

влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (Часть 2) // Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 4 (81).– С. 85-95.

5. Астреин В.В., Кондратьев С.И. Структура системы безопасности судовождения // Эксплуатация морского транспорта.– 2015.– № 3 (76).– С. 38-47.

References

1. Efremov S.N. Analiz massovogo raskhoda peretechnik v spiral'nom holodil'nom kompressore / S.N. Efremov. – Vestnik SevGTU. Sb. nauch. trudov, vyp.87, Sevastopol', 2003. – S.107–110.
2. Vladeckij D.O. Termodinamicheskij analiz processov peremennogo massovogo raskhoda peretechnik v spiral'nom holodil'nom kompressore /

D.O. Vladeckij, A.B. Gonchar, S.N. Efremov, V.A. Timofeev. – Eksploatatsiya morskogo transporta. – 2018.– №1(86). – S.105-109.

3. Morozjuk T.V. O korrektnom provedenii eksergeticheskogo analiza / T.V. Morozjuk. – Holodil'naya tekhnika. – 2006.– №2. – S.18-21.
4. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnykh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovykh elektroenergeticheskikh sistem (CHast' 2) // Eksploatatsiya morskogo transporta.– 2016.– № 4 (81).– С. 85-95.
5. Astrein V.V., Kondrat'ev S.I. Struktura sistemy bezopasnosti sudovozhdeniya / Eksploatatsiya morskogo transporta. 2015. № 3 (76). S. 38-47.

УДК 621.9.048.6:621.794

DOI: 10.34046/aumsuomt93/15

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В.В. Иванов, доктор технических наук, профессор

А.В. Филь, кандидат технических наук, доцент

Н.П. Погорелов, кандидат технических наук, доцент

Представлены результаты исследований цинковых покрытий, получаемых на поверхности металлов в процессе механохимического синтеза, реализуемого в условиях виброволновых технологических систем. Раскрыты особенности морфологии структуры покрытия, показана активирующая роль в её формировании свободнодвижущихся инденторов. Определены факторы влияния, позволяющие повысить эксплуатационные свойства поверхностного слоя деталей судовых механизмов. Показаны преимущества этого способа нанесения цинковых покрытий по сравнению с традиционными методами. **Ключевые слова:** цинковое покрытие, механохимия, виброволновая технологическая система, свободнодвижущийся индентор, микро/наноструктура, спектральный анализ покрытия, образцы деталей с цинковым покрытием.

The paper considers results of investigation of zinc coatings obtained on the metal surface in the course of the mechano-chemical synthesis which is executed in the vibrowave technological systems. The nature of coatings is found out as well as the activating function of free-moving indenters formed under action of low-frequency vibration and its action on increasing of performance characteristics of the item surface area. Advantages of such method of applying zinc coatings are specified when compared to the conventional way.

Key words: zinc coatings, mechanochemistry, technological vibrowave system, free-moving indenter, microstructure, nanostructure, spectrochemical analysis of covering, samples of items covered with zinc.

Введение

Формирование цинкового покрытия на поверхности металла в условиях виброволновых технологических систем представляет собой сложный процесс, являющийся результатом совместного воздействия механической составляющей и химической реакции. При нанесении покрытия механохимическим способом обеспечивается один из основных показателей качества поверхности отсутствие

наводороженного слоя [1-3].

Цель исследований: является установление технологических особенностей формирования механохимического цинкового покрытия, сформированного в результате виброволнового воздействия свободнодвижущихся инденторов.

Результаты исследований

Процесс нанесения цинкового покрытия механохимическим способом во вращающихся барабанах имеет устойчивую репутацию в мире.

При нанесении, таким образом, покрытия обеспечивается один из основных показателей качества отсутствие наводороженного слоя. Однако использование данного оборудования ограничивает область применения из-за его специализации [5-9]. Широкие технологические возможности вибрационной обработки являются основанием для создания на поверхности деталей покрытий различного вида и назначения. Однако каждый вид покрытия имеет свои физико-химические свойства, и формируются по законам присущим только ему. Поэтому раскрытие физической сущности протекания процесса требует дополнительных исследований морфологии поверхности.

Формирование цинкового покрытия на поверхности металла представляет собой сложный процесс, являющийся результатом совместного воздействия механической составляющей и химической реакции.

С учётом особенностей виброволновых процессов разработан технический процесс формирования цинкового покрытия.

В процессе вибрационного воздействия поверхность металла подвергается многочисленным разнонаправленным ударам, упруго пластической деформации и, как следствие, активации поверхности; одновременно имеют место такие явления как адсорбция и диффузия.

В первый момент образования покрытия ион цинка из раствора пройдя двойной слой, освободившись от гидратной оболочки адсорбируется на активных поверхностях выступов. Здесь ион цинка (Zn^{++}) разряжается (принимает электроны) и (Zn) осаждается на поверхности металла за счет окислительно-восстановительных процессов в виде цинкового покрытия. Образование первых кристаллов осажденного металла приводит к возникновению микро/нано элементов «покрытие-металл» [10-14]. В результате на разность потенциалов Fe-Zn накладывается поле микроэлементов. Увеличение внутренней энергии поверхностных слоев металла, в результате пластической деформации, приводит к повышению адсорбционной активности металлической поверхности, активности ионов и молекул, увеличению центров кристаллизации и плотности микротоков, одновременно в покрытие внедряются микро/нано структуры цинкового покрытия. Возникшая ЭДС оказывает существенное влияние на дальнейший ход образования покрытия. Формирование кристаллических структур покрытия происходит не только на выступах, но и на гранях, и в углублениях. В результате металл покрывается более равномерно, кристаллы смыкаются, образуя сплошное покрытие. На (рис. 1) ясно различимы группы кристаллов цинкового покрытия.

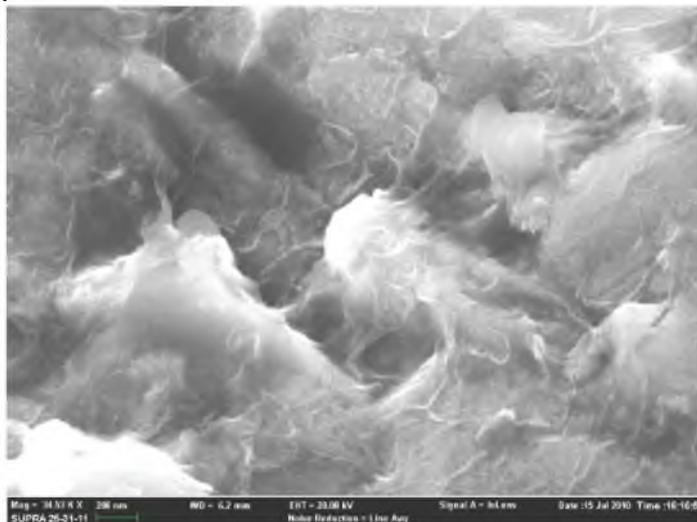


Рисунок 1 – Вибрационное механохимическое цинковое покрытие

Образовавшийся в начальной стадии слой покрытия является основой для последующего его роста, очень важно обеспечить максимальную активность поверхности. Образование большого числа мелких кристаллов обеспечивает более полное перекрытие основного металла. В результате достигается меньшая пористость, повышенная коррозионная стойкость и большая прочность сцепления с основным металлом [15].

Взаимодействие на поверхности раздела фаз приводит в системе Fe-Zn к возникновению различия в составах, поверхностного и внутреннего слоя данной фазы и, следовательно, к процессу выравнивания их состава. Последнее ускоряется конвекционными процессами при вибрационной механохимической обработке (ВиМХО).

Стремление к выравниванию концентраций влечет за собой диффузионный процесс, который определяется тепловым движением атомов (молекул), перепадом температур, электрических полей и др.

На электронном изображении шлифа и спектра вибрационного механохимического покрытия (рис. 2.) отчетливо видны включения в толщину стали цинка на глубину до 16 мкм.

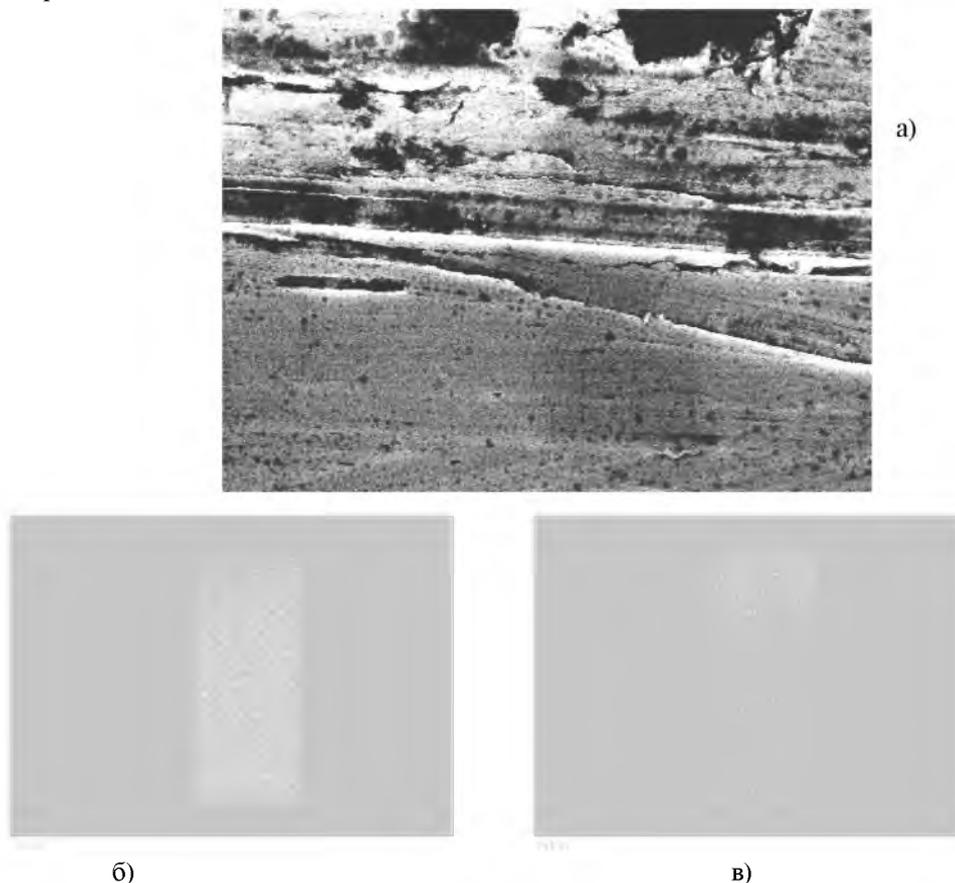
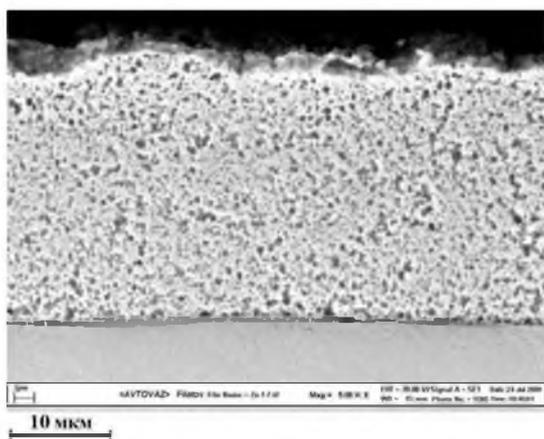


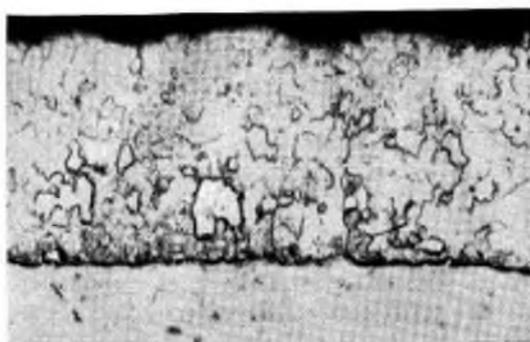
Рисунок 2 – электронное изображение шлифа:
 а – шлиф ВиМХП цинкового, б – спектральное изображение основного металла Fe,
 в – спектральное изображение покрытия Zn

Способ получения цинковых покрытий — это основной фактор, определяющий их структуру и свойства. На (рис. 3) приведена микроструктура цинкового покрытия, полученного гальваническим способом. Видна резкая граница между стальным основанием и слоем цинка, т. е. при данном способе цинкования основной металл (сталь) и покрытие никаких сплавов между собой не образуют, так как процесс идет при низкой температуре, не достаточной для интенсивной диффузии также пористая структура и наводораживание поверхностного слоя значительно снижает коррозионную стойкость покрытия.

Строение вибрационного механохимического покрытия (ВиМХП), как видно из спектрограммы и шлифа, имеет беспористую структуру и резкую границу между металлом и покрытием, что объясняет его повышенные коррозионные свойства и является отличительной чертой ВиМХП и несомненным преимуществом по сравнению с гальваническими покрытиями. Цинкование в процессе вибрационной механохимической обработки применяется для деталей из конструкционных углеродистых и легированных сталей. Оборудованием могут служить серийно выпускаемые вибрационные станки с прямоугольными и кольцевыми рабочими камерами (рис. 4).



а)



б)

Рис. 3. Микроструктура цинкового покрытия, полученного гальваническим способом. $\times 300$

Рисунок 3 – Гальваническое цинковое покрытие, полученное (а) при стационарном режиме нанесения. б) покрытие гальваническое X-300

Строение вибрационного механохимического покрытия (ВиМХП), как видно из спектрограммы и шлифа, имеет беспористую структуру и резкую границу между металлом и покрытием, что объясняет его повышенные коррозионные свойства и является отличительной чертой ВиМХП и несомненным преимуществом по срав-

нению с гальваническими покрытиями. Цинкование в процессе вибрационной механохимической обработки применяется для деталей из конструкционных углеродистых и легированных сталей. Оборудованием могут служить серийно выпускаемые вибрационные станки с прямоугольными и кольцевыми рабочими камерами (рис. 4).

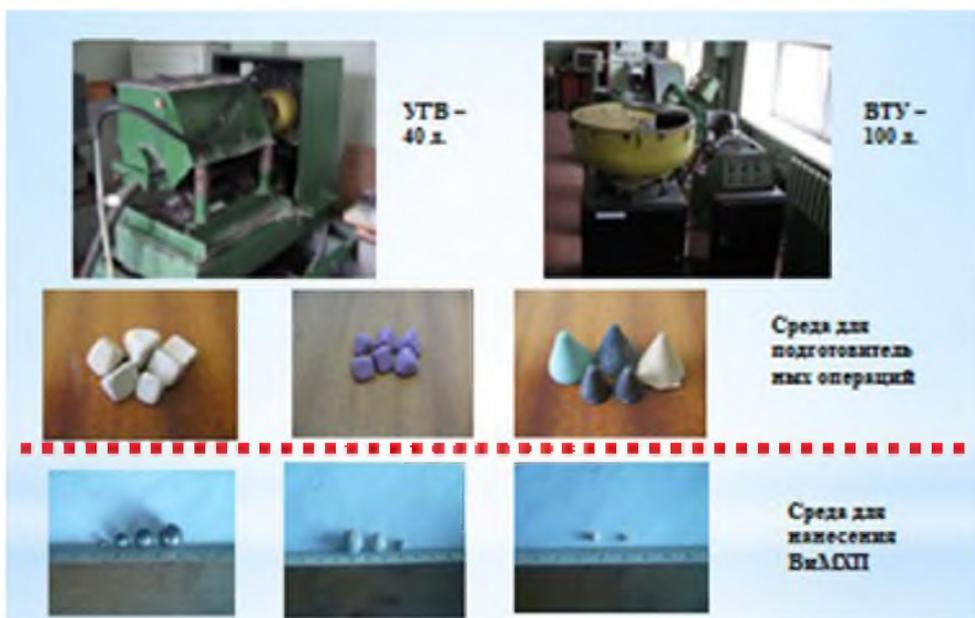


Рисунок 4 – Экспериментальное оборудование и рабочие среды

В качестве рабочей среды используются стеклянные, фарфоровые шарики диаметром 2...8 мм, порошок цинка (марки ПЦ-2) и химические активаторы. Процесс покрытия осуществляется в технологической жидкости. Толщина цинкового покрытия до 20 мкм и в сравнении с традиционным гальваническим цинкованием оно отличается:

- малой энергоемкостью технологии;
- экологической чистотой;
- отсутствием наводораживания поверхности;

- хорошими физико-механическими и эксплуатационными свойствами поверхности: низкой шероховатостью;
- высокой коррозионной стойкостью покрытия.

Комбинированный процесс вибрационного механохимического цинкования (ВиМХЦ) можно рассматривать как совокупность независимого воздействия механических, химических и механохимических факторов.

На процесс ВиМХЦ влияют режимы обработки; частота и амплитуда колебаний; состав и

абразивные свойства рабочей среды; объемное соотношение рабочей среды и деталей; конструктивные соотношения обрабатываемых деталей и рабочей камеры. Толщина покрытия в этом случае определяется разностью скоростей формирования покрытия и сопутствующего съема металла. В свою очередь формирование покрытия также определяется механическими факторами. На этапе нанесения покрытия очищенные и промытые детали загружали в герметически закрывающуюся рабочую камеру с фарфоровыми шарами диаметром 5-10 мм, раствором, содержащим хлорид цинка в количестве 100г на литр воды, и цин-

ковым порошком – 50 г на литр раствора. Температура рабочего раствора может колебаться от 18⁰-35⁰ С, при низких температурах 0⁰-15⁰ время нанесения покрытия увеличивается на 15%. Режимы работы оборудования устанавливаются в следующих пределах: амплитуда колебаний 3 мм, частота колебаний 25 Гц, время 45-60 мин./4/ После нанесения покрытия детали извлекали из камеры, промывали холодной проточной водой, сушили. На (рис. 5) представлены образцы деталей, используемых в автомобильной промышленности данный метод, применим как для крупных предприятий, так и для небольших ремонтных мастерских.



Рисунок 5 – Образцы деталей с вибрационным механохимическим покрытием

С целью повышения коррозионной стойкости цинковые покрытия подвергались специальной химической обработке в хроматном растворе состава, г/л: кислота азотная (HNO₃) – 2-5; ангидрит хромовый (CrO₃) – 25-55; натрий сернокислый (Na₂SO₄) – 15-20.

Обработку проводили при температуре 15-30⁰С в течение 0.1-0.3 минут. Далее детали промывались в холодной проточной воде. Сушка деталей проводилась в течение 6 минут при температуре 50⁰С.

Вибрационные механохимические покрытия получают почти беспористыми, поэтому хроматную обработку можно не проводить.

Выводы

1. Цинковое покрытие полученное в условиях виброволновых технологических систем обладает рядом преимуществ, таких как отсутствие наводороженного слоя, малая пористость, высокая коррозионная прочность.

2. Технология нанесения покрытий не требует специального оборудования, помещений, высококвалифицированных специалистов, специального оборудования для очистки и утилизации отходов.

3. Применения данного способа нанесений цинковых покрытий целесообразно для деталей без глубоких отверстий.

Литература

1. Бабичев А.П. Иванов В.В., Бурлакова В.Э., Филипчук О.С. Исследование микро/нано профиля цинкового покрытия при вибрационной механохимической обработке углеродистых сталей // Упрочняющие технологии и покрытия.– 2014. – №7.– С.46-49.
2. Иванов В.В., Попов С.И., Марченко Ю.В. Использование полимерных рабочих сред для формирования оксидной пленки в условиях виброобработки // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева.– 2018.– № 1(44).– С. 108-113.
3. Иванов В.В., Селеменев М.Ф., Марченко Ю.В. Формирование вибрационных механохимических твердосмазочных покрытий на основе дисульфида молибдена // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.– 2011.– № 2 (286).– С. 73-78.
4. Ivanov V.V., Popov S.I., Kirichek A.V. Investigation of optimal chemical composition of cast aluminum alloys for vibrational mechanical-chemical polishing and deposition of protective and decorative coatings // XI International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2017): IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, V. 327, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032026. 18-22.
5. Ivanov V.V., Dontsov N.S., Kirichek A.V. Technological features of metallic zinc coatings obtained during

- mechanochemical synthesis, implemented in conditions of vibro-wave technological systems // XI International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2017): IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, V. 327, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032025.
6. Lebedev V. A, Ivanov V.V. and Fedorov V. P. Morphological analysis of galvanized coating applied under vibrowave process system conditions// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124. 2016. doi:10.1088/1757-899X/124/1/01216.
 7. Babichev, A., Ivanov V., Pogoelov. The research of technological characteristic of the vibrowave mechanical and chemical oxide coating formation.(Conference Paper)The research of technological characteristic of the vibrowave mechanical and chemical oxide coating formation. 2017; DOI: 10.1051/mateconf/201713201004
 8. A.A. Ivakhnenko, M.L. Storublev, A.G. Ivakhnenko. Tolerance Synthesis When in Operation of Process Equipment for Electroplated Coating Application //Procedia Engineering. Vol.150,2016.Pp.742-745. ttps://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.097.
 9. Valeriy Blumenstein, Maksim Mahalov, Oleg Ostanin. Simulation and Calculation of Residual Stresses in Mining Machines Components.E3S Web of Conferences 41, 03012 (2018) https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184103012 IIIrd International Innovative Mining Symposium-https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/16/contents.html.
 10. V.V. Ivanov., V. P. Smolentsev, A. I. Portnykh. Technology of combined chemical-mechanical fabrication of durable coatings.MEACS 2017 IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 042121 doi:10.1088/1757-899X/327/4/042121.
 11. Ivanov V. Nikolay P. Pogorelov, Mikhail F. Selemenev, Artem A. Sakunov
Research of micro and nano profile surface morphology of vibrational mechanical and chemical zinc coating. MATEC Web of Conferences .Published online: 2018.DOI: https://doi.org/10.1051/mateconf/201822601018
 12. В.А. Лебедев, В.В. Иванов, В.Д. Соколов и др. Энергетическая модель формирования вибрационных механохимических покрытий. // Наноинженерия, 2013. №5 – С.11-17.
 13. Грилихес С.Я. Электролитические и химические покрытия / С.Я. Грилихес, К.И. Тихонов. Л.: Химия, 1990.
 14. Иванов В.В. Вибрационные механохимические методы нанесения покрытий (цинкование) / В.В. Иванов. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2010. 8,9 п.л.
 15. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. Изд. 2е, перераб. и доп. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694с.
 16. Каракаев А.Б., Хекерт Е.В., Луканин А.В.Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (Часть 2) // Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 4 (81).– С. 85-95.

References

1. Babichev A.P. Ivanov V.V., Burlakova V.E., Filipchuk O.S. Issledovanie mikro/nanoprofilya cinkovogo pokrytiya pri vibracionnoj mekhanohimicheskoy obrabotke uglevodistyh stalej // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. 2014. - №7. S.46-49.
2. Ivanov V.V., Popov S.I., Marchenko YU.V. Ispol'zovanie polimernyh rabochih sred dlya formirovaniya oksidnoj plenki v usloviyah vibroobrabotki // Vestnik Rybinskoj gosudarstvennoj aviacionnoj tekhnologicheskoy akademii im. P. A. Solov'eva.- 2018.- № 1(44).- S. 108-113.
3. Ivanov V.V., Selemenev M.F., Marchenko YU.V. Formirovanie vibracionnyh mekhanohimicheskikh tverdosmazochnyh pokrytij na osnove disulfida molibdena // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2011. № 2 (286). S. 73-78.
4. Ivanov V.V., Popov S.I., Kirichek A.V. Investigation of optimal chemical composition of cast aluminum alloys for vibrational mechanical-chemical polishing and deposition of protective and decorative coatings // X I International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2017): IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, V. 327, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032026. 18-22.
5. Ivanov V.V., Dontsov N.S., Kirichek A.V. Technological features of metallic zinc coatings obtained during mechanochemical synthesis, implemented in conditions of vibro-wave technological systems // XI International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2017): IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, V. 327, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032025.
6. Lebedev V. A, Ivanov V.V. and Fedorov V. P. Morphological analysis of galvanized coating applied under vibrowave process system conditions// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124. 2016. doi:10.1088/1757-899X/124/1/01216.
7. Babichev, A., Ivanov V., Pogoelov. The research of technological characteristic of the vibrowave mechanical and chemical oxide coating formation.(Conference Paper)The research of technological characteristic of the vibrowave mechanical and chemical oxide coating formation. 2017; DOI: 10.1051/mateconf/201713201004
8. A.A. Ivakhnenko, M.L. Storublev, A.G. Ivakhnenko. Tolerance Synthesis When in Operation of Process

- Equipment for Electroplated Coating Application //Procedia Engineering. Vol.150,2016.Pp.742-745. [tps://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.097](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.097).
9. Valeriy Blumenstein, Maksim Mahalov, Oleg Ostannin. Simulation and Calculation of Residual Stresses in Mining Machines Components. E3S Web of Conferences 41, 03012 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184103012> IIIrd International Innovative Mining Symposium- <https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/16/contents/contents.html>.
 10. V.V. Ivanov., V. P. Smolentsev, A. I. Portnykh. Technology of combined chemical-mechanical fabrication of durable coatings. MEACS 2017 IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 042121 [doi:10.1088/1757-899X/327/4/042121](https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042121)
 11. Ivanov V. Nikolay P. Pogorelov, Mikhail F. Selemenev, Artem A. Sakunov Research of micro and nano profile surface morphology of vibrational mechanical and chemical zinc coating. MATEC Web of Conferences .Published online: 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822601018>
 12. V.A. Lebedev, V.V. Ivanov, V.D. Sokolov i dr. Energeticheskaya model' formirovaniya vibracionnyh mekhanohimicheskikh pokrytij. // Nanoinzheneriya, 2013. №5 – S.11-17.
 13. Grilihes S.YA. Elektroliticheskie i himicheskie pokrytiya / S.YA. Grilihes, K.I. Tihonov. L.: Himiya, 1990.
 14. Ivanov V.V. Vibracionnye mekhanohimicheskie metody naneseniya pokrytij (cinkovanie) / V.V. Ivanov. – Rostov-na-Donu: Izdatel'skij centr DGTU, 2010. 8,9 p.l.
 15. Babichev A.P., Babichev I.A. Osnovy vibracionnoj tekhnologii. Izd. 2e, pererab. i dop. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2008g. – 694s.
 16. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vostanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskikh sistem (CHast' 2) / Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 85-95.

УДК 629.123.06:665.6
DOI: 10.34046/aumsuomt93/16

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД

С.С. Ходжаев, аспирант

Н.А. Страхова, доктор технических наук, профессор

В статье показано современное состояние проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод (НСВ), приведены особенности состава и свойств льяльных вод, известных методов очистки НСВ, их преимущества и недостатки. Рассмотрены особенности конструкций и принципы действия наиболее широко распространённых судовых систем очистки нефтесодержащих вод (СОНВ). Особое внимание уделено разработкам и совершенствованию технологий биоремедиации загрязнённых нефтью и нефтепродуктами вод.

Ключевые слова: нефтесодержащие воды, льяльные воды, эффективность очистки, судовые системы очистки НСВ, биоремедиация.

The article shows the current state of the problem of purification of shipboard oil-containing water (NSW), presents the compositional features of bilge water, the known methods of purification of NSW, their advantages and disadvantages. Design features and operating principles of the most widespread shipboard systems for the treatment of oily water (SONV) are considered. Particular attention is paid to the development and improvement of bioremediation technologies for water contaminated with oil and oil products.

Key words: oily water, bilge water, cleaning efficiency, ship cleaning systems NSW, bioremediation.

Интенсивное развитие мирового судоходства привело к строительству современного качественно нового флота с мощными энергетическими установками, высокими грузоподъемностью, пассажироместимостью, скоростью, обеспеченного автоматизированными системами управления судовых установок и систем. Мировым трендом стало снижение энергетических, экономических затрат и вредных выбросов при эксплуатации судов. В связи с этим, произошли

существенные изменения в судоходстве в сторону существенного ужесточения требований к деятельности судоходных компаний и экипажей.

Экологический мониторинг морских акваторий с использованием спутниковых радиолокационных наблюдений, выявил нефтяные загрязнения, которые представляли собой утечки и сбросы с судов вод, содержащих нефтепродукты (НП) [1, 2]. По статистике судоходство является причиной 45% нефтяного загрязнения океана, в то