

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-4-68-1>

УДК 534.8;534-143

Гаур Т.О., Карапетян А.Р., Машін В.М., Цацко В.І.

Навчально-науковий інститут морського флоту
Одеського національного морського університету

АНАЛІЗ ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АНТИФОУЛІНГУ ТА ЛАЗЕРНОГО ОЧИЩЕННЯ НА ЦІЛІСНІСТЬ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ СУДНА

Анотація. Наведений зрівняльний аналіз впливу ультразвукового антифоулінгу та лазерного очищення на лакофарбове покриття корпусу судна. Встановлено, що обробка антифоулінгового лакофарбового покриття в потоковому режимі ультразвукового поля у використаних режимах та тривалості процесу не викликає порушень покриття. При цьому швидкість очищення щонайменше не поступається лазерному очищенню. Лакофарбове покриття частково руйнується при лазерній обробці, стійкість залежить від адгезії покриття до основного матеріалу. Враховуючи, що корозія корпусу викликана наявністю електрично активних часток, то отримані результати слід враховувати при використанні методу ультразвукового антифоулінгу та лазерного очищення. Надмірне очищення корпусу при наявності різних режимів ультразвукового поля може призвести до зростання корозії, тобто необхідно знаходити оптимальні режими антифоулінгу: частоти, амплітуди та тривалості обробки.

Ключові слова: антифоулінг, потоковий режим ультразвукового поля, лазерне очищення, генераційний час життя неосновних носіїв заряду.

Gaur Tetiana, Karapetyan Artur, Mashin Volodymyr, Tsatsko Volodymyr

Maritime Training and Scientific Institute
Odessa National Maritime University

INFLUENCE OF ULTRASONIC ANTIFOULING AND LASER CLEANING ON PAINT COATING OF A SHIP

Summary. A comparative analysis of the effect of ultrasonic antifouling and laser cleaning on the paintwork of a ship hull is given. It is known that the state of the underwater part of the ship's hull always remains one of the biggest problems. After all, the marine flora and fauna are merciless in relation to the ship's hull below the waterline. In addition to the fact that the growth of flora on the underwater part of your ship's hull will cause damage to it, it will also lead to a loss of speed. Covered with shellfish and algae, the ship's hull will be heavier. It is proved that with a large sticking of marine flora on the ship's hull, the speed of the ship can be reduced by half and it will increase fuel consumption. The importance of combating biological overgrowth stems from the economic performance of the vessel, which is directly related to the cost of delivery of goods, as well as the duration of exploitation of marine hydro-technical structures and structures. It has been established that the treatment of antifouling paintwork in the streaming mode of the ultrasonic field in the modes used and the duration of the process does not cause disturbance of the coating. At the same time, the cleaning speed is at least not inferior to laser cleaning. The lacquer coating is partially destroyed by laser processing, the stability depends on the adhesion of the coating to the base material. Given that the corrosion of the body is caused by the presence of electrically active particles, the results should be considered when using the method of ultrasonic antifouling and laser cleaning. Excessive cleaning of the case in the presence of various modes of the ultrasonic field can lead to an increase in corrosion, that is, it is necessary to find the optimal antifouling modes: frequencies, amplitudes and duration of treatment.

Keywords: antifouling, ultrasound field streaming mode, laser cleaning, generational lifetime of minor charge carriers.

Постановка проблеми. Стан підводної частини корпусу судна завжди залишається однією з найбільш великих проблем. Адже морська флора і фауна нещадні по відношенню до корпусу нижче ватерлінії.

Крім того, що нарід флори на підводній частині вашого корпусу буде приводити до його псування, він до того ж призведе до втрати швидкості. Обліплений молюсками і водоростями корпус буде швидко важчати, втрачаючи дорогоцінні вузли.

Доведено, що при великому налипанні морської флори на корпусі, швидкість яхти може зменшитися вдвічі. А ще це збільшить витрату палива.

Важливість боротьби з біологічним обростанням впливає з економічних показників експлуатації судна, що безпосередньо пов'язано із собі-

вартістю доставки вантажів, а також тривалістю експлуатації морських гідротехнічних споруд і конструкцій [1–3].

Все це приводить до необхідності використання різних способів антифоулінгу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Боротьба з біологічним обростанням ведеться двома основними шляхами [4]:

1. Відділення обростання від корпусу судна. Воно може виконуватися як в умовах сухого доку, так й в підводному положенні, що є більш сприятливим з точки зору часу та економічної ефективності.

2. Недопущення біологічного обростання. Відділення обростання від корпусу судна в підводному положенні можна здійснити наступними методами:

- механічним – за допомогою щіток, шарошок, вібруючих ножів;
- лазерним – з використанням скануючих систем лазерного випромінювання;
- гідродинамічним – струменями води під тиском з кавітаційними ефектами.

Недоліками цих методів є:

- висока ймовірність порушення в процесі очищення чинного лакофарбового покриття, що неприпустимо для плаваючого судна;
- висока енергоємність процесу очищення;
- висока собівартість процесів.

Недопущення біологічного обростання здійснюється пасивним та активним шляхами.

До пасивних відноситься застосування антифоулінгових лаків і фарб [5–6]. Слід відзначити, що такі матеріали є отруйним, їх використання заборонено в умовах Арктики та Антарктики.

До активних відносяться:

- захист хімічним способом, заснованим на подачі до поверхонь зі спеціальних емностей різного виду токсинів;
- захист фізико-хімічними способами (електрохімічними) за допомогою електролізу морської води при використанні розчинних або нерозчинних анодів;
- вуглекислотний спосіб, заснований на використанні відпрацьованих газів СЕУ для насичення ними морської води, що циркулює в судновій системі.

Слід відмітити, що хімічні, електрохімічні та вуглекислотні способи дозволяють проводити очищення лише тих ділянок корпусу судна, які мають сполучення з внутрішніми приміщеннями суден. Крім того перші дві групи цих способів є шкідливими для зовнішнього середовища.

Серед активних способів антифоулінгу слід виділити системи ультразвукового антифоулінгу [7], які змушують обшивку корпусу слабо вібрувати. Це не дозволяє морським організмам і водоростям прикріплюватися до поверхні обшивки та не перешкоджає середовищу на різницю від отруйних антифоулінгових фарб. При цьому, однак, слід враховувати режим ультразвукового поля.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Встановлено, що під дією явища кавітації можливе не тільки очищення, але й руйнування вузлів судна. Хімічна агресивність газів у пухирцях, що мають до того ж високу температуру, викликає ерозію матеріалів, з якими стикається рідина, де розвивається кавітація. Ця ерозія й становить один з факторів шкідливого впливу кавітації. Другий фактор обумовлений великими викидами тиску, що виникають при стисненні пухирців і впливають на поверхні зазначених матеріалів.

Тому ми пропонуємо проводити ультразвуковий антифоулінг при потоковому режимі ульт-

тразвукового поля [8], який не приводить до кавітаційних пошкоджень корпусу судна.

Мета роботи. Метою даної роботи було зрівняння ефективності очищення в потоковому режимі ультразвукового поля з лазерним очищенням та оцінка впливу цих процесів на лакофарбове покриття суден

Виклад основного матеріалу. Для виконання цієї мети були виготовлені зразки трьох типів (рис. 1). На підкладки з алюмінію (рис. 1а), кремнію (рис. 1б), окисненого кремнію (рис. 1в) пульверизацією наносились шари чорної (товщиною 0,1 мкм) та сірої (товщиною 0,3 мкм) антифоулінгової фарби.

Вони навмисно забруднювались плівкою тваринного жиру, після чого проводилось очищення. Ультразвукове очищення проводилось у ванні, подібної до описаної в роботі [8]. Режим з малим коефіцієнтом бігучості досягався наявністю податливої межі розчин-повітря. Експерименти при наявності ультразвукового поля проводились при температурі 60°C і частоті 85 кГц. Вибір такої температури полегшував термостатування, дозволяв більш раціонально використовувати миючий розчин та застосовувати акустичні датчики, в яких в якості джерела ультразвукового поля використовувався випромінювач з сегнетової сіллі. пластини з кремнію КДБ-3 діаметром 40 мм оброблялись методом Керна [9] як при наявності ультразвукового поля, так і при його відсутності. Розміри та геометрія пластин визначили доцільність використання релеєвських течій.

Існує широкий діапазон акустичних параметрів, що відповідають умовам розвинутого зовнішнього циркуляційного руху середовища. При припущенні рівності характеристичного розміру джерела течії половині довжині хвилі для частоти 85 кГц був обраний режим: амплітуда зміщення 6 мкм, відстань між пластинами 10 мм, розмір поверхневої циркуляції 5х3 мм, амплітуда швидкості потоку 3 см/с, максимальна сила тертя, розрахована на одиницю площі 0,315 кПа.

Сканування при лазерному очищенні проводилось за рахунок механічного переміщення зразків при нерухомому лазері [10].

Оцінка якості очищення від макрозабруднень проводилась за допомогою мікроскопу МБС-11. Критерієм очищення було співвідношення $k = (S_1 - S_2) / S_1$, де S_1 , S_2 – площа забруднень до і після очищення відповідно. Введення такого критерію обумовлене необхідністю урахування розкиду значень діаметра забруднень, що залишаються після очищення.

Для вимірювання генераційних параметрів МДН-структур, які дуже чутливі до наявності мікрозабруднень, на поверхні кремнію витворювався шар діоксиду кремнію товщиною 0,15 мкм

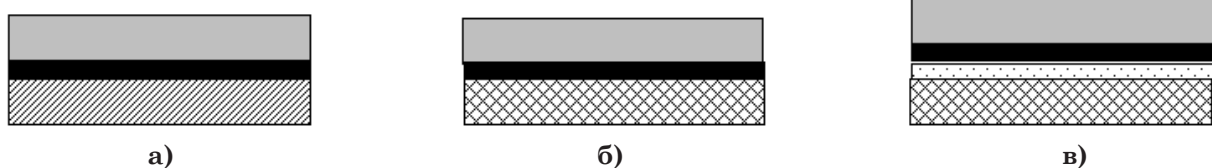


Рис. 1. Структура зразків з лакофарбовим покриттям

▨ Al; ■ шар ТК (чорний); □ шар ТК (сірий); ▩ Si; □ SiO₂.

шляхом окислення в сухому кисні. Товщина окисної плівки контролювалась лазерним еліпсометром типу ЛЕМ-2.

Після окислення термічним випаровуванням у вакуумі через маски створювались металеві електроди МДН-структур. Крім вакуумного напилювання для створення МДН-структур використовувались також ртутний та індієвий зонди.

Генераційні параметри МДН-структур визначались як результат обробки їх фарад-секундних характеристик [11]. Середня кількість МДН-структур на кожній пластині складала 100. Ці результати статистичне оброблялись методом Стюдента. Дослідження показали, що незалежно від способу створення металевих контактів (вакуумне напилювання, ртутний зонд, індієвий зонд) отримані результати теж самі. Розбіжність параметрів від пластини до пластини в межах однієї партії не перевищувала 1%, хоча по площині пластини дані могли суттєво відрізнятися.

Результати візуального контролю (рис. 2) показали, що додання ультразвуку дозволяє збільшити швидкість та якість очищення поверхні від макророзбруднень. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що ультразвук спочатку роздрібнює частки макророзбруднень, а потім видаляє їх. Слідє відзначити, що залежність коефіцієнту очищення від кількості пластин значно менша при наявності ультразвуку.

Зменшення коефіцієнту очищення з ростом кількості пластин пояснюється підвищенням концентрації забруднень у обмеженому об'ємі розчину.

З рис. 2 слідє, що при ультразвуковому очищенні зразки з лакофарбовим покриттям і без нього показали однакові результати, що дозволяє зробити попередній висновок про відсутність пошкоджень лакофарбового покриття при обраних режимах ультразвукового очищення.

Візуальний контроль поверхні зразків з лакофарбовим покриттям, оброблених в потоковому режимі ультразвукового поля, не виявив значних пошкоджень. У той же час лазерна обробка на протязі 15 хв (що відповідає тривалості ультразвукового очищення) привела до пошкодження лакофарбового покриття. За цей час очищення відбувалося лише на площі 1 см² (при ультразвуковому способі відбувалося очищення всієї пластини діаметром 40 мм). При лазерному очищенні було виявлено 12-15 чорних точок (руйнування «сірого» шару покриття) та 3-4 точки з повним руйнуванням «сірого» та «чорного» шарів лакофарбового покриття.

Слідє відзначити, що нанесення лакофарбового покриття проводилось без ґрунтування з метою полегшення умов його руйнування для оцінки лагідності процесів очищення. На зразках, наведених на рис. 1, б, щільність руйнувань при лазерній обробці була вище на 7-8%, що пояснюється меншою адгезією лакофарбового покриття до кремнію по зрівнянню з алюмінієм.

На рис. 3 наведені графіки залежності відносного генераційного часу життя неосновних носіїв заряду від кількості одночасно оброблюваних пластин.

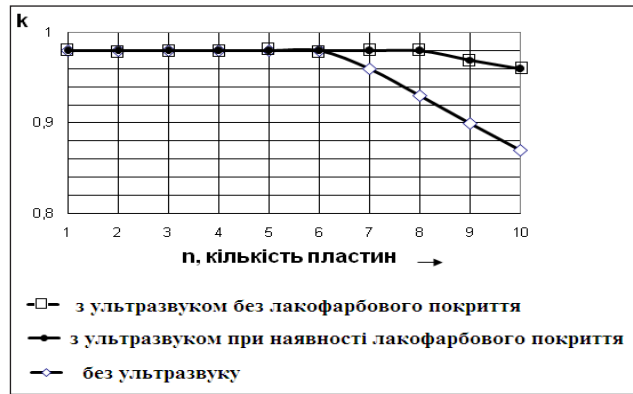


Рис. 2. Залежність коефіцієнту очищення від кількості пластин

При тривалості ультразвукової обробці 15 хв для випадку структур, що попередньо не мали лакофарбового покриття (1), структур з нанесенням такого покриття і попередньою обробкою в потоковому режимі ультразвукового поля (2) та лазерною обробкою (3).

З аналізу наведених результатів слідє, що зразки з попередньою обробкою в потоковому режимі ультразвукового поля незалежно від того, було чи ні нанесення лакофарбового покриття, показали приблизно однакові результати. У той же час зразки з попередньою обробкою лазером мали значно менші значення генераційного часу життя, що говорить про порушення поверхневого шару напівпровідника при такій обробці (хоча візуальний контроль зразків після зняття лакофарбового покриття не виявив макроскопічних порушень).

Слідє відзначити, що підвищення тривалості обробки в ультразвуковому полі приводить до незначного зменшення відносного генераційного часу життя неосновних носіїв заряду. Це можна пояснити підвищенням рухливості електричне активних часток (які повторно осідають на поверхню) при підвищенні її чистоти.

Зразки, що мали структуру наведену на рис. 1, в, були оброблені в потоковому режимі ультразвукового поля до і після зняття лакофарбового покриття. Вимірювання генераційного часу життя

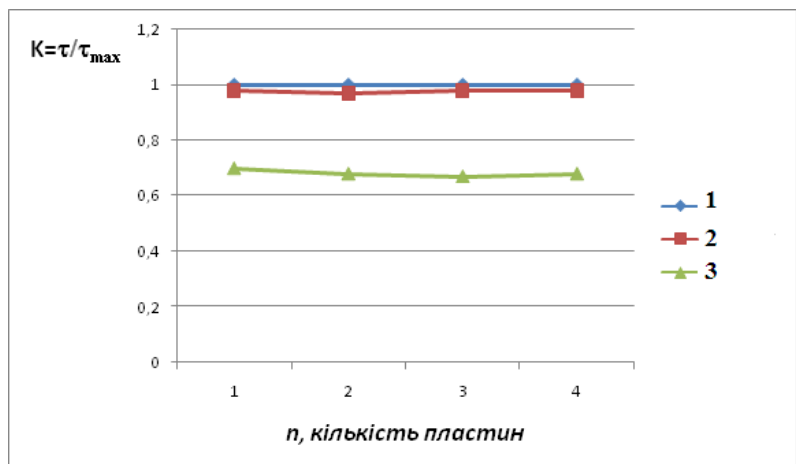


Рис. 3. Залежність відносного генераційного часу життя неосновних носіїв заряду від кількості пластин для різних способів обробки

неосновних носіїв заряду не виявили суттєвих відхилень від зразків 1, 2. Це також говорить про відсутність впливу такого режиму обробки на якість лакофарбового покриття.

Висновки та пропозиції. Наведені результати дозволяють зробити на-ступні висновки:

1. Обробка антифоулінгового лакофарбового покриття в потоковому режимі ультразвукового поля у використаних режимах та тривалості процесу не викликає порушень покриття. При цьому швидкість очищення щонай-менше не поступається лазерному очищенню.

2. Лакофарбове покриття частково руйнується при лазерній обробці, стійкість залежить від адгезії покриття до основного матеріалу.

3. Враховуючи, що корозія корпусу викликана наявністю електричне активних часток, то отримані результати слід враховувати при використанні методу ультразвукового антифоулінгу та лазерного очищення. Надмірне очищення корпусу при наявності різних режимів ультразвукового поля може призвести до зростання корозії, тобто необхідно знаходити оптимальні режими антифоулінгу: частоти, амплітуди та тривалості обробки

Список літератури:

1. Кульчин Ю.Н., Звягинцев А.Ю., Субботин Е.П. и др. Перспективы и технико-экономические аспекты разработки новых методов контроля биообрастания на морском транспорте. *Вестник ДВО РАН*. 2015. № 6. С. 96–102.
2. Брошков С.Д. Выбор экономичной скорости хода судна с учетом характеристик главного двигателя. *Автоматизация судовых технических средств*. 2013. № 19. С. 16–22.
3. Быканова А.Ю., Костенко В.В., Львов О.Ю., Никитин А.И., Субботин Е.П., Костенко А.А. Роботизированный комплекс подводного инспектирования м лазерной очистки судов на плаву. *Материалы Седьмой Всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана»*. Владивосток, 2017. С. 122–128.
4. Абрамов В.А. Совершенствование режимов и повышение эксплуатационной эффективности судовых электролизерных противообрастающих систем путем управления карбонатным равновесием морской воды. *Судовые энергетические установки*. 2010. № 26. С. 82–101.
5. Almeida, E. Diamantino, Teresa C. & De Sousa. "Marine paints: The particular case of antifouling paints", *Progress in Organic Coatings*. V. 59(1). 2007, pp. 2–20.
6. Diego Meseguer Yebram, Kim Dam-Johansen. Antifouling technology-past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*. V. 50(2). 2004, pp. 75–104.
7. Система ультразвукового антифоулинга. URL: <http://interparus.com/?go=news&nomid=19&id=19.->
8. Белецкий П.Н., Кудрова Т.Н., Мокрицкий В.А. и др. Воздействие акустических пристеночных течений на процесс очистки полупроводниковых подложек. *Акустика и ультразвуковая техника*. 1982. Вып. 17. С. 20–25.
9. Kern W., Puotinen D.M. Cleaning solutions based on hydrogenperoxide for use in silicon semiconductor technology. *RCA-Review*. 1970. Vol. 31, № 2, p. 187–206.
10. Мощный лазер своими руками за один вечер. URL: <https://habr.com/ru/post/61109/>
11. Сухарев Ю.Г., Тростянская Н.И., Цацко В.И. Влияние различных методов геттерирования точечных дефектов на генерацию носителей заряда в кремниевых МДП-структурах Рукопис. Деп. в УкрНИИТИ 05.01.87 № 112-Ук87.

References:

1. Kulchin Yu.N., Zvyagintsev A.Yu., Subbotin E.P. i dr. Perspektivy i tehniko-ekonomicheskie aspekty razrabotki novyih metodov kontrolya bioobrastaniya na morskoy transporte. *Vestnik DVO RAN*. 2015. № 6. S. 96–102.
2. Broshkov S.D. Vyibor ekonomichnoy skorosti hoda sudna s uchetom harakteristik glavnogo dvigatelya. *Avtomatizatsiya sudovyih tehnikeskikh sredstv*. 2013. № 19. S. 16–22.
3. Bykanova A.Yu., Kostenko V.V., Lvov O.Yu., Nikitin A.I., Subbotin E.P., Kostenko A.A. Robotizirovannyiy kompleks podvodnogo inspektirovaniya m lazernoy ochistki sudov na plavu. *Materialy Sedmoy Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Tehnicheskiiye problemyi osvoeniya mirovogo okeana»*. Vladivostok, 2017. S. 122–128.
4. Abramov V.A. Covershenstvovanie rezhimov i povyishenie ekspluatatsionnoy effektivnosti sudovyih elektrolizernyih protivobrastayuschih sistem putem upravleniya karbonatnyim ravnovesiem morskoy vody. *Sudovyye energeticheskie ustanovki*. 2010. № 26. S. 82–101.
5. Almeida E., Diamantino, Teresa C. & De Sousa. "Marine paints: The particular case of antifouling paints", *Progress in Organic Coatings*. V. 59(1). 2007, pp. 2–20.
6. Diego Meseguer Yebram, Kim Dam-Johansen. Antifouling technology-past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*. V. 50(2). 2004, pp. 75–104.
7. Sistema ultrazvukovogo antifoulinga. URL: <http://interparus.com/?go=news&nomid=19&id=19.->
8. Beletskiy P.N., Kudrova T.N., Mokritskiy V.A. i dr. Vozdeystvie akusticheskikh pristenochnyih techeniy na protsess ochistki poluprovodnikovoyih podlozhek. *Akustika i ultrazvukovaya tehnika*. 1982. Vyp. 17. S. 20–25.
9. Kern W., Puotinen D.M. Cleaning solutions based on hydrogenperoxide for use in silicon semiconductor technology. *RCA-Review*. 1970. Vol. 31, № 2, p. 187–206.
10. Moschnyy laser svoimi rukami za odin vecher. URL: <https://habr.com/ru/post/61109/>
11. Suharev Yu.G., Trostyanskaya N.I., Tsatsko V.I. Vliyanie razlichnyih metodov getterirovaniya tochechnyih defektov na generatsiyu nositeley zaryada v kremnievyih MDP-strukturah Rukopis. Dep. v UkrNIINTI 05.01.87 №112-Uk87.