

УДК 620:178.3

**ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ
ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

А.В. Коноплѐв

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Машиноведение»

О.Н. Кононова

ст. преподаватель кафедры «Машиноведение»

Одесский национальный морской университет

***Аннотация.** Проведен анализ повреждений некоторых деталей судовых машин и механизмов, работающих в условиях трения и циклических нагрузок. Рассмотрены вопросы технологии их восстановления, а также методы испытаний на сопротивление усталости. Показано, что контроль качества восстановления целесообразно проводить с помощью ускоренных методов испытаний на сопротивление усталости.*

***Ключевые слова:** восстановление и ремонт, долговечность до разрушения, сравнительные испытания.*

**ОЦІНЮВАННЯ ОПОРУ ВТОМІ
ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ**

А.В. Конопльов

д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машинознавство»

О.М. Кононова

ст. викладач кафедри «Машинознавство»

Одеський національний морський університет

***Анотація.** Проведений аналіз пошкоджень деяких деталей судових машин і механізмів, що працюють в умовах тертя і циклічних навантажень. Розглянуті питання технології їх відновлення, а також методи випробувань на опір втомі. Показано, що контроль якості відновлення доцільно проводити за допомогою прискорених методів випробувань на опір втомі.*

***Ключові слова:** відновлення і ремонт, довговічність до руйнування, порівняльні випробування.*

УДК 620:178.3

**EVALUATION OF FATIGUE
RESTORED DETAILS OF SHIP MACHINES AND MECHANISMS**

A.V. Konoplev

Doctor of technical sciences, Professor, head of the chair «Mashinovedenie»

O.N. Kononova

senior lecturer of the department «Mashinovedenie»

Odessa National Maritime University

***Abstract.** The analysis of damages of some details of ship machines and mechanisms, workings in the conditions of friction and cyclic loadings is conducted. The questions of technology of their renewal, and also methods of tests, are considered on resistance a fatigue. It is rotined that it is expedient to conduct control of quality of renewal by the speed-up methods of tests on resistance a fatigue.*

***Keywords:** renewal and repair, longevity to destruction, comparative tests.*

Введение. Восстановление изношенных в процессе эксплуатации деталей судовых машин и механизмов обосновано, в первую очередь, с экономической точки зрения. За последние годы разработаны технологии восстановления, позволяющие не только восстановить первоначальные геометрические размеры деталей, но и в ряде случаев улучшить их механические характеристики.

В настоящее время накоплен значительный опыт восстановления многих деталей, в том числе сложной формы и больших размеров. В частности разработаны совершенные технологии восстановления изношенных коленчатых валов судовых дизелей, биметаллических кулачковых шайб, плунжеров, гребных валов и винтов, клапанов, втулок, крышек цилиндров, поршней, деталей турбин и др.

В процессе эксплуатации эти детали могут деформироваться, изнашиваться, поражаться коррозией и эрозией. В них могут образовываться трещины, меняться структура и механические свойства металла. Все эти повреждения могут располагаться как на поверхности, так и под поверхностью или в глубине детали. Таким образом, детали подвергаются постепенному и непрерывному изменению своей работоспособности, что требует их ремонта.

Целью статьи является обоснование необходимости проведения ускоренных испытаний на сопротивление усталости как одного из важных этапов технологической цепочки ремонта деталей судовых машин и механизмов, работающих в условиях интенсивного износа и циклических нагрузок.

Изложение основного материала. Наиболее дорогостоящими и ответственными деталями судовых машин и механизмов, работающими в условиях износа и циклических нагрузок являются коленчатые валы дизелей и гребные валы. Для понимания сложности процессов, происходящих при работе этих деталей, проведём анализ основных видов их повреждений.

Шейки коленчатых валов работают в условиях трения скольжения при больших скоростях и высоких удельных давлениях. Статистика показывает, что основной причиной выхода из строя коленчатых валов судовых дизелей является износ шеек, который носит неравномерный характер. В результате изнашивания зазоры между вкладышами и шейкой коленчатого вала возрастают, что приводит к разрыву масляной пленки и

задирам рабочих поверхностей. В свою очередь задир шеек может привести к проворачиванию вкладышей, их выплавлению и деформации вала. К повреждениям коленчатых валов так же относят царапины, ослабление посадки шеек в щеках (у составных валов), деформацию отверстий во фланцах соединений (у валов, состоящих из секций).

Неравномерность износа по окружности шейки, влияет на характеристики подшипников скольжения. В частности, уменьшение разности радиусов приводит к ухудшению условий смазки в зоне трения. Кроме того, образовавшаяся овальность вызывает значительные дополнительные перемещения шейки вдоль линии центров с большими, чем у изношенного вала, скоростями, что приводит к уменьшению толщины масляного слоя. По мере увеличения овальности шеек возрастает и биение коленчатого вала. Оно не только увеличивает износ шеек, но и приводит к увеличению дисбаланса коленчатого вала, что, в свою очередь повышает общую вибрацию двигателя.

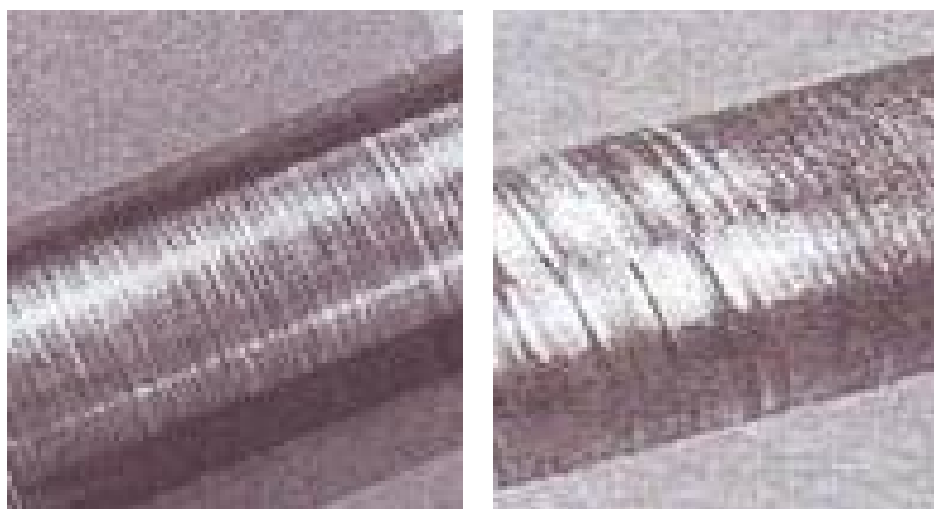
Износ коленчатых валов, как правило, проявляется в двух видах: абразивного и адгезионного. Абразивный износ коленчатого вала является следствием попадания в циркулирующее в подшипниках масло различных твердых частиц и продуктов износа, под воздействием которых на шейках и рабочей поверхности вкладышей подшипников появляются риски, царапины, а иногда и глубокие борозды (рис. 1 а). Появление в масле абразивных частиц связано с прорывом из цилиндров газов, несущих в себе сажу и отколовшиеся частицы нагара.

Адгезионный износ имеет место при недостаточном поступлении масла в подшипники, возникающем, как правило, вследствие загрязнения масляных каналов. Кроме того, причинами также могут быть падение давления масла и снижение несущей способности масляного клина по причине разжижения масла топливом, а также увеличение масляного зазора при большом износе или подплавке подшипника.

В совокупности рассмотренные виды износа приводят к заполированию поверхностного слоя, росту температуры в зоне трения и размягчению антифрикционных сплавов, их утонению вследствие выдавливания и наволакиванию на шейки вала (рис. 1 б) [1].

Гребные валы, по сравнению с другими узлами валопровода, находятся в наиболее тяжелых условиях, поскольку работают в контакте с коррозионноактивной забортной водой и взвешенными частицами песка, ила и т.д., что приводит к интенсивному их износу.

Наиболее характерными повреждениями гребных валов являются коррозионные поражения тела вала в местах, не защищенных от контакта с морской водой, повреждение гидроизоляции вала, эрозионное повреждение бронзовых облицовок, ослабление посадки облицовок в результате воздействия фреттинг-коррозии, а также их механический износ.



а *б*
Рис. 1. Абразивный (а) и адгезионный (б) износ шейки коленчатого вала

Гребные валы ломаются в результате усталости относительно редко, гораздо чаще происходит разрушение изоляции между рубашками, изнашивание рубашек, смятие резьбы деформация отверстий во фланцах вала, изгиб вала, образование трещин на валу.

Переменные нагрузки на вал появляются вследствие возникновения помимо основного постоянного вращающего момента от двигателя к винту еще дополнительных моментов, например, из-за неравномерной работы двигателя и крутильных колебаний.

Образованию усталостных трещин часто предшествует фреттинг-коррозия в местах контакта участков вала с рубашкой и ступицей винта.

Применительно к гребным валам процесс фреттинг-коррозии можно условно разделить на три этапа. На первом этапе происходит пластическая деформация и упрочнение верхнего слоя в зоне контакта. Под поверхностным слоем образуются участки разрыхленного материала, затем происходит диспергирование верхнего слоя с образованием продуктов изнашивания.

Второй этап характеризуется началом процесса усталостного разрушения, сопровождаемого окислением продуктов изнашивания и образованием мелких каверн, в которых они концентрируются и, окисляясь, увеличиваются в объеме, что приводит к росту давления, под действием которого в поверхностном слое образуются микротрещины.

На третьем этапе отдельные каверны соединяются между собой и образуют в зонах контакта относительно обширные поврежденные площади, на которых видны следы микросварки, точечного питтинга и коррозии (рис. 2) [2].



Рис. 2. Повреждение гребного вала в результате фреттинг-коррозии

Выбор того или иного способа восстановления изношенных поверхностей должен учитывать то обстоятельство, что после восстановления характеристики сопротивления усталости изделия не должны ухудшаться. Для этого их проверяют путём проведения сравнительных испытаний образцов или моделей (в исходном состоянии и восстановленных). Для оперативной оценки этих характеристик, как правило, используют ускоренные методы. Чтобы правильно выбрать метод из множества существующих ускоренных методов, необходимо чтобы он позволял осуществлять сравнительную оценку характеристик сопротивления усталости. К числу таких методов следует отнести те, которые основаны на уравнениях кривой усталости и позволяют определять эти характеристики по результатам испытаний одной модели или образца. К их категории относится метод Локати и ряд его модификаций [3]. Интерес также представляет метод, основанный на модернизированном уравнении Вейбулла [4]. Схема испытаний и определения предела выносливости согласно этому методу представлена на рис. 3. На ней в координатах N - σ представлены две кривые усталости: средневероятная и индивидуальная. В данном методе предполагается, что испытанный при напряжении σ_i восстановленный объект (модель, образец) разрушится при числе циклов N_i .

Точке перелома кривых усталости N'_{GW} будут соответствовать значения средневероятного $\bar{\sigma}_R$ и индивидуального σ_{Ri} пределов выносливости. Постоянство величины $\Delta\sigma$ указывает на эквидистантное расположение кривых усталости.

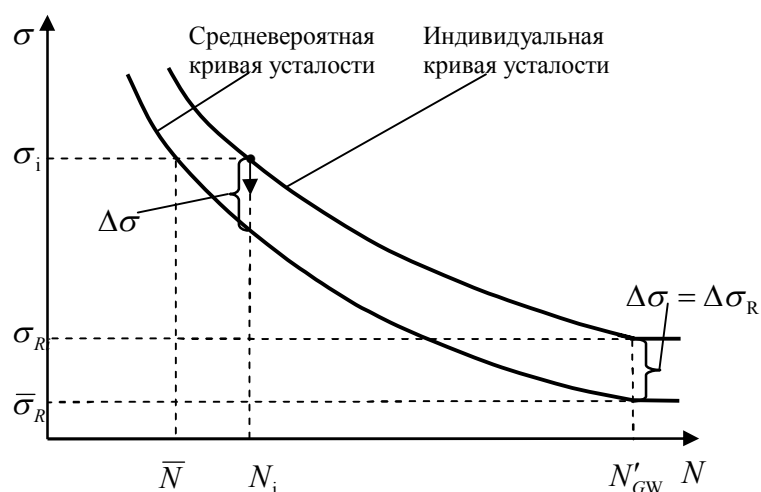


Рис. 3. Схема к определению предела выносливости

Обе кривые можно описать уравнением Вейбулла с одинаковыми параметрами m'_w , C'_w и A , которые относятся к средневероятной кривой усталости, т.е.

$$(\sigma_i - A)^{m'_w} N_i = 10^{C'_w}, \quad (1)$$

$$(\sigma_{Ri} - A)^{m'_w} N'_{GW} = 10^{C'_w}. \quad (2)$$

Решая совместно эти уравнения относительно σ_{Ri} , получаем

$$\sigma_{Ri} = A + \left[\frac{(\sigma_i - A)^{m'_w} \cdot N_i}{N'_{GW}} \right]^{1/m'_w}. \quad (3)$$

Полученное уравнение позволяет определить предел выносливости каждого восстановленного объекта при известном положении кривой усталости исходных (новых) объектов.

Выводы

1. Проведен анализ поврежденных деталей судовых машин и механизмов, который позволил выделить те детали, для которых необходимо в качестве дополнительной операции при ремонте проводить испытания на сопротивление усталости.

2. Предложено в качестве ускоренных методов испытаний использовать те методы, которые позволяют определять сравнительные характеристики сопротивления усталости по результатам испытаний одной модели (образца). Подробно рассмотрен один из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беньковский Д.Д., Сторожев В.П., Кондратенко В.С. *Технология судоремонта: Учебник для высших учебных заведений / Под общ. ред. В.П. Сторожева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1986. – 286 с.*
2. Стальниченко О.И., Иоргачев Д.В., Иоргачев В.Д. *Восстановление деталей судов. – К.: ДП «НВЦ «Приоритет», 2014. – 324 с.*
3. Олейник Н.В., Скляр С.П. *Ускоренные испытания на усталость. – К.: Наук. думка, 1985. – 304 с.*
4. Коноплев А.В. *Метод контроля предела выносливости, основанный на использовании параметров кривой усталости // Вісник ОНМУ. – 2008. – № 25. – С. 184-191.*

Стаття надійшла до редакції 20.04.2018

Рецензент – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Р.А. Варбанець**