействиям, в соответствии с известными применяемыми схемами чистки оружия к конкретной детали – спусковой тяги огнестрельного оружия. Испытания проводили по схеме с использованием химических реагентов: спирт ректификат – масло оружейное нейтральное – растворитель – масло оружейное щелочное – растворитель, с временными промежутками между обработками от 1 до 3 месяцев. Общее время испытания составило 42 месяца. Механическое воздействие на изделие осуществляли путем протирки хлопковой ветошью ручным способом после каждой обработки детали каким-либо из перечисленных выше химических веществ. После чистки и смазки детали масло остается в канавках наномаркировки и со временем загустевает. Для удаления остатков масла использовали растворитель уайт-спирит и спирт технической ректификованный.

Выявление наномаркировки с одновременным измерением ее глубины проводили

после каждого химического и механического воздействия в течении всего срока испытаний.

Результаты измерения глубины приведены в таблице.

В процессе выполнения данной работы были получены следующие результаты. Наномаркировка, нанесенная на деталь, была выявлена во всех случаях воздействия на нее. Глубина линии (канавки) при нанесении соста-

вила около 380 нм. Вдоль канавок присутствовали борозды извлеченного металла с максимальной высотой относительно поверхности детали 315 нм.

Исследование геометрии и размера глубины линий наномаркировки после воздействия оружейным маслом показало уменьшение их величины (рис. 2а). После обработки щелочным маслом часть маркировки

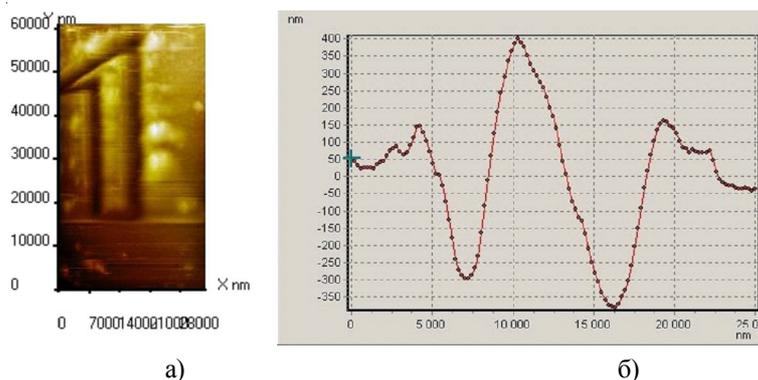


Рис. 1. Наномаркировка (цифра «1») после нанесения на деталь:
а) СЗМ-изображение; б) график, отображающий глубину линий

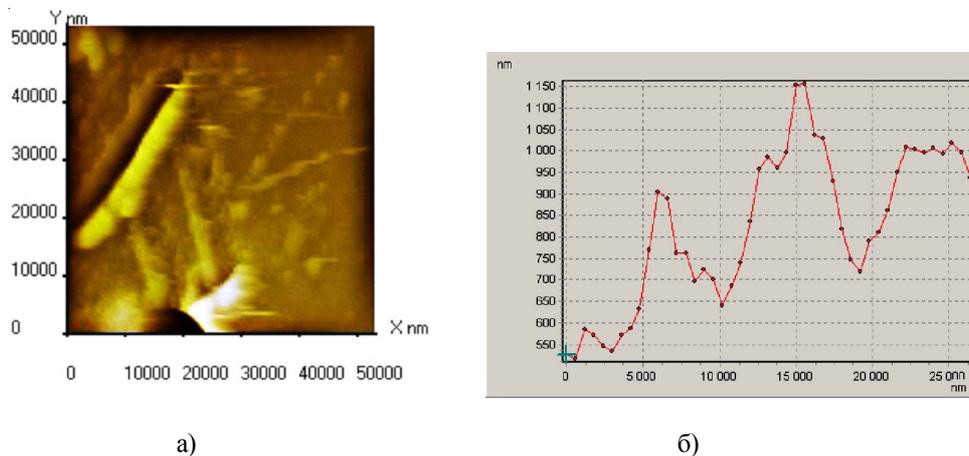


Рис. 2. Наномаркировка (цифра «1») спустя 42 месяца:
а) СЗМ-изображение; б) график, отображающий глубину линий

Глубина наномаркировки в зависимости от химического воздействия различных материалов

| Последовательность воздействия | Материалы, применяемые для воздействия | Глубина канавки, нм | Высота борозды вдоль канавки, нм |
|--------------------------------|--|---------------------|----------------------------------|
| 1 | Спирт | 311–378 | 270–304 |
| 2 | Масло нейтральное | 72–135 | 254–303 |
| 3 | Растворитель | 102–167 | 266–297 |
| 4 | Масло щелочное | 39–91 | 215–253 |
| 5 | Растворитель | 84–163 | 237–298 |

не выявлена, но выявлены борозды извлеченного материала детали по контуру линий нанесенной наномаркировки, что подтверждает присутствие наномаркировки (см. рис. 2б). Размер борозд, образовавшихся вдоль линий нанесенной наномаркировки, за время испытаний практически не изменился во всех случаях химического и механического воздействия. Отсутствие канавок объясняется тем, что загустевшее масло в этих местах заполнило канавку по всей глубине наномаркировки. После обработки детали каким-либо растворителем размер глубины канавки наномаркировки увеличился и составил 84–163 нм. То есть ацетон, спирт, уайт-спирит растворяют оружейное масло, в результате чего наномаркировка снова выявляется.

Данные результаты испытаний показывают на длительный срок жизни наномаркировки, нанесенной на стальную поверхность, ее стойкость к агрессивным и абразивным воздействиям во время эксплуатации. Выполненные исследования доказали возможность применения наномаркировки, обладающей высокой степенью латентности, на стальных деталях огнестрельного оружия. Нанесение защитной наномаркировки в сочетании с другими видами маркировки обеспечит дополнительную защиту изделий от подделки. В случае же контроля над оборотом огнестрельного оружия, при оперативно-розыскных мероприятиях, в ходе криминалистических исследований, защитная наномаркировка позволит эффективно решать диагностические и идентификационные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возможность применения зондовых нанотехнологий для нанесения защитных маркировок / И. В. Запороцкова [и др.] // Вестник криминалистики. – 2009. – № 2. – С. 41–48.
2. Горячева, Н. Ю. Маркировка и криминалистическое кодирование огнестрельного оружия / Н. Ю. Горячева // Вестник Уфимского юридического института МВД России. – 2016. – № 4. – С. 52–56.
3. Кислова, Т. В. Исследование возможности нанесения наномаркировки на стальные поверхности с помощью сканирующего зондового микроскопа / Т. В. Кислова // НБИ технологии. – 2019. – Т. 13, № 4. – С. 44–49. – DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2019.4.6>.
4. Краткая характеристика состояния преступности в Российской Федерации за январь 2020 года. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://xn--b1aew.xn--p1ai/reports/item/19655871>. – Загл. с экрана.
5. Кудинова, Н. С. Конструктивно-технологические свойства промышленных установок как объекты трасологической экспертизы / Н. С. Кудинова, А. Г. Сухарев // Судебная экспертиза : межвуз. сб. науч. ст. / под ред. А. В. Стальмахова. – Саратов : [б. и.], 2003. – Вып. 2. – С. 56–65.
6. Патент № 2365989 Российская Федерация МПК G06K 1/00 (2006.01), B82B 1/00 (2006.01). Способ нанесения наномаркировок на изделия : № 2008110538 ; заявл. 21.03.2008 ; опубл. 27.08.2009 / Запороцкова И. В., Кислова Т. В. – 12 с.
7. Применение сканирующей зондовой микроскопии для создания защитных наномаркировок / И. В. Запороцкова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. – 2008. – № 3. – С. 81–87.
8. Федеральный закон от 13.12.1996 № 150-ФЗ «Об оружии» (принят ГД ФС РФ 13.11.1996) (ред. от 29.12.2015) // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Цуканов, А. С. Возможности совершенствования государственной системы контроля оборота гражданского и служебного огнестрельного гладкоствольного оружия / А. С. Цуканов // Вестник Московского университета МВД России. – 2017. – № 1. – С. 109–112.
10. Эксплуатация стрелкового оружия : учеб. пособие / К. С. Фокин [и др.] ; под общ. ред. И. В. Фролова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 88 с.

REFERENCES

1. Zaporockova I.V., Kislova T.V., Goremykina Yu.Yu., Suharev A.G. *Vozmozhnost' primeneniya zondovyh nanotekhnologij dlya naneseniya zashchitnyh markirovok* [The Possibility of Using Probe Nanotechnology for Applying Protective Markings]. *Vestnik kriminalistiki*, 2009, no. 2, pp. 41–48.
2. Goryacheva N.Yu. *Markirovka i kriminalisticheskoe kodirovanie ognestrel'nogo oruzhiya* [Marking and Forensic Coding of Firearms]. *Vestnik Ufimskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii*, 2016, no. 4, pp. 52–56.
3. Kislova T.V. *Issledovanie vozmozhnosti naneseniya nanomarkirovki na stal'nye poverhnosti s pomoshch'yu skaniruyushchego zondovogo mikroskopa* [Investigation of the Possibility of Applying Nanomarkings on Steel Surfaces Using a Scanning Probe Microscope]. *NBI Technologies*, 2019,

vol. 13, no. 4, pp. 44-49. DOI: <https://doi.org/10.15688/NBITjvolsu.2019.4.6>.

4. *Kratkaya harakteristika sostoyaniya prestupnosti v Rossijskoj Federacii za yanvar' 2020 goda* [Brief Description of the State of Crime in the Russian Federation for January 2020]. URL: <https://xn-b1aew.xn-p1ai/reports/item/19655871>.

5. Kudinova N.S., Suharev A.G. Konstruktivno-tekhnologicheskie svoystva promyshlennykh ustanovok kak ob'ekty trasologicheskoy ekspertizy [Structural and Technological Properties of Industrial Installations as Objects of Tracological Expertise]. *Sudebnaya ekspertiza : mezhvuz. sb. nauch. st.* Saratov, 2003, iss. 2, pp. 56-65.

6. Zaporockova I.V., Kislova T.V. *Patent No. 2365989 Russian Federation MIIK G06K 1/00 (2006.01), B82B 1/00 (2006.01). Sposob naneseniya nanomarkirovok na izdeliya: zayavl. 21.03.2008 ; opubl. 27.08.2009* [Method of Applying Nanomarkings to Products]. 12 p.

7. Zaporockova I.V., Kislova T.V., Goremykina Yu.Yu., Suharev A.G. Primenenie skani-

ruyushchej zondovoj mikroskopii dlya sozdaniya zashchitnykh nanomarkirovok [The Use of Scanning Probe Microscopy to Create Protective Nanomarkings]. *Science Journal of Volgograd State University. Technology and innovations*, 2008, no. 3, pp. 81-87.

8. Federal'nyj zakon ot 13.12.1996 № 150-FZ «Ob oruzhii» (prinyat GD FS RF 13.11.1996) (red. ot 29.12.2015) [Federal Law No. 150-FZ of December 13, 1996 "On Weapons"]. *Access from Reference Legal System "KonsultantPlyus"*.

9. Cukanov A.S. Vozmozhnosti sovershenstvovaniya gosudarstvennoj sistemy kontrolya oborota grazhdanskogo i sluzhebnogo ognestrel'nogo gladkostvol'nogo oruzhiya [Opportunities for Improving the State System for Controlling the Turnover of Civil and Service Smoothbore Firearms]. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*, 2017, no. 1, pp. 109-112.

10. Fokin K.S. et al. *Ekspluatatsiya strelkovogo oruzhiya: ucheb. posobie* [Operation of Small Arms]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2018, 88 p.

INVESTIGATION OF THE DURABILITY OF NANOMARKINGS APPLIED TO STEEL PRODUCTS USING A SCANNING PROBE MICROSCOPE UNDER THE INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS

Tatyana V. Kislova

Senior Lecturer, Department of Forensic Science and Physical Materials Science,
Volgograd State University
sefm@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. The criminogenic situation in Russia today is characterized by a high level of crime. This is evidenced by the official data of the Federal State Statistics Service and the Ministry of Internal Affairs of Russia. In January 2020 alone, 496 crimes related to the use of weapons were committed. One of the problems that law enforcement agencies face when investigating crimes is establishing the authenticity or verification of items found during operational investigative actions. To increase the probability of verification of items, a number of preventive measures are necessary. As such a preventive measure, the protective marking of items of increased interest from criminal structures can act. The application of marking marks can be used to protect property rights, protect against counterfeit products, as well as by various law enforcement agencies for marking weapons. The protective properties of the marking are increased if it is latent, that is, it is not perceived visually, including with the help of available magnifying devices. In this work, the impact of operational factors on the dynamics of changes in the parameters of nanomarkings applied to steel parts is studied using a new innovative technology-scanning probe microscopy, which provides one hundred percent verification of subjects and objects.

Key words: protective nanomark, durability, steel, scanning probe microscope, dynamic lithography.