

8. Studenikin D.E., Bovan S.D., Hekert E.V., Modina M.A. Ispol'zovanie nejronnyh setej dlya organizatsii vizual'nogo nablyudeniya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 4-3 (46). S. 91-95.
9. Baburina O.N., Botnaryuk M.V., Kondrat'ev S.I. Intellektual'nye problemy realizatsii dorozhnoj karty razvitiya morskoy otrasli Rossii ("marinet") v ramkah nacional'noj tekhnologicheskoy initsiativy // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 3-1 (41). S. 190-198.
10. ZHmyrko T.G., Novikova T.K., Stihova A.M. Predlozheniya po uluchsheniyu ekologicheskogo sostoyaniya okruzhayushchej sredy pri peregruzke sypuchih gruzov // Trudy XXIII Mezhdunarodnoj Konferencii 7-11 sentyabrya 2015 goda; g. Novorossiysk «Lazerno-informacionnye tekhnologii v medicine, biologii, geologii i transporte-2015» / pod redakciej professora V.E. Privalova.- Novorossiysk: Izd-vo GMU imeni admirala F.F. Ushakova, 2015.-S. 158.

УДК 629.5

DOI: 10.34046/aumsuomt100/14

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ МУФТЫ ВАЛА НА МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СУДАХ

*О.П. Коперчак, кандидат экономических наук, доцент
Д.В. Огурцов, кандидат технических наук, доцент
Н.А. Халилов, старший преподаватель*

Муфты в приводах современных транспортных судов применяются для постоянного соединения валов агрегатов, сцепления и расцепления валов, уменьшения динамических нагрузок и компенсации несоосностей, ограничения передаваемой нагрузки и скорости, и т.д.

Характерной особенностью современных пропульсивных комплексов морских судов являются большие мощности энергетических установок, высокие скорости рабочих процессов, значительные усилия, возникающие в ходе работы. Механизмы, передающие вращательное движение от двигателей к исполнительным механизмам машин, подвергаются динамическим воздействиям, порождаемым либо возникающими при выполнении рабочего процесса переменными силами, либо возникающими при неравномерном движении рабочих органов машины переменными инерционными силами. Следовательно, работа судовых пропульсивных комплексов сопровождается вибрациями и ударами, которые снижают прочность и долговечность приводных механизмов, являются причиной усталостных явлений, увеличивают шум в передачах и т.п.

Ключевые слова. Пропульсивный комплекс, муфты вала, судовые валопроводы, усталость, визуальный осмотр, фланцевой части муфты вала, натир, волнистых трещины, точечной коррозии, микроструктура муфты вала

ANALYSIS OF SHAFT COUPLING FAILURES ON MARINE TRANSPORT VESSELS

O.P. Koperchak, D.V. Ogurtsov, N.A. Khalilov

Couplings in drives of modern transport vessels are used for constant connection of shafts of units, coupling and disengagement of shafts, reduction of dynamic loads and compensation of misalignments, limitation of transmitted load and speed, etc. A characteristic feature of modern propulsion complexes of sea vessels is the large capacity of power plants, high speeds of working processes, significant efforts arising during the work. Mechanisms transmitting rotational motion from motors to actuators of machines are subjected to dynamic actions generated either by variable forces occurring during performance of working process or by variable inertial forces occurring during non-uniform movement of working elements of machine. Therefore, the operation of ship propulsion systems is accompanied by vibrations and shocks that reduce the strength and durability of the drive mechanisms, cause fatigue phenomena, increase noise in transmissions, etc.

Key words: Propulsive complex, shaft couplings, ship shaft lines, fatigue, visual inspection, flange part of shaft coupling, grating, wavy cracks, point corrosion, microstructure of shaft coupling

Упругие муфты применяются в судовых валопроводах дизель-генераторных установках либо приводах гребных винтов на морских судах. Работа дизельного двигателя сопровождается высоким уровнем шума, вибрацией и различными динамическими нагрузками. К таким динамическим нагрузкам относятся крутильные колебания

на валу, возникающие в процессе работы дизельного двигателя. Именно эти «неравномерности» и призвана погасить упругая муфта [1, 2].

По своему назначению муфты разделяют на соединительные, предназначенные для жесткого или эластичного соединения элементов уста-

новки, не допускающего их разъединения в процессе работы; и соединительно-разобщительные.

обеспечивающие соединение элементов установки и их разобщение в необходимый момент.

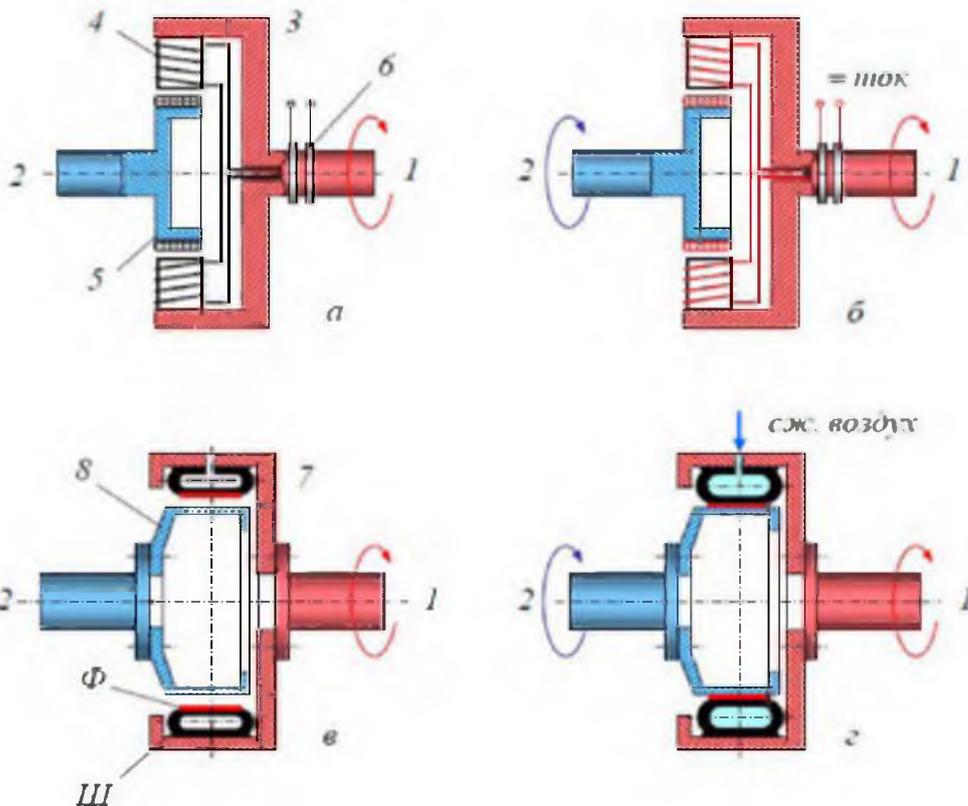


Рисунок 1 – Схемы различных типов соединительно-разобщительных муфт:

- а) электромагнитная муфта в разобщенном состоянии; б) электромагнитная муфта в рабочем состоянии;
- в) штирно-пневматическая муфта в разобщенном состоянии; г) штирно-пневматическая муфта в рабочем состоянии

Муфта соединяет узлы, выполняющие вращательные движения. Муфта вала предназначена для передачи крутящего момента от ведущего вала к ведомому, а также для сглаживания незначительных продольных, радиальных, угловых отклонений и крутильных колебаний [3, 6].

Усталость – это процесс повреждения, вызванный ростом трещин из-за циклического

напряжения, которое генерирует и накапливает микротрещины, которые могут вызвать внезапные катастрофические отказы. На практике 90% всех механических отказов происходят из-за усталости, которая возникает при многократном приложении нагрузки, которая слишком мала, чтобы вызвать отказ при однократном применении в упругой области.



(а)



(б)

Рисунок 2 – Общий вид (а) вышедшей из строя муфты вала и (б) места ее отказа

Визуальный осмотр муфты вала показал, что на муфте вала остались остатки антикоррозионного покрытия. Трещина находилась на стыке

цилиндрических деталей вала с фланцем. Муфта вала была разобрана на ее цилиндрическую и фланцевую части, как показано на рисунке 3.



Рисунок 3 – Муфта вала в разобранном виде на цилиндрическую (а) и фланцевую (б) части

При визуальном осмотре поверхности разрушения на рис. 4 показаны места возникновения множественных усталостных трещин на фланцевой части муфты вала. На рис. 5 в увеличенном масштабе показана зона поверхности трещины. На рисунке 5 (а) показана поверхность излома, на которой есть довольно очевидные следы натиров, возникшие в результате увязки распространения между несколькими усталостными трещинами. Это указывает на границу двух смежных плоско-

стей разрушения. На рис. 5 (б) показаны следы волнистых трещин, образовавшиеся в результате быстрорастущих участков зоны усталости. Эти отметки также указывают направление роста трещин. Общий вид исследуемой поверхности трещины свидетельствует о том, что разрушение произошло под действием напряжения кручения. Сочетание множества следов натиров и небольшой зоны перегрузки, как показано на рисунке 4, указывает на то, что нагрузка была низкой, но были высокие концентрации напряжения [5, 7, 10, 12].



Рисунок 4 – Места возникновения множественных усталостных трещин на фланцевой части муфты вала

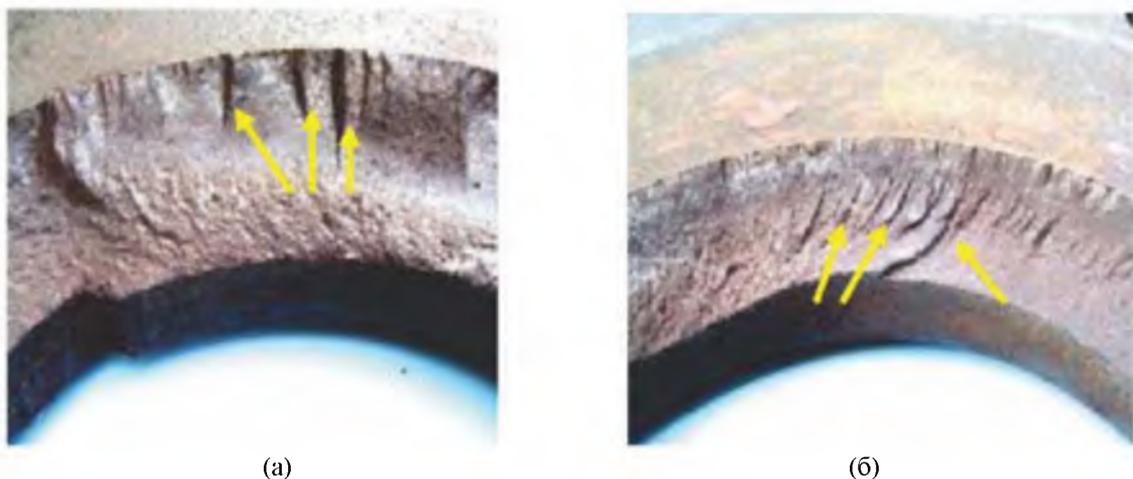


Рисунок 5 – Увеличенное изображение зоны поверхности трещины, состоящей из (а) натиров и (б) волнистых трещин

На рисунке 6 показана часть муфты вала, на поверхности излома которой возникла точечная коррозия. Исследование изображения поперечного сечения и его увеличение (рис. 7) показало, что точечная коррозия явно присутствовала на поверхности излома, что привело к образованию неровностей. Этот тип коррозии возникает

на открытых поверхностях, когда защитные слои либо пассивная пленка (которая естественным образом защищает металлическую поверхность), либо разрушается защитное покрытие. Воздействие на муфту вала морской среды, содержащей ионы хлора, что вызывает разрушение пассивной пленки и начало точечной коррозии.

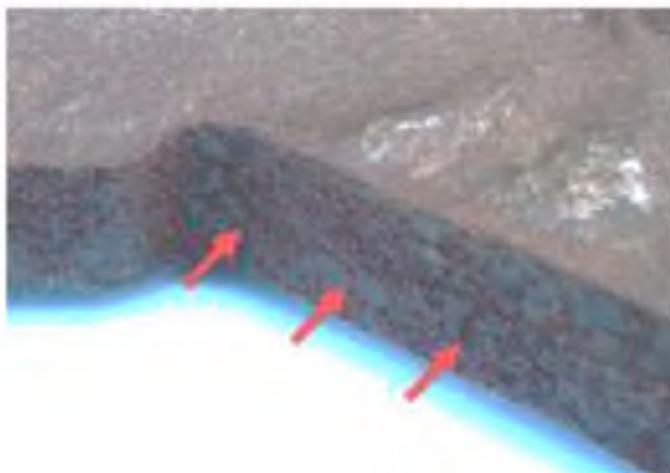
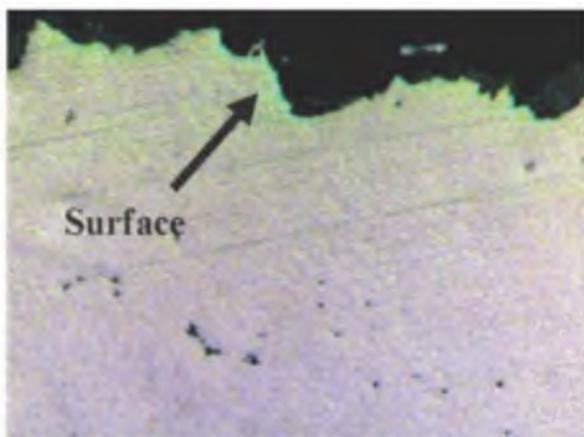


Рисунок 6 – Часть муфты вала, подверженная точечной коррозии (обозначена значком, стрелки) произошли вблизи поверхности излома



(а)



(б)

Рисунок 7 – Исследование поверхности трещины:

(а) Изображение поперечного сечения. (б) Большое увеличение поперечного сечения

На рисунке 8 показано увеличенное изображение поверхности излома. Он также показывает линии, известные как усталостные бороздки (показаны белыми стрелками), которые соответствуют изменениям нагрузки на услуги. Эта линия полезна для расчета количества циклов между различными изменениями нагрузки, что позволяет реконструировать историю распространения трещины. На поверхности шпоночного паза были обнаружены следы нарушения геометрии шпоночного паза. Видно, что усталость возникла в центре усталостных бороздок от одной из ямок на поверхности излома, как показано желтой стрелкой [4, 8, 9, 10].

На рисунке 8 (а) показана микроструктура муфты вала, которая состоит из белой области, известной как феррит, и темной области, как перлитной структуры. Феррит представляет собой по существу чистый углерод в форме объемно-центрированной кубической структуры. В то время как перлит представляет собой смесь феррита и цементита. Это происходит в результате превращения аустенита при медленном охлаждении. Присутствие этой структуры можно ясно увидеть на изображении с большим увеличением, показанном на рисунке 9 (б), дендритные структуры не могут быть обнаружены на микрофотографии. Это доказывает, что муфта вала прошла надлежащий процесс термообработки, чтобы разрушить

дендритную структуру, которая образуется в процессе литья.

Обратите внимание, что источником усталости является яма, показанная желтой стрелкой.

Белые стрелки показывают усталостные бороздки, которые присутствуют на поверхности.

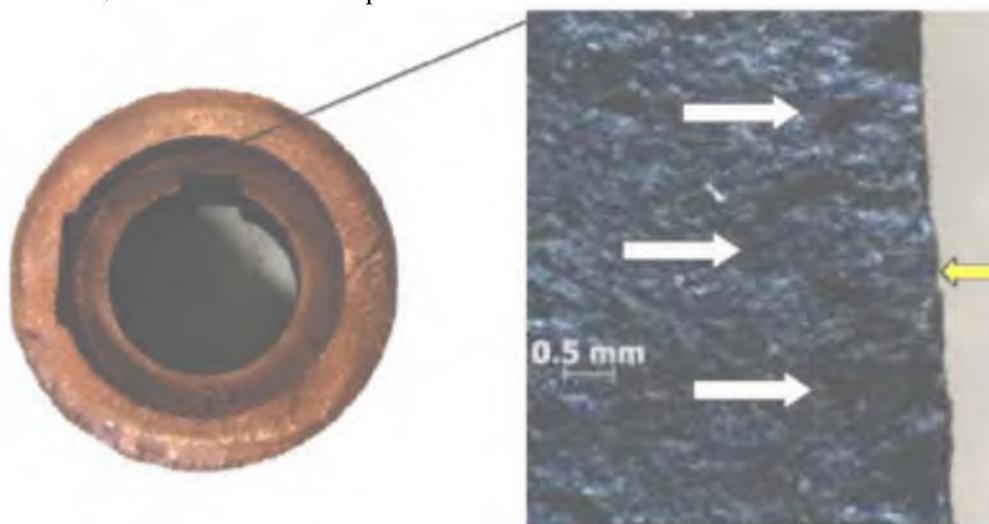
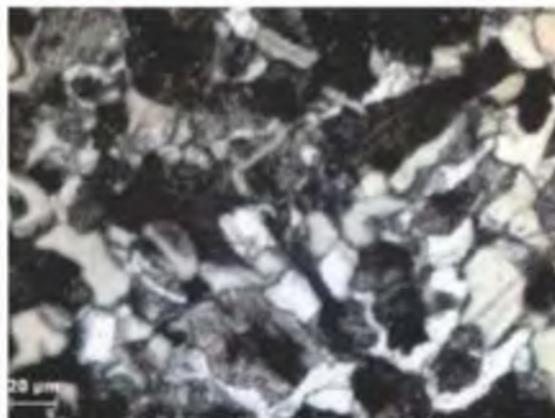


Рисунок 8 – Следы усталости на поверхности трещины



(а)



(б)

Рисунок 9 – Микроструктура муфты вала с (а) малым увеличением и (б) изображения с большим увеличением

Для анализа неисправности вала муфты необходимо обратить внимание на следующие моменты:

(а) Был ли материал муфты дефектным;

(б) Влияли ли рабочие условия на ухудшение характеристик и выход из строя муфты.

Для определения причины выхода из строя муфты вала проведено исследование, включавшее визуальный, металлургический контроль и механические свойства образца. Визуальный осмотр показал, что несоответствующее антикоррозионное покрытие на металлической поверхности привело к коррозии [7, 9, 11, 12].

В результате на поверхности муфты вала была отчетливо видна точечная коррозия, что снизило ее прочность. Рост трещины на поверхности излома происходил из-за силы кручения с

высокой концентрацией напряжений. Первоначальная точка разрушения была вызвана напряжением в шпоночной канавке, что позволяет предположить, что отказ был вызван усталостной коррозией.

Литература:

1. Вибрации в технике. Справочник. Т. 6. Защита от вибрации и ударов / под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение. 1995. [Vibrations in engineering. Reference book. Vol. 6. Vibration and impact protection / Under editorship of K. Frolov. Moscow: Mashinostroyeniye, 1995. (in Russian)]
2. https://www.researchgate.net/publication/263333446_Marine_Vessel_Shaft_Coupling
3. <https://mirmarine.net/svm/seu/810-sudovye-mufty>
4. Каталог фирмы «GEISLINGER & Co»: «Couplings and Dampers». 2012. [GEISLINGER & Co catalogue, 2012].

5. Халилов Н.А., Огурцов Д.В., Коперчак О.П. Инновационные 3d-технологии в судостроении и судоремонте. Обзортекущего состояния // Эксплуатация морского транспорта.– 2020.– Выпуск 4(97).
6. Епихин А.И., Кондратьев С.И. Искусственный интеллект, перспективы применения в управлении судовыми энергетическими установками// Эксплуатация морского транспорта.– 2020.– № 4 (97).– С. 95-100.
7. Кондратьев С.И., Файвисович А.В. Прогнозирование влияния волновой нагрузки на рост трещин в конструктивных элементах судна // Морские интеллектуальные технологии.– 2018.– № 1-1 (39).– С. 140-147.
8. Хекерт Е.В., Владецкая Е.А., Братан С.М., Харченко А.О. Влияние внешних факторов на технологическую систему высокоточного станка в условиях плавучих мастерских// Морские интеллектуальные технологии.– 2021.– Т. 4.– № 2 (53).– С. 33-37.
9. Каракаев А.Б., Луканин А.В., Хекерт Е.В. Основные принципы моделирования и информационной поддержки процессов управления эксплуатацией судовых электроэнергетических систем. (Часть 2)// Эксплуатация морского транспорта.– 2017.– № 3 (84).– С. 89-99.
10. Епихин А.И., Модина М.А., Хекерт Е.В. Концепция экологического совершенствования судовых энергетических установок// Эксплуатация морского транспорта.– 2020.– № 3 (96).– С. 127-132.
11. Дубровин Р.Г., Таламанов В.Н., Козенкова Г.Л., Козенков В.А., Лебединский Е.Г., Шкода В.В. Восстановление деталей машин методом вибронакатывания// Эксплуатация морского транспорта.– 2021.– № 2 (99).– С. 109-112.
12. Самородов А.В., Шкода В.В., Ким В.А. Перспективные электромеханические преобразователи аксиальной конструкции для гибридных энергетических комплексов //В сборнике: Технические и технологические системы: Материалы одиннадцатой Международной научной конференции.– 2020.– С. 189-193.
- reference book. Vol. 6. Vibration and impact protection / Under editorship of K. Frolov. Moscow: Mashinostroyeniye, 1995. (in Russian)]
2. https://www.researchgate.net/publication/263333446_Marine_Vessel_Shaft_Coupling
3. <https://mirmarine.net/svm/seu/810-sudovye-mufty>
4. Katalog firmy «GEISLINGER & Co»: «Couplings and Dampers». 2012. [GEISLINGER & Co catalogue, 2012].
5. Halilov N.A., Ogurcov D.V., Koperchak O.P. Innovacionnye 3d-tekhnologii v sudostroenii i sudoremonte. Obzortekushchego sostoyaniya. Eksplyuatsiya morskogo transporta. Vypusk 4(97).2020.
6. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I. Iskusstvennyj intellekt, perspektivy primeneniya v upravlenii sudovymi energeticheskimi ustanovkami// Eksplyuatsiya morskogo transporta № 4 (97), 2020g. s. 95-100.
7. Kondrat'ev S.I., Fajvisovich A.V. Prognozirovanie vliyaniya volnovoj nagruzki na rost treshchin v konstruktivnyh elementah sudna // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 1-1 (39). S. 140-147.
8. Hekert E.V., Vladeckaya E.A., Bratan S.M., Harchenko A.O. Vliyanie vneshnih faktorov na tekhnologicheskuyu sistemu vysokotochnogo stanka v usloviyah plavuchih masterskih// Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2021. T. 4. № 2 (53). S. 33-37.
9. Karakaev A.B., Lukanin A.V., Hekert E.V. Osnovnye principy modelirovaniya i informacionnoj podderzhki processov upravleniya eksplyuatsiej sudovyh elektroenergeticheskikh sistem. (CHast' 2)// Eksplyuatsiya morskogo transporta. 2017. № 3 (84). S. 89-99.
10. Epihin A.I., Modina M.A., Hekert E.V. Konceptiya ekologicheskogo sovershenstvovaniya sudovyh energeticheskikh ustanovok// Eksplyuatsiya morskogo transporta. 2020. № 3 (96). S. 127-132.
11. Dubrovin R.G., Talamanov V.N., Kozenkova G.L., Kozenkov V.A., Lebedinskij E.G., SHkoda V.V. Vosstanovlenie detalej mashin metodom vibronakatyvaniya // Eksplyuatsiya morskogo transporta. 2021. № 2 (99). S. 109-112.
12. Samorodov A.V., SHkoda V.V., Kim V.A. Perspektivnye elektromekhanicheskie preobrazovateli aksial'noj konstrukcii dlya gibridnyh energeticheskikh kompleksov V sbornike: Tekhnicheskie i tekhnologicheskije sistemy. Materialy odinnadcatoy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. 2020. S. 189-193.

References

1. Vibracii v tekhnike. Spravochnik. T. 6. Zashchita ot vibracii i udarov / Pod red. K.V. Frolova. M.: Mashinostroyeniye. 1995. [Vibrations in engineering. Reference book. Vol. 6. Vibration and impact protection / Under editorship of K. Frolov. Moscow: Mashinostroyeniye, 1995. (in Russian)]