

Раздел 3 СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 53.091; 629.5
DOI: 10.34046/aumsuomt91/15

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ВАЛОПРОВОДОВ МОРСКИХ СУДОВ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

С.А. Худяков, доктор технических наук, профессор
К.Б. Пальчик, кандидат технических наук, доцент
Е.Н. Сюсюка, кандидат технических наук, доцент

В статье рассмотрены дефекты, возникающие при эксплуатации деталей валопроводов морских и речных судов и методы их устранения. Показаны способы упрочнения гребных валов поверхностно-пластическим деформированием, технология ремонта гребного вала, способы устранения трещин.

Ключевые слова: гребной вал, валопровод, дефекты, пластическое поверхностное деформирование, ликвидация трещин.

The article deals with the defects arising in the operation of the shaft pipelines of sea and river vessels and methods. The methods of strengthening the propeller shafts by surface-plastic deformation, the technology of repair of the propeller shaft, ways to eliminate cracks are shown.

Key words: propeller shaft, shaft, defects, plastic surface deformation, crack elimination.

Гребные валы морских судов в процессе эксплуатации подвержены коррозии, эрозии, фреттинг-коррозии. На отдельных участках валопровода появляются задиры и микротрещины, которые могут в конечном итоге привести к поломкам вала.

В таблице приводятся наиболее часто встречающиеся дефекты гребных валов морских судов [1].

Приведенные данные показывают, что основными дефектами гребных валов являются:

- фреттинг-коррозия;
- трещины на поверхности гребных валов;
- внутренние несплошности, размеры которых превышают предельно допустимый;
- Разрушения гребных валов вызывались:
 - резонансом крутильных колебаний валопровода;
 - воздействием циклических касательных напряжений;
 - случайными ударными нагрузками на лопасти гребного витка;
 - некачественной подгонкой конуса ступицы гребного вала по конусу гребного вала;
 - превышением предела усталости при высоких значениях циклических напряжений от изгиба вала;
 - расцентровкой валов валопровода.

Как показано в [3, 4, 5], наиболее эффективным способом упрочнения гребного вала является поверхностно-пластическое деформиро-

вание (ППД). ППД – обработка давлением, при которой пластически деформируется только поверхностный слой материала детали. Различают следующие виды ППД:

- статическое и ударное;
- вибрационное и ультразвуковое.

В качестве рабочих тел при ППД используются ролики, шарики, дробь и т.п.

Целью обработки является:

- образование макро- и микрогеометрической формы
- уменьшение параметра шероховатости поверхности (сглаживание);
- изменение размеров поверхности до допустимых (калибрующее ППД);
- изменение структуры материала без его полной рекристаллизации (поверхностный наклёп);
- создание определенного напряженного состояния (напряженный поверхностный наклёп);
- упрочнение поверхностным наклёпом.

При обработке деталей ППД все перечисленные изменения обычно происходят в поверхностном слое. Основные из них определяют метод обработки ППД: накатывание (упрочняющее, сглаживающее, формообразующее или калибрующее), поверхностные дорнование и редуцирование, обработка дробью, дробеабразивная обработка, галтовка, вибрационная ударная обработка, центробежная обработка, обработка механической щеткой, чеканка и выглаживание.

Таблица 1 – Причины разрушения гребных валов

№	Наименование судна	Длина вала	Диаметр вала	Марка стали	Вид дефекта	Причины возникновения	Примечания
1	Т/х «Дилап»	1785 мм	250 мм	сталь 30	разрушение	Циклические изгибные напряжения от расцентровки валопровода. Осевое биение фланца составляло 0,07 мм при допустимом значении 0,04 мм, а радиальное биение – 0,23 мм при допустимом значении 0,05мм	В условиях эксплуатации необходимо строго соблюдать нормы центровки валопровода (фланец коленчатого вала главного дизеля - промежуточный безопорный вал - гребной вал)
2	Т/х «Абакан», т/х «Е. Шатрова»	4700	389 мм	сталь 25БФ4	Сквозная трещина в районе кормового торца носовой облицовки. Под облицовками была обнаружена фреттинг-коррозия глубиной более 4 мм.	Резонанс крутильных колебаний, воздействие циклических касательных напряжений	Вал т/х «Абакан» был полностью заменен , пятна фреттинг-коррозии и трещины на поверхности гребного вала т/х «Е. Шатрова» были ликвидированы наплавкой слоя нержавеющей стали, проведена обработка проточкой с последующей шабровкой. Произведена замена дейдвудных подшипников на баббитовые.
3	т/х «Сестрорец»	4500 мм	320 мм		фреттинг-коррозия в конусном соединении гребного вала с винтом и на торцах фланцев валопровода	Резонанс крутильных колебаний вызвал напряжения в промежуточном вале 84-86 МПа.	Было проведено протачивание
4	т/х «Фатеево»	3720	160	нержавеющая сталь 30	На конусе гребного вала в носовой части до 50 % длины имеется пятна от натирания, коррозионные пятна, риски. Гребной винт проворачивался на конусе гребного вала.	1) некачественная подгонка конуса ступицы гребного винта по конусу гребного вала; 2) недостаточный осевой натяг гребного винта при сборке (должен быть 2,4 мм); 3) случайная ударная нагрузка на лопасти гребного винта, что вызывает значительный момент сопротивления, превышающий момент трения в конусном соединении.	Данный отказ отнесен к производственным, т. к. не были выдержаны условия гидропрессовой посадки ступицы гребного винта при ремонте, т. е. не был обеспечен натяг.
5	т/х «Пионер Владивостока»	4500	320	Сталь 30	Фреттинг-коррозия с глубиной разрушений до 2,6 мм по всей поверхности вала	Резонанс крутильных колебаний, воздействие циклических касательных напряжений	Гребной вал был заменен Протачивание конуса с целью устранения фреттинг-коррозии исключалось по причине необходимости выполнения операции с глубиной резания около 4 мм, что вызвало осевое перемещение конуса на 60 мм. Это было недопустимо из-за установленных колец уплотнения дейдвудного подшипника типа Симплекс.
7	т/х «К. Эмеральда»	4350	1650 мм	Сталь 25	Разрушение в зоне повышенной концентрации напряжений на стыке наплавленного слоя нержавеющей стали при ремонте для устранения язвенной коррозии	Разрушение гребного вала произошло от малоцикловой усталости, т.е. при значениях циклических нормальных напряжений от изгиба вал значительно выше предела усталости	
8	т/х «Волгонефть-135»	5200	140	Сталь 30	Разрушение части конуса гребного вала под гребной винт	Некачественное шпоночное соединение гребного вала со ступицей гребного винта. Конструкционный отказ связанный с недостаточной прочностью элементов фиксации гайки-обтекателя относительно ступицы гребного винта	На гребных валах левого борта должна быть левая резьба. Потерян гребной винт и гайка-обтекатель.

Термин «упрочнение» при ППД – это повышение сопротивляемости материала заготовки (детали) разрушению или деформации. Различают объемное и поверхностное упрочнение и объемную и поверхностную обработку. Повышение значения заданного параметра сопротивляемости материала заготовки разрушению или пластической деформации по сравнению с исходными значениями в результате упрочняющей обработки (ППД) оценивается степенью упрочнения.

При обкатывании и раскатывании, которые выполняются роликами или шариками, оказывающими давление на поверхность обрабатываемой детали, создается определенное усилие в зоне контакта, что вызывает упругие деформации элементов инструмента и детали. Интенсивность напряжений на поверхности детали превышает предел текучести материала, в результате чего происходят пластические деформации микронеровностей, изменение физико-механических свойств и структуры поверхностного слоя, например, увеличивается его микротвердость или возникают остаточные напряжения. При этом объемная деформация детали обычно незначительна.

Технологический процесс ремонта гребных валов сводится к следующему.

В зависимости от результатов дефектоскопии, например, после установления размеров и места нахождения трещины разрабатывается способ её устранения. При отдельных трещинах – засверливают её концы и вырубают металл до полного устранения трещины, разделяют вырубленные места, обеспечивая плавные переходы к прилегающим поверхностям вала. Тщательно зачищают места выборки под сварку и наплавку металла, далее выполняется механическая обработка – точение (черновое и чистовое), добиваясь шероховатости не ниже $Ra=1,25$ мкм.

Нарушение соосности колечного и промежуточного валов вызывает цикличность изгибных напряжений в валах, что наиболее опасно в зонах повышенной концентрации напряжений (переходные поверхности от фланцев к валам – галтели, п. 1 в таблице 1).

При фреттинг-коррозии в облицовке и на поверхности гребного вала образуются многочисленные поверхностные трещины. В этом случае вал устанавливается на станок, для предотвращения прогиба вала устанавливается люнет. При этом, производится удаление старой облицовки, протачивают вал до удаления трещин. В случае, если протачиванием вала не удалось удалить все трещины необходимо их вырубить и

разделить. Предварительный нагрев тела вала в районе заварки и наплавки производится двумя газовыми горелками до температуры от 200 до 250 °С. При нагреве вращение вала необходимо производить равномерно, не допуская местного перегрева. Заварка разделанных дефектов производится сварочной проволокой СВ 08Г2С диаметром 1,6-2 миллиметра в среде углекислого газа CO_2). Наплавка тела вала производится по винтовой линии сварочной проволокой СВ 08А диаметром 1,6-2 миллиметра под флюсом АНУ-1. При наплавке необходимо оставлять припуск от двух до трех миллиметров на сторону под механическую обработку. Сразу после окончания наплавки, вал необходимо обмотать тремя слоями асботкани. Необходимо выждать до полного остывания вала (температура менее 50 °С). Произвести механическую обработку наплавленного участка (черновую и чистовую), оставляя припуск на упрочнение вала ППД путем обкатки роликами, снять вал. Для проведения заварки и наплавки могут быть рекомендованы: автома А-580М или А-384МК с выпрямителем марки ВС-600.

Для упрочнения поверхности валов применяется обкатка роликами с глубиной упрочняемого слоя до 0,10-0,25 мм. В данном случае для обкатки гребного вала предлагается двухроликовое пневмогидравлическое приспособление на токарно-винторезный станок с высотой центров 1250 мм. Конструкция приспособления обеспечивает двухстороннюю обкатку (одновременно упрочняющим и сглаживающим роликами) цилиндрических и конусных поверхностей вала. Ролики приспособления центруют по валу. Давление на упрочняющем и сглаживающем роликах всегда одинаково, так как они связаны между собой. Приспособление устанавливают на поперечную каретку суппорта перпендикулярно оси центров станка. Вращением маховика упрочняющий и сглаживающий ролики подводят вплотную к валу. При этом положение плунжера в гидроцилиндре обеспечивает запас хода для поперечного перемещения роликов. Сжатый воздух в пневмоцилиндр поступает от заводской магистрали через редукционный клапан, отрегулированный в зависимости от диаметра и прочности вала. Поперечное перемещение роликов по отношению к оси вала обеспечивается направляющей, связанной со станиной. Для предотвращения наволакивания металла в процессе ППД в зону действия роликов из бочка подается масло.

Выводы:

1. Анализ показывает, что наиболее опасными с точки зрения надёжности пропульсивного комплекса двигатель-валопровод-двигатель является зарождение трещин, которые под воздействием значительных циклических напряжений от кручения и изгиба могут привести к разрушению гребного вала.

2. Зарождению трещин способствуют такие явления как коррозия, особенно язвенная, и фреттинг-коррозия. Предотвращение этих явлений возможно за счет мер по антикоррозионной защите и использованию таких устройств как демпферы крутильных колебаний в структуре валопроводов.

Литература

1. Худяков С. А. Повреждения и отказы судовых технических средств: учеб. пособие / А. В. Струтинский, С. А. Худяков. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. – 150 с.
2. Худяков С.А. Практика решения проблем вибрации судовых дизелей: монография / С.А. Худяков; – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2006. – 172 с.
3. Балацкий Л.Т., Бегагоен Т.Н. Действительные устройства морских судов. – М.: «Транспорт», 1980.– 192 с.
4. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Смирнов В.П. Действительные устройства и валопровод морских судов (конструкция, эксплуатация, ремонт).– О.: Феникс, 2008. – 200 с.
5. Худяков С.А. Повышение износостойкости составных элементов судовой техники. Обработка поверхностей пластическим деформированием / С.А. Худяков, К.Б. Пальчик, Е.Н. Сюсюка // Отчет по ГБТ НИР. – Новороссийск, ГМУ им. адм. Ушакова. № ГР АААА-А116-1160211102593. 2015. – 36 с.
6. Худяков С.А. Механическая обработка деталей судовых технических средств при восстановлении рабочих поверхностей / С.А. Худяков, К.Б. Пальчик, Е.Н. Сюсюка // Отчет по ГБТ НИР. – Новороссийск, ГМУ им. адм. Ушакова. № ГР АААА-А16-116120810145-2.– 2016. – 76 с.
7. Каракаев А.Б., Луканин А.В., Хекерт Е.В. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (часть 1) / Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 3(80).– С.54-60.

ских систем (часть 1) / Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 3(80).– С.54-60.

8. 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.Hudyakov S. A. Povrezhdeniya i otkazy sudovyh tekhnicheskikh sredstv: ucheb. posobie / A. V. Strutynskij, S. A. Hudyakov. – Vladivostok : Mor. gos. un-t, 2012. – 150 s.
- 2.Hudyakov S. A. Praktika resheniya problem vibracii sudovyh dizelej: monografiya / S. A. Hudyakov; – Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2006. – 172 s.
- 3.L.T. Balackij, T.N. Begagoen Dejtvudnye ustrojstva morskikh sudov. – М.:«Transport», 1980, 192s.
- 4.Kornilov E.V., Bojko P.V., Smirnov V.P. Dejtvudnye ustrojstva i valoprovod mor-skih sudov (konstrukcija, ekspluataciya, remont).–О.: Feniks, 2008. –200 s.
- 5.Hudyakov S.A. Povyshenie iznosostojkosti sostavnyh elementov sudovoj tekhniki. Obrabotka poverhnostej plasticheskim deformirovaniem / S.A. Hudyakov, K.B. Pal'-chik, E.N. Syusyuka // Otchet po GBT NIR. – Novorossijsk, GMU im. adm. Ushakova. № GR АААА-А116-1160211102593. 2015. – 36 s.
- 6.Hudyakov S.A. Mekhanicheskaya obrabotka detalej sudovyh tekhnicheskikh sredstv pri vosstanovlenii rabochih poverhnostej / S.A. Hudyakov, K.B. Pal'chik, E.N. Syusyuka // Otchet po GBT NIR. – Novorossijsk, GMU im. adm. Ushakova. № GRAAAA-A16-116120810145-2. 2016. – 76 s.
- 7.Karakaev A.B., Lukanin A.V., Hekert E.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroener-geticheskikh sistem (chast' 1)/Ekspluataciya morskogo transporta.– 2016.– № 3(80).– S.54-60.
8. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroener-geticheskikh sistem (chast' 2)/ Eks-pluataciya morskogo transporta.– 2016.– № 4(81).– S.85-95.