

Аварии яхт «Экватор» и «Фантом»

Андрей Косоротов, фото автора
и Евгения Бабича



Предварительные выводы

Этим летом на двух яхтах класса Open 800 – «Экватор» и «Фантом», (обе – проекта «Эльф-800») были потеряны балластные фальшкили. Яхта «Экватор» смогла своим ходом вернуться в гавань, «Фантому» повезло меньше: он лишился фальшкиля при пятибалльном ветре в Финском заливе на лавировке и сразу же перевернулся.

Его экипаж был поднят оказавшимися поблизости яхтами «Звезда», «Скиф» и «Тэлери». Почти сутки экипажи яхт «Елена», «Северное сияние» и «Тэлери» занимались буксировкой, переворотом судна в нормальное положение и откачкой воды из затопленного корпуса. К ночи следующего дня «Фантом» был благополучно отбуксирован в Выборг.

По факту аварий авторами проекта был проведен тщательный анализ для выяснения их причин. При этом мы старались не оставлять в стороне ни одну из возможных версий произошедшего. Рассматривались следующие варианты:

- применение сталей не тех марок, что были заложены в проекте, соответственно, возможная подкалка металла в районе сварочных швов и образование сварочных трещин;
- сварка электродами не той марки;
- несоответствие элементов конструкции чертежам;
- следствие перевозки яхты «Экватор» на высоком трейлере с установленным на корпусе фальшкилем;
- следствие удара фальшкилем «Фантома» о камни и дальнейшее развитие не полностью заваренной трещины в корне фальшкиля.

Конструкция обоих сломанных фальшкилей была одинакова: она представляла собой две изогнутые по форме про-

филя оболочки толщиной 5 мм (сталь 10ХСНД), вваренные во фланец толщиной 15 мм (сталь ВСтЗсп). Болочки левого и правого борта сварены между собой на подкладных планках с носовой и кормовой сторон. Для гарантированного сохранения толщины профиля стойки фальшкиля в верхней его части вварены на шлицевых швах три перемычки толщиной 4 мм. После этого между обечайками вварена заглушка толщиной 10 мм. Сваренная стойка фальшкиля заведена в сквозное отверстие, профрезерованное во фланце, и полностью проварена с двух сторон.

По результатам замеров и осмотра фланца фальшкиля установлено следующее:

1. Фланец, выполненный из стали ВСтЗсп, имеет толщину 14 мм вместо установленных чертежами 15 мм.
2. Заглушка фланца выполнена из стали 10ХСНД толщиной 5 мм, а не из стали ВСтЗсп проектной толщиной 10 мм; приварка заглушки – без полного провара, имеет раковины и прожоги. По периметру вставки, по внутренней границе сварного шва, прошла сквозная трещина.
3. Ребра жесткости, ввариваемые на шлицевых швах в обечайки фальшкиля, оторвались при разрушении от металла шва.

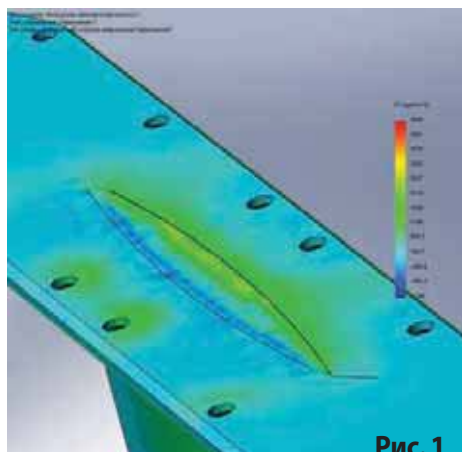


Рис. 1

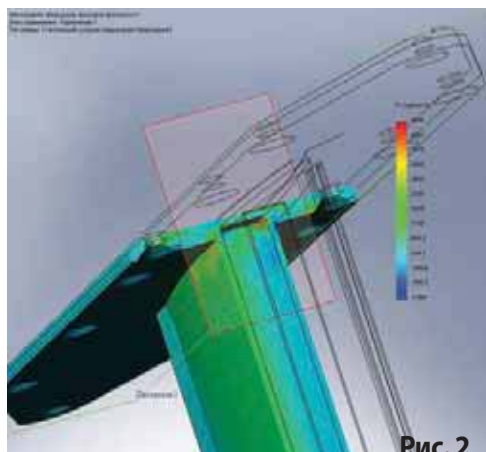


Рис. 2

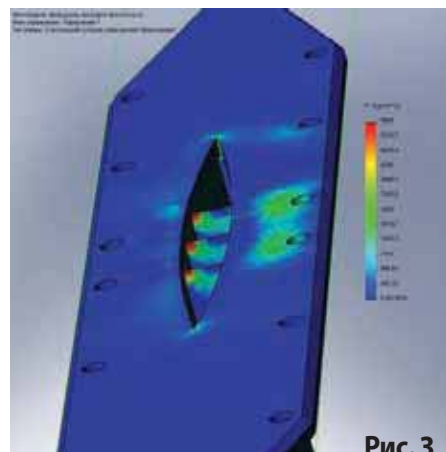


Рис. 3

4. Проведенный химический анализ материала обечаяек и шва их приварки к фланцу показал, что обечайки выполнены из стали 10ХСНД, а швы – из стали марки 12ГС.

5. Для определения подкалки металла фланец был разрезан поперек и на шлифе замерена твердость. Эти замеры, как и замеры твердости сварного шва и остатков обечаяек стойки показали, что сварка собственно киля и транца выполнена очень качественно и подкалка металла в районе швов отсутствует.

Выполненный анализ и контрольные расчеты позволили сделать вывод о порядке разрушения фальшкиля:

1. Из-за концентрации напряжений в шве заглушки фланца, имеющей малую толщину, образовалась сплошная трещина по периметру заглушки, которая и вывела ее из работы. На рис. 1 и 2 показаны распределения главного напряжения σ . Фактическая концентрация была явно больше расчетной.

2. После выхода из строя заглушки (рис. 3 и 4) внутренние усилия резко перераспределились, и свободные концы ребер жесткости превратились в жесткие точки с очень большой концентрацией напряжений. Эквивалентные напряжения в корневом сечении стойки фальшкиля существенно превысили предел текучести для стали 10ХСНД (примерно 4000 кгс/см²). Концы ребер жесткости в местах концентрации напряжений оторвались, и места отрыва, в свою очередь, превратились в мощные концентраторы напряжений для оболочек стойки фальшкиля. В этих местах и начала развиваться вязкая трещина, увеличивающаяся при каждом значительном нагружении (например, при бродчинге). Вибрационные нагрузки при транспортировке яхты с фальшкилем также могли сыграть дополнительную роль в ускорении развития трещины, но установить влияние такой перевозки на скорость разрушения не представляется возможным.



Рис. 3а

Днище яхты с оторванным килем

Следует добавить, что во всех расчетных случаях рассматривалось нагружение фальшкиля при крене на 90°. Расчеты проводились в рамках линейной теории НДС. На рис. 5 и 6 показано распределение напряжений для конструкции, соответствующей проекту.

Расчет по балочной теории для стойки с моментом сопротивления 36.8 см³ при жесткой заделке корневого сечения и нагружении весом 350 кг на плече 1.61 м дает напряжения в 1530 кгс/см².

Кроме этого, были рассчитаны частоты собственных колебаний фальшкиля, которая в поперечной плоскости составила 3–4 Гц. Амплитудные перемещения нижней части фальшкиля (бульба) оказались в 2.5–3 раза больше, чем при крене 90°. Такие результаты косвенно подтверждают то, что при эксплуатации на волнении отдельные ударные нагружения – например, при падении с волны – могут даже превышать уровень нагружения при закреплении яхты на 90°. То есть речь идет о малоцикловой усталости, когда до разрушения проходит несколько тысяч нагружений высокого уровня. В этом случае даже базовую конструкцию фальшкиля можно считать недостаточно прочной, поскольку расчет на закреплении яхты на 90° основан на том, что такие нагружения будут происходить статически и их число не превысит одного-двух десятков за всю жизнь яхты.

Все это позволяет сделать выводы о причинах поломки фальшкилей яхт «Экватор» и «Фантом». Ими стали:

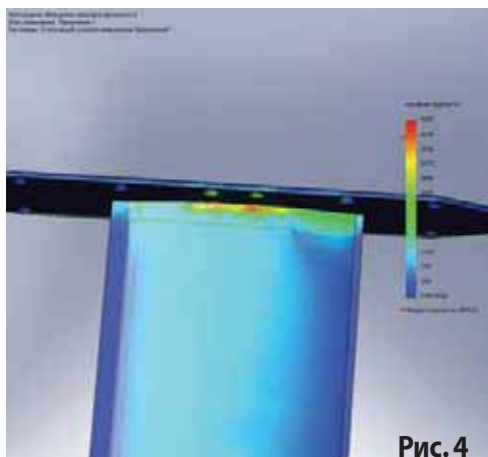


Рис. 4

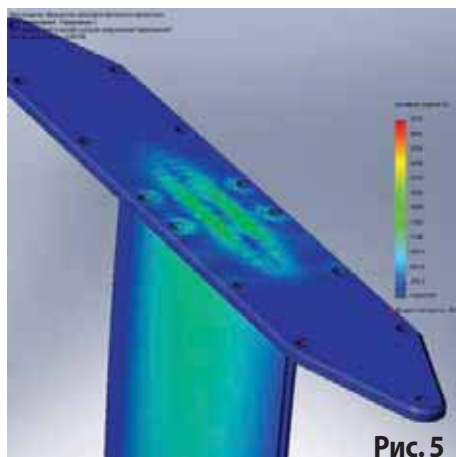


Рис. 5

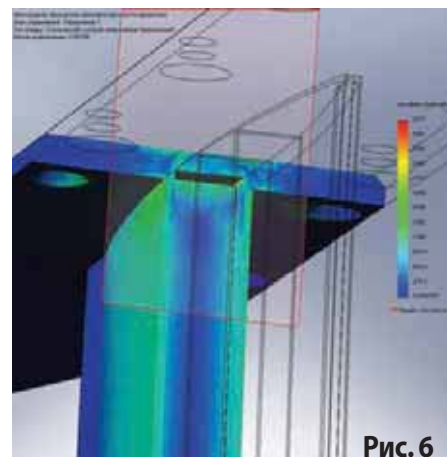


Рис. 6

— ошибки проектирования, а именно: возможный недоучет внешних нагрузок и недооценка остаточных сварочных напряжений в районах близко расположенных швов;

— недостаточный контроль исполнителей при заготовке деталей металлоконструкции;

— некачественная сварка фланца и заглушки, о чем свидетельствуют дефекты сварных швов: подрезы, несквозной провар;

— сопутствующим фактором на яхте «Фантом», существенно ускорившим аварию, стал удар бульбом о подводный камень, результатом которого было появление трещины в носике стойки фальшкиля ниже сварного шва. Трещина была заварена, но, возможно, не полностью;

— влияние перевозок на высоком трейлере (яхта «Экватор») не изучалось, но, на наш взгляд, это может быть дополнительным фактором, ускорившим аварию.

Основной причиной разрушения стала замена сборщиком толщины заглушки фальшкиля с 10 мм по проекту на 5 мм («Экватор») и 4 мм («Фантом»). Эти выводы подтверждают контрольные расчеты.

На настоящий момент изучается возможность разработки новых требований к изготовлению конструкции фальшкилей. Конечно, эти требования, а также возможное изменение проектных толщин деталей и порядок их сварки будут сформулированы после проведения дополнительных консультаций со специалистами смежных областей. Уже принято решение о снижении уровня допускаемых напряжений в конструкциях сварных фальшкилей (с учетом зон концентрации напряжений) до уровня 0.5δ (половина предела текучести материала), что фактически удваивает запас прочности по сравнению с требуемым правилами ABS.

Изготовитель фальшкилей рекомендовал владельцам и капитанам яхт проекта «Эльф-800» воздержаться от их эксплуатации до модернизации фальшкилей и отозвал все фальшкили, не соответствующие проектной документации.

В заключение дадим дополнительные рекомендации владельцам яхт, имеющим узкие фальшкили сварной конструкции:

— необходимо регулярно осматривать район приварки стойки фальшкиля к фланцу. Признаками появления трещины в этом районе является наличие трещин в шпаклевке, ржавых потеков или воды в фальшкиле;

— после удара о грунт на скорости, большей 6 уз, необхо-

димо детально осматривать (желательно с использованием пенетрантов) корневое сечение фальшкиля. Вероятность появления трещин в его носике у фланца и в заглушке очень велика;

— при перевозке яхты на высоком трейлере необходимо принимать специальные меры по предотвращению возможных колебаний фальшкиля в дороге.

ООО «ГРИНЛАЙФ»
ООО «GREENLIFE»

ПРИЧАЛЫ для стоянки катеров и яхт

ПОНТОНЫ грузоподъемностью до 10 т, различных размеров и конфигураций

ПЛАВДАЧИ

Ленинградская область, г. Выборг, ул. Физкультурная, д. 17, офис 311
 моб. тел. 8 (921) 426-1118, 8 (921) 438-9232, тел./факс 8 (81378) 93-692
info@greenlife-vbg.ru; www.greenlife-vbg.ru