

УДК 629.5.023 : 629.5.083.5 : 629.5.017

## **Изменение технического состояния корпуса судна в процессе эксплуатации**

**Н.Е. Петрова**

*Судомеханический факультет МА МГТУ, кафедра технологии металлов и судоремонта*

**Аннотация.** Проведен анализ технического состояния корпуса судна в процессе эксплуатации, показаны опасные состояния корпусных конструкций и критерии прочности, выявлено влияние износа на прочность корпусных конструкций.

**Abstract.** The analysis of technical condition of the vessel hull while in exploitation has been carried out, the dangerous condition of hull designs and durability criteria have been shown, influence of deterioration on hull structural strength has been revealed.

### **1. Введение**

Судовой корпус относится к той группе сооружений, прочность которых оценивать наиболее трудно как ввиду сложности самой конструкции, так и главным образом вследствие проблем, возникающих при определении расчетных внешних нагрузок и нормативных запасов прочности. Корпуса водоизмещающих судов работают на границе двух стихий (воды и воздуха) и подвержены воздействию нагрузок, значение и направление действия которых непрерывно и случайно изменяются.

Связи корпуса, являющегося сложной пустотелой балкой, подкрепленной набором в различных направлениях, участвуют одновременно в нескольких видах деформаций. Эти деформации вызываются как общим изгибом корпуса, так и местным изгибом перекрытий, набора, пластин. Задача определения напряжений осложняется еще и тем, что прочность связей корпуса изменяется во времени в связи с неизбежным износом и остаточными деформациями. Причем эти изменения зависят не только от времени, но и от особенностей конструкции корпуса и условий его эксплуатации. В связи с такой сложной картиной нагружения, комплексной работой связей, влиянием времени и окружающих условий оценка прочности корпуса возможна только при использовании предшествующего опыта постройки и эксплуатации судов.

### **2. Оценка прочности корпусных конструкций судна**

В общем случае для оценки прочности судового корпуса необходимо решить проблемы по определению расчетных внешних нагрузок, возникающих напряжений и необходимых запасов прочности. Расчетные нагрузки принято формировать из двух частей: квазистатической (нагрузки на тихой воде) и переменной (волновые нагрузки).

Расчетные напряжения определяют расчленением сложных деформаций на элементарные составляющие с последующим их суммированием, учитывая распределение по сечению конструкций, а также мгновенное и длительное изменение во времени. Запасы прочности назначают, опираясь на предшествующий опыт с обобщением его методами строительной механики корабля.

Однако со временем прочность корпуса и его элементов изменяется. Чем дольше эксплуатируется судно, тем больше стареет его корпус. Старение корпуса выражается в уменьшении толщины листовых элементов и набора вследствие неизбежного износа; в изменении первоначальной формы конструкций в результате появления остаточных деформаций, вызванных различного рода эксплуатационными перегрузками; в нарушении целостности отдельных элементов в виде трещин, разрывов, пробоев, являющихся следствием проявления усталости, хрупкости или вязкого разрушения при аварийных ситуациях. В результате этих изменений уменьшается прочность корпуса и его элементов, ухудшается мореходность судна, нарушается непроницаемость наружной обшивки, переборки, настила второго дна и других конструкций (табл.).

Определяющим последствием вмятин, бухтин и гофров корпусных конструкций являются большие пластические деформации в местах их образования. В экстремальных случаях эти деформации могут привести к разрушению конструкции, при меньших деформациях возникает наклеп, материал становится более хрупким, снижается надежность конструкций.

Определенная степень уменьшения со временем прочности корпуса и его элементов вследствие износа предусматривается при проектировании. Это выражается либо явно в виде прямых надбавок на износ, либо неявно, с помощью расчетных допускаемых напряжений, скрывающих апробированные

практикой запасы прочности. Допускаемые значения уменьшения прочности вследствие износа по сравнению со стандартом, принятым для нового судна, регламентируются специальной нормативной документацией.

Все дефекты конструкций корпуса, появляющиеся в процессе эксплуатации, подразделяются на две группы: повреждения и разрушения. Под повреждениями (damage) понимают дефекты, которые ограничивают дальнейшую нормальную эксплуатацию корпуса, а под разрушением (collapse) – дефект, который приводит корпус в состояние, совершенно непригодное для дальнейшего использования по прямому назначению. Нормативная документация регламентирует только допускаемые пределы дефектов первой группы (повреждений); для устранения дефектов второй группы (разрушений) требуется восстановление корпуса – ремонт (Максимаджи, 1988).

Таблица. Последствия дефектов корпусных конструкций, возникающих в процессе эксплуатации судна

Вид дефекта	Форма проявления	Последствия
Коррозионный износ (corrosion)	Уменьшение площади поперечного сечения связей, моментов сопротивления, моментов инерции	Повышение номинальных напряжений. Уменьшение критических напряжений
	Изменение формы поверхности связей	Локальная концентрация напряжений. Изменение критических напряжений
	Изменение механических свойств материала	Изменение пределов текучести и прочности, относительного удлинения, хрупких и усталостных характеристик
	Свищи	Нарушение непроницаемости
Остаточные деформации (residual deformation)	Изменение плоской или прямолинейной формы связей	Уменьшение несущей способности набора и листов
	Изменение механических свойств материала	Охрупчивание
Трещины (cracks)	Уменьшение рабочей площади связей	Повышение номинальных напряжений
	Изменение напряженного состояния в районе трещины	Повышение концентрации напряжений
	Нарушение целостности	Нарушение непроницаемости

### 3. Опасные состояния и критерии прочности

Все последствия дефектов, обуславливающих снижение прочности конструкций корпуса, оценивают с помощью конкретных физических критериев. Под такими критериями понимают качественные признаки, которые необходимо положить в основу оценки прочности. Количественная оценка (мера) прочности является содержанием норм, а критерии служат для последних физической базой.

Различают два вида опасных состояний конструкций корпуса: искажение формы и нарушение целостности. В качестве признаков наступления этих опасных состояний рассматривают четыре критерия: пластическое деформирование, потерю устойчивости, усталостное и хрупкое разрушения.

Опасное состояние "искажение формы" обычно проявляется в виде остаточных деформаций, причиной возникновения которых являются растягивающие напряжения, превышающие предел текучести материала (критерий пластической прочности), или сжимающие напряжения, превышающие критическую величину (критерий устойчивости).

Если для простоты рассмотреть отдельную балку, то при достижении напряжениями растяжения по всему ее сечению предела текучести материала возникнет быстрый рост деформаций при относительно малом увеличении нагрузки – пластическое течение материала. Развитие этого процесса должно привести к остаточным деформациям после снятия нагрузки или к разрушению (разрыву) балки, если нагрузка будет продолжать увеличиваться. В случае сжимающих напряжений, превышающих некоторые критические значения, возникает явление, носящее название потери устойчивости. Развитие деформаций в данном случае может происходить без повышения действующей нагрузки. Наблюдается либо прямое разрушение, либо (при относительно быстрой разгрузке) появление остаточных деформаций – искажение формы.

Статистика крупных аварий, возникших из-за недостатка прочности и приведших к разрушению корпусов судов, свидетельствует, что в большинстве случаев причиной разрушений явилась потеря устойчивости основных несущих связей. Поэтому при расчетах прочности конструкций опасные состояния "искажения формы" рассматриваются как предельные и связываются с напряжениями, вызываемыми нагрузками, значения которых не должны быть превышены более одного раза за весь срок

службы судна. Такие нагрузки характеризуются обеспеченностью порядка  $10^{-8}$  и менее. По отношению к напряжениям, возникающим при этих нагрузках, и назначаются запасы предельной прочности.

Опасное состояние "нарушение целостности" обычно проявляется в виде различных трещин, причиной возникновения которых в преимущественно растянутых связях судового корпуса оказывается действие как однократно приложенной, так и циклической, относительно умеренной нагрузки. Обеспеченность такой нагрузки имеет порядок  $10^{-5}$  и более (нагрузка может превышать нормативный уровень до 10 000 раз). В первом случае трещины возникают в результате хрупкого разрушения (критерий хрупкой прочности), во втором – имеют усталостное происхождение (критерий усталостной прочности). В обоих случаях трещины появляются под действием местных напряжений в районах, примыкающих к различного рода концентраторам напряжений (вырезам, прерывистым связям, дефектам сварных швов и т.п.).

Предупреждение возникновения хрупких трещин в судовых конструкциях в современной практике обеспечивается специальными требованиями к вязкости материала. Эти требования зависят как от степени ответственности той или иной связи корпуса, так и от ее толщины и расчетной рабочей температуры. Появление массовых трещин усталости предупреждают тем, что средние напряжения по сечениям связей выдерживают в определенных допускаемых пределах. Пределы устанавливаются, опираясь на существующий опыт проектирования, постройки и эксплуатации судов, исходя из условия: с учетом повышения средних напряжений в местах неизбежной концентрации их значение должно обеспечивать заданную усталостную долговечность (Максимаджи, 1988).

#### 4. Влияние износа на прочность корпусных конструкций

Влияние износа на прочность корпусных конструкций проявляется по-разному в зависимости от характера нагружения (статическое, циклическое или вибрационное), стадии нагружения (упругая или пластическая), вида нагружения (растяжение, изгиб, сжатие с возможной потерей устойчивости). В упругой стадии при статическом нагружении конструкции растягивающими силами эффект коррозионного износа заключается в изменении напряженного и деформированного состояния вследствие концентрации напряжений в районе язвин.

Эффект повышения напряжений вблизи коррозионных язвин приводит к снижению пластических свойств стали и дополнительному увеличению хрупкости металла. Коррозионные язвины вызывают сложное напряженное состояние с растягивающими напряжениями, возникающими в направлении толщины и зависящими от ее значения. Опыт эксплуатации судов свидетельствует, что коррозионный износ приводит к появлению трещин в обшивке корпусов при циклических и вибрационных нагрузках, причем трещины зарождаются и распространяются не в сварном шве или околошовной зоне, а непосредственно в коррозионных язвинах.

Хрупкие трещины – наиболее опасный вид отказа судовых конструкций ввиду высокой скорости их распространения. В условиях низкой температуры они могут возникать, даже если уровень номинальных напряжений невысокий, при объемном напряженном состоянии, затрудняющем развитие пластических деформаций в материале.

Наиболее опасными в отношении хрупкого разрушения оказываются точки, в которых  $\gamma_{1/4} > 1$ , где  $\gamma_{1/4}$  – коэффициент жесткости, представляющий отношение наибольших напряжений, определяемых по первой и четвертой гипотезам прочности (Архангородский и др., 1982). Такими точками являются узлы пересечения листов, имеющих коррозионные разрушения, с продольными и поперечными балками набора. Объемные узлы создают макроконцентрацию напряжений, а коррозионные язвины приводят к дополнительному охрупчиванию конструкций.

#### 5. Заключение

Таким образом, одним из важнейших факторов обеспечения безопасности мореплавания является техническое состояние корпуса судна. Для выявления закономерностей повреждения корпусных конструкций необходимо обобщить и проанализировать материалы по ремонтам с начала эксплуатации судна. В этой связи актуальное значение имеют исследования, направленные на разработку методик оценки и прогнозирования технического состояния судна, а применение теории и практики надежности для оценки технического состояния корпуса судна позволит обеспечить минимальные затраты на техническое обслуживание и ремонт судов при соблюдении требований классификационных обществ.

#### Литература

- Архангородский А.Г., Розендент Б.Я., Семенов Л.Н. Прочность и ремонт корпусов промышленных судов: учебное пособие. Л., Судостроение, 272 с., 1982.  
Максимаджи А.И. Капитану о прочности корпуса судна. Л., Судостроение, 224 с., 1988.