

Биокоррозия корпусов судов

Н.Е. Петрова, Л.С. Баева

Судомеханический факультет МГТУ, кафедра технологии металлов и судоремонта

Аннотация. В статье рассмотрены причины возникновения биокоррозии, ее влияние на технические характеристики корпуса и мореходные качества судна.

Abstract. The paper considers the reasons of occurrence of biocorrosion, its influence on technical characteristics of the hull and seaworthy qualities of a ship.

1. Введение

Основным условием установления годности судна к безопасному плаванию является его техническое состояние. Одним из факторов, влияющих на техническое состояние корпуса судна, является износ его элементов, т.е. уменьшение их толщины в процессе эксплуатации. Виды износа металлического корпуса судна: коррозия, эрозия и истирание (Телянер и др., 1984).

Коррозионный износ – наиболее характерный и массовый фактор. Влияние коррозионного износа на прочность конструкций корпуса зависит от характера коррозии: равномерной, обуславливающей общее равномерное утонение обшивки, или язвенной, проявляющейся в образовании множества коррозионных углублений в виде перекрывающихся одна другую полусфер.

Большой вред корпусам судов, эксплуатирующихся в районах с тропическим и субтропическим климатом, наносит биохимическая коррозия.

2. Результат действия биокоррозии

Биокоррозия вызывается жизнедеятельностью различных микроорганизмов, использующих металл как питательную среду или выделяющих продукты, разрушающие металл.

Обрастание корпусов судов морскими организмами приводит к потере скорости, увеличению расхода топлива и в значительной степени определяет междудоковый период судов. На рис. 1 приведены данные о потере скорости сухогрузных судов, эксплуатирующихся в основном в районах с тропическим и субтропическим климатом. Отрицательно влияют на скорость продолжительные стоянки судов в портах с тропическим климатом.

Рис. 1 показывает, что основная потеря скорости происходит в первые 15 месяцев эксплуатации. Однако можно предполагать, что при применении стойких необрастающих красок интенсивное обрастание начинается спустя 9-12 месяцев, т.е. после частичного разрушения необрастающей краски или после потери ее токсичности.

Обрастание корпуса в первую очередь приводит к увеличению его шероховатости, а отсюда и к увеличению сопротивления трения, которое составляет 70-80 % общего сопротивления воды движению судна. Это вызывает потерю скорости или увеличение расхода топлива. Особенно влияет на скорость хода шероховатость носовой оконечности судна, отсюда необходимость более тщательной очистки и окраски носовой части корпуса (Юнтер и др., 1977).

3. Механизм обрастания корпуса судна

Обрастание возникает в результате развития животных и растительных организмов на поверхности погруженных объектов. Обрастание может ускорить коррозию наружной обшивки и нанести повреждение лакокрасочным покрытиям. Хотя имеющие раковину живые организмы не оказывают заметного влияния на появление коррозии, после отмирания они стимулируют местное разрушение в виде оспин. С течением времени площадь пораженных участков увеличивается, и коррозионный процесс протекает быстрее. Коррозионные разрушения приобретают язвенный (питтинговый) характер.

Наиболее сильное обрастание происходит во время стоянки судов в портах. На ходу обрастание незначительно, так как личинки многих организмов не могут прикрепляться к подводной поверхности,

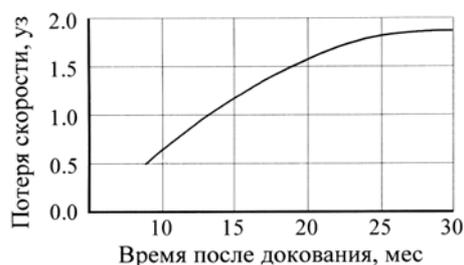


Рис. 1. Потеря скорости судов вследствие обрастания корпуса (Юнтер и др., 1977)

если скорость воды, омывающей эту поверхность, превышает один узел. Ранее прикрепившиеся личинки могут развиваться и на ходу судна, хотя при значительных скоростях хода их рост может замедляться.

В пресной воде находится очень мало организмов, которые могут принимать участие в обрастании. Это главным образом водоросли, прикрепляющиеся у ватерлинии. Наиболее распространенные формы обрастаний не переносят низкой солености и поэтому не появляются на обшивке судов в верхней части рек. Но встречаются морские виды, способные жить почти в пресных водах. Морские суда, стоящие между рейсами в пресных водах, меньше подвергаются обрастанию, однако рекомендуемая практика введения морских судов в пресные воды для удаления обрастаний не оправдывает себя, так как раковины и домики отмерших организмов не отпадают, и не все виды их погибают в пресной воде (Немецова и др., 1970).

4. Изменение механических свойств стали

Оценивая результат действия биокоррозии на техническое состояние корпуса судна, необходимо учитывать влияние коррозионного износа на механические свойства стали, особенно язвенной коррозии, наиболее неблагоприятной для прочности конструкций.

Все характеристики механических свойств металла условны и случайны. Различают два предела текучести: физический и условный. Физический предел текучести не изменяется при любом характере нагружения материала. Условный предел текучести характеризует значения нормальных напряжений, соответствующих появлению первых пластических деформаций, устанавливается экспериментальным путем и зависит от размеров образцов. Опыты показывают, что даже геометрически подобные образцы разных размеров имеют различные механические свойства. Предел текучести повышается с уменьшением размеров образца примерно на 30 %.

Микроисследования показали, что в условиях естественной коррозии изменений структуры стали не происходит, и повышение предела текучести от коррозии обусловлено влиянием коррозионных раковин, играющих роль надрезов в испытуемых образцах и вызывающих перераспределение напряжений в металле. Конечно, 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.

Механические испытания образцов обшивки, подвергнувшейся коррозии, показали, что при относительно небольших по глубине коррозионных раковинах предел прочности σ_b таких образцов выше, чем гладких.

Исследования влияния язвенной коррозии на механические качества стали свидетельствуют, что во всех без исключения случаях относительное удлинение корродированных образцов составляет 60-90 % относительного удлинения гладких образцов. Предел текучести σ_T изношенных образцов увеличивается на 2-27 %, причем большей глубине коррозионных поражений соответствует больший предел текучести.

Значительное снижение относительного удлинения корродированных образцов нельзя объяснить изменениями механических свойств металла, так как при испытании на изгиб в холодном состоянии трещины не обнаруживаются. Кроме того, металлографический анализ показывает отсутствие в исследуемых образцах межкристаллитной коррозии. Поэтому снижение относительного удлинения, изменение пределов текучести и прочности следует объяснить перераспределением и концентрацией напряжений в металле от наличия коррозионных язвин. Коррозионная язвина в условиях нагружения приводит к возникновению в прилегающей к ней зоне неоднородного поля напряжения. Вследствие появления поперечных напряжений в пластине возникает объемное напряженное состояние, достигающее при некоторых соотношениях глубины язвин и толщины пластины существенного значения.

Если обозначить отношения главных напряжений в корродированной пластине через

$$i_1 = \sigma_1/\sigma_1 = 1, i_2 = \sigma_2/\sigma_1, i_3 = \sigma_3/\sigma_1,$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – нормальные напряжения, то, по четвертой теории прочности, обобщенное напряжение можно представить в виде:

$$\sigma_{IV} = \sigma_1(1 - i_2 - i_3 - i_2i_3 + i_2^2 + i_3^2)^{0.5}.$$

Если обозначить через коэффициент жесткости $\gamma_{1/4}$ отношение обобщенного напряжения, вызывающего отрыв, к напряжению, вызывающему текучесть, то можно записать:

$$\gamma_{1/4} = \sigma_1/\sigma_{IV} = 1/(1 - i_2 - i_3 - i_2i_3 + i_2^2 + i_3^2)^{0.5}.$$

Для выяснения влияния коррозионного износа на предел текучести выразим предел текучести корродированного образца через предел текучести гладкого образца, выполненного из той же стали.

Обозначив через σ_T предел текучести гладкого образца, определенный по испытанию на простое растяжение, обобщенное напряжение, отвечающее началу текучести корродированного образца, определим по соотношению:

$$\sigma_{\text{тк}} = \gamma_{1/4} \cdot \sigma_{\text{т}},$$

откуда следует, что в случае коррозионного износа увеличивается жесткость напряженного состояния. Вследствие этого предел текучести, выраженный через наибольшее растягивающее напряжение, должен повышаться. Концентраторы, увеличивая сопротивление пластической деформации, всегда способствуют уменьшению ее предельных характеристик. Поэтому действие коррозионных язвенных повреждений (как концентраторов) нужно отнести к факторам, способствующим переходу металла в хрупкое состояние. В момент разрыва пластического корродированного металла достигается более высокий уровень $\sigma_{\text{в}}$, чем при гладком образце, в результате преобладания объемности напряженного состояния при достаточной пластичности в зоне коррозионных язвин.

Условный предел прочности корродированного образца определяется наибольшей силой P_{max} и номинальным поперечным сечением образца, т.е. $\sigma_{\text{вк}} = P_{\text{max}} / F_{\text{п}}$. Для достаточно пластичных материалов справедливо соотношение $\sigma_{\text{вк}} > \sigma_{\text{в}}$, при недостаточной пластичности разрушение наступает в начальных стадиях ее развития: в этом случае $\sigma_{\text{вк}} < \sigma_{\text{в}}$.

Таким образом, $\sigma_{\text{в}}$ и $\sigma_{\text{т}}$ корродированного образца в зависимости от запаса пластичности металла могут быть выше или ниже подобных характеристик прочности гладкого образца. Однако повышение $\sigma_{\text{вк}}$ или $\sigma_{\text{тк}}$ под влиянием коррозионного износа не служит признаком увеличения прочности и, наоборот, повышения опасности разрушения, так как сам по себе металл при появлении концентратора напряжений не приобретает никаких новых физических свойств. Изменяется только его напряженное состояние.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что влияние язвенного коррозионного износа на прочность корпусных конструкций проявляется по-разному в зависимости от характера, стадии и вида нагружения (Архангородский и др., 1982).

5. Защита от обрастания корпусов судов

Для защиты от обрастания применяют лакокрасочные покрытия с токсинами и необрастающие краски. В качестве токсинов в необрастающие краски добавляются соединения меди, ртути и мышьяка. Однако необрастающие краски с неорганическими токсинами надежно защищают только от обрастания животными организмами. Для защиты от органического обрастания разработаны и применяются краски с органическими токсинами, например, оловоорганическими.

Также для защиты от обрастания применяется ультразвук и введение электролитически полученного хлора в пограничный к корпусу слой жидкости.

6. Заключение

Таким образом, ущерб, причиняемый коррозией, может быть прямым и косвенным. Прямой ущерб включает стоимость замены подвергшихся коррозии элементов корпуса. Косвенный ущерб от коррозии связан с простоем судов в результате ремонта, увеличением расхода топлива, материалов, энергии.

Для повышения эффективности использования судна необходимо применение практических методов исследования надежности судовых корпусных конструкций. Только на основании анализа надежности можно разработать мероприятия по повышению их долговечности, обосновать межремонтные периоды, сформулировать требования по надежности применительно к заданным условиям эксплуатации.

Литература

- Архангородский А.Г., Розендент Б.Я., Семенов Л.Н. Прочность и ремонт корпусов промышленных судов. *Л., Судостроение*, 272 с., 1982.
- Немцева Э.П., Супрун Л.А., Фельдман Л.А., Широченко В.Е., Юнигер А.Д., Яценко М.Я. Справочник судоремонтника-корпусника. *М., Транспорт*, 320 с., 1970.
- Телянер Б.Е., Турмов Г.П., Финкель Г.Н. Технология ремонта корпуса судна. *Л., Судостроение*, 288 с., 1984.
- Юнигер А.Д., Немцева Э.П., Кохан Н.М., Друт В.И., Зобачев Ю.Е. Справочник судоремонтника-корпусника. Под ред. А.Д. Юнигера. *М., Транспорт*, 352 с., 1977.