

УДК 629.543

**УСАДОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В КОРПУСНОЙ  
КОНСТРУКЦИИ ТАНКЕРА ПОСЛЕ ПЕРЕОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДЫ  
ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ**

**Рзаева А.Г.**

*Азербайджанская Государственная Морская Академия  
Az1000, г. Баку, ул. З.Алиевой, 18  
E-mail: aynisar@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные дефекты, возникающие в корпусной конструкции после установки новых конструктивных элементов двойного дна и второго борта. Разработаны новые методы технологического процесса, при применении которых в 2 раза уменьшаются нагрузки и напряжения, возникающие от усадки сварного шва, увеличивается прочность корпусного набора, равномерно распределяются и уравновешиваются стихийные силы, что привело к соответствию танкера требованиям МАКО.*

***Xülasə.** Məqalədə gəminin gövdə konstruksiyasında ikiqat dibin və ikinci bortun yeni konstruktiv elementlərini quraşdırdıqdan sonra yaranan əsas qüsurlara baxılmış və hazırlanmış yeni texnologiya haqqında məlumat verilmişdir. Bu texnologiyanın tətbiqi nəticəsində qaynaq tikişlərinin sıxlaşması zamanı yaranan yük və gərginliklər 2 dəfə azalır, gövdə yığımının möhkəmliyi artır, kortabii qüvvələr bərabər paylanır və tarazlaşır ki, bu da tankerin MAKO-nun tələblərinə cavab verməsinə səbəb olur.*

***Abstract.** The article considers the main defects that arise in the hull structure after the installation of new structural elements of the double bottom and the second side, new methods of the technological process have been developed, with application of which the loads and stresses arising from the shrinkage of the weld seam are reduced by 2 times, the strength of the hull assembly is increased with the system, spontaneous forces are evenly distributed and balanced, which led to the compliance of the tanker with the IACS.*

***Ключевые слова:** усадка, сварка, износ, напряжения, деформация, износостойкость, прихватка, трещины, прочность*

***Acar sözlər:** sıxlaşma, qaynaq, yeyilmə, gərginlik, deformasiya, dağılmazlıq, bəndləmək, catlar, möhkəmlik*

***Key word:** shrinkage, welding, jamming, tension, deformation, firmness, to sew haphazardly, crack, durability*

---

**Постановка проблемы.** В процессе переоборудования танкера возникла необходимость в обеспечении минимальной усадки в сварной конструкции, которая уменьшила бы деформацию и прогиб установленных и установочных металлических листов, без разрыва и трещин, увеличивала бы прочность сварного шва, предупредив возникновение разрывных и растягивающих напряжений. Для решения этих задач были рассмотрены и подготовлены технические указания на сварку отдельных конструктивных элементов днищевого и бортового наборов с учетом допускаемых значений напряжений, уменьшающих силу их действия как от внутреннего, так и от внешнего контура.

**Решение проблемы.** При переоборудовании нефтеналивного танкера, автор столкнулся с многочисленными проблемами, которые могли привести к нежелательным последствиям и дефектам, от которых зависит прочность корпуса судна и безопасность при эксплуатации.

Основными дефектами, проявляющимися при установке конструктивных элементов настила двойного дна и второго борта являлись изгиб листов бортовых стрингеров, рамного

набора, деформация продольных листов второго борта, усадка в угловых и стыковых сварных швах продольного и поперечного набора второго борта и настила двойного дна [1,3].

Рассчитанный объем ремонтных работ и переоборудование танкера составлял 30% замены изношенных и 100% - постройки новых конструктивных элементов двойного дна и второго борта, которые могут повлиять на прочность, остойчивость и непотопляемость танкера.

Для того, чтобы разрешить данную ситуацию и предупредить возникновение технологических дефектов в построенной конструкции двойного дна и второго борта, автором специально для данного танкера было разработано техническое указание, в котором указаны все пооперационные методы по производству ремонтных работ и методические указания для переоборудования танкера двойным дном и вторым бортом. Применение разработанной технологии на практике позволило выявить неоднородность природы возникновения вышеуказанных дефектов, остаточный износ конструктивных элементов набора, район максимальных дефектных участков в днищевой, бортовой и палубной зоне, учтен возрастной критерий установочных элементов в грузовых танках и балластных отсеках [3].

Исследуя природу сварных соединительных швов вертикального и горизонтального направления, воздействующих на (вновь установленные элементы двойного дна и второго борта) участки с постоянно и стихийно действующими напряжениями, было выявлено неудовлетворительное качество свариваемого металла в сварочном шве, вследствие которого могут образоваться разрывы, трещины и усадки, а под действием сжимающих сил сварное полотно может быть подвержено незначительному "сжатию", которое может изменить размеры вновь установленных элементов корпусных конструкций и создать дополнительные сжимающие напряжения, ведущие к деформациям [4].

Выявлено, что при установке и сварке конструктивных элементов усадочные напряжения в угловых швах возрастают в том случае, когда происходит быстрое охлаждение сварного шва после сварки, зависящей от защитного покрытия и толщины электродов, которые должны обеспечивать качество сварного шва без каких - либо дефектов.

Для получения полного анализа в исследовании безугарочного сварного соединения, автор предлагает рассчитывать состав электродных покрытий и его температуру прогрева, зависящие от легированного состава свариваемых металлических листов, их установки и монтажа на судне, основываясь на теории сварочных процессов [1,3].

Проводимыми исследованиями было выявлено, что качественно прочное сварное соединение можно получить, если сварной шов будет полностью защищен от быстрого охлаждения и проникновения холодного потока воздуха, применяя специальные защитные несгораемые материалы, или же соответствующие электроды с защитными покрытиями, согласно техническим требованиям на ремонт. Это позволит в несколько раз предотвратить быстрый процесс охлаждения сварного шва, значительно уменьшить усадку полотна металла, сведя к минимуму усадочные и сжимающие напряжения.

Защищая сварочную поверхность от прямого соприкосновения с воздухом, мы тем самым замедляем процесс его охлаждения, способствуем выходу вредных примесей газа и неметаллических включений на поверхность сварного шва, удаляем невосстанавливаемые оксиды, образованные от продуктов сгорания, превращая их в шлак, уменьшаем концентрацию статических напряжений в околошовной зоне и в самом полотне металла, обеспечивая устойчивое горение сварочной дуги. В обратном случае оно может привести к остаточным деформациям и горячим трещинам в самой металлической конструкции [1,6].

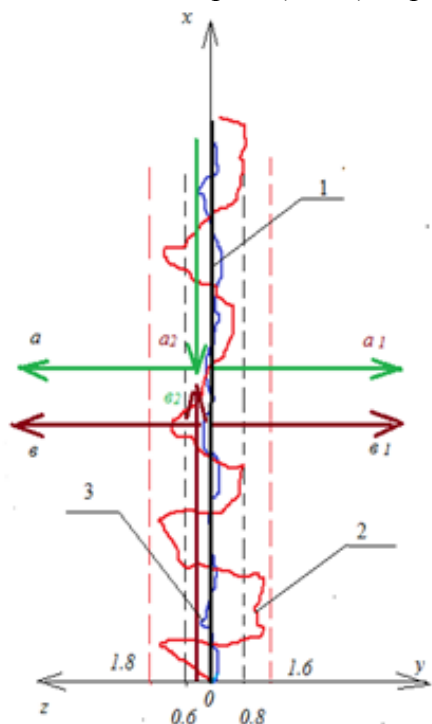
Анализируя, что большинство сварных стыковых соединений почти не имеют усадки в сварных швах, а в угловых соединениях – усадка металла увеличивается в два раза, напрашивается вопрос: почему в стыковых соединениях меньше усадки, чем в угловых. Автор рассмотрел многочисленные технологические процессы и изучил литературные источники, исследовав практические работы в сварочном цеху, а также многочисленные технические

документы на ремонт корпусных конструкций судна и пришел к выводу, что выявленные дефекты в виде усадки металла можно предупредить, если правильно подойти к изучению технологических процессов производства, связанных с первоначальными работами по разметке, резке и установке конструктивных элементов, необходимо изучить основную природу воздействия сил, образующих в сварных швах стыкового и углового соединения [5,6].

Рассматривая природу образования данных сил, воздействующих на корпус судна, необходимо обратиться к законам физики и не пренебрегать ими, так как действие сил происходит от горячего источника к холодному. Применяя данную закономерность за основу и не нарушая технологические процессы сварочного производства, можно получить качественно-прочную сварную конструкцию без дефектов.

Изученный процесс сварки угловых деталей в районе скулового пояса, в соединениях вертикальной переборки второго борта с настилом второго дна, изготовленных из судостроительной стали категории А32, Д32, показывает, что в процессе сварочного производства образуется тепло, которое передается от нагретого источника в холодному, двигаясь по двум противоположным направлениям, в результате которого наблюдается следующая картина (рис.1.): тепло от сварного шва распространяется по всему периметру места нагрева, и неравномерно распределяется в трех перпендикулярных плоскостях:  $a, a_1, a_2$ ;  $b, b_1, b_2$  [1,2,3].

В итоге, на сварочную корпусную конструкцию одновременно действуют несколько сил, две из которых ( $a_2, b_2$ ) пересекаются в вертикальной плоскости, создавая дополнительные напряжения и действуют на элементы корпусного набора настолько сильно, что набор не в состоянии им противодействовать, в результате которого появляется деформация (рис. 2).

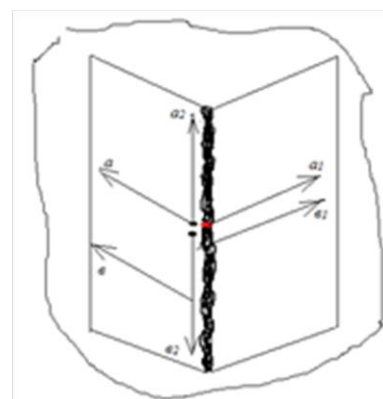


**Рис. 2.** Силы, действующие на сварной шов в трех плоскостях:  $x, y, z$ . 1 - сварной шов; 2 - максимальное значение усадок, 1.6-1.8; 3 - допустимые значения усадок 0.6-0.8.

Действие сил  $a, a_1$  позволяет растягивать сварной шов по ширине листа, что дает возможность по углам в вертикальной части появиться усадке, которая явно видна при сварке на вертикальном листе. Графически данный процесс показан на рис. 3.

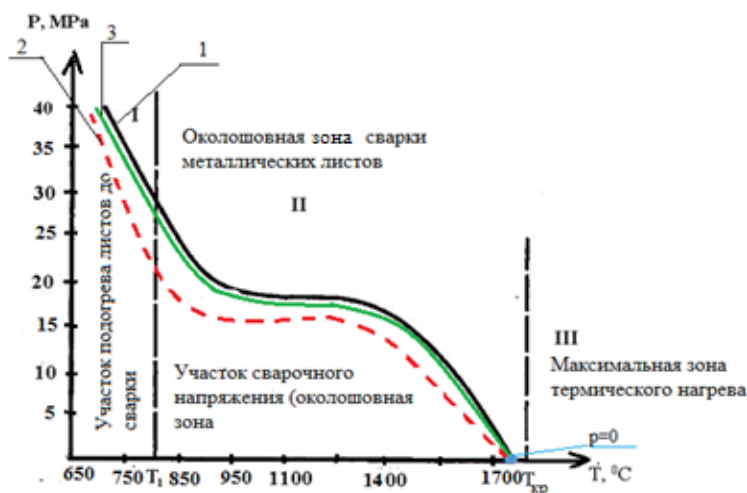
Каждая сварка сопровождается искажением сварного шва в поперечном и продольном сечениях, увеличивая напряжения и деформацию, которая уменьшает прочность сварного соединения и приводит к нежелательным разрывам [2].

Для того, чтобы такие дефекты не проявлялись в угловых сварных соединениях, перед сварочным процессом, рекомендуем равномерно провести прихват элементов по стыковым позам с двух сторон небольшим сварным швом. Далее произвести сварку от центра листа к краю двумя сварщиками. Если деталь небольшого размера, то желательно начать



**Рис. 1.** Силы, действующие от горячего ( $a, a_1, a_2$ ) и холодного ( $b, b_1, b_2$ ) контуров.

провар с конца углового стыка и не "вытягивая" сварной шов (мягкий плавкий металл) "за собой", а произвести местный провар сплошным тонким сварочным слоем.



*Рис. 3. Графически показана зависимость усадки от напряжения, возникающая от давления сварочной среды: 1 - теоретический сварной шов; 2 - изменение в траектории сварного шва после усадки; 3 - минимальные значения усадок после применения усовершенствованной технологии сварки.*

Производя сварку настила второго дна и вертикальной переборки второго борта необходимо помнить о технологии сварки, как об основном способе качественного соединения металлических листов, не нарушая сварочный процесс производства, за-

висящий от химического состава металла, его продольных профилей, сечения которых искажает сварка, а также от марки электродов. Чем меньше зоны прогрева имеют конструктивные заготовки во время сварки, тем меньше наблюдается усадка в угловых сварных швах (рис. 3. (3)) [1,2].

Проведя анализ и исследование, применив технологию сварочного соединения при переоборудовании, автор выявил минимальную и максимальную продольную усадку стандартного листа размером 6000 x 1500 x 10 мм сваренного встык, которая равна 0,5-0,6 мм, а при угловой сварке, усадку в угловых швах равная 0,6-0,8 мм (рис.2.) [ 2,3].

Полученные величины очень малы и их можно не учитывать, так как они являются допустимыми величинами, которые устанавливаются при обработке заготовок, как фаска. Но в процессе исследования были выявлены поперечные усадки в построечной конструкции второго борта, которые свидетельствует о том, что сварка конструктивных элементов производилась с нарушением технологических норм, а это означает, что при установке рамного набора сварка велась в одностороннем порядке, и был положен односторонний "грубый" сварной шов, что недопустимо при установке судовых элементов корпусной конструкции [3,5,7].

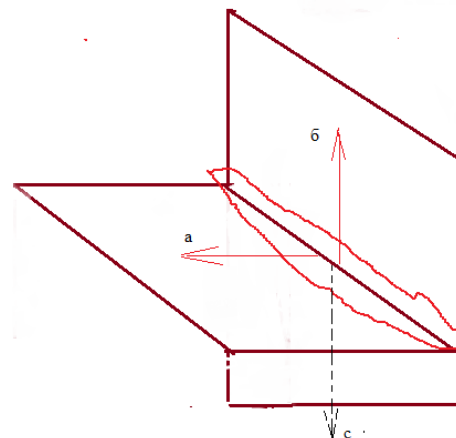
Выявленные поперечные угловые усадки (угловые напряжения) в корпусных конструкциях являются следствием неравномерного распределения стягивающих сил по сечению направленного сварного шва, который соединяет горизонтальную площадь *a*, с вертикальным набором *b*, в одностороннем порядке (рис.4.). Здесь вторая сторона вертикального набора *c*, остается в свободном состоянии и не противостоит стягивающими силами противоположной стороны *b*, в результате конструкция получит перегиб.

Поэтому многие конструкции, установленные с технологическими нарушениями, подвергаются значительным усадочным напряжениям и изменяют структуру металла в том направлении, где она больше всего имеет силы сжатия. После того, как свариваемая конструкция подвергается усадочным напряжениям, такую конструкцию восстановить очень трудно, так как в ней сконцентрированы напряжения, для противодействия которых потребуется подрезать сварочный шов и заново восстановить его методом сварки без нарушения технологий [2].

Если этого не предпринимать, в итоге корпусная конструкция получит деформированные профили в продольном и поперечном сечении, где наибольшее линейное сопротивление вертикальных балок приведет к разрыву как сварного шва, так и основного полотна.

Учитывая то, что судостроительная сталь разных категорий имеет различную усадку, которая составляет до 1,6% от первоначального линейного размера, автор учел эти показатели и выявил, что усадочные напряжения, возникающие в данных судостроительных сталях возрастают до максимума, т. е. сжимая, вытягиваются металлом, который в итоге деформируется, подвергая конструкцию максимальному изгибу, ведущему к деформациям, и если конструкция построена из рассматриваемой судостроительной стали, то она под воздействием сил начинает разрушаться, а в уязвимых местах листового набора появляются разрывы.

**Выводы.** Применение вышеуказанных усовершенствованных методов позволит уменьшить концентрацию напряжений в сварных соединениях и усадку швов, повысить прочность и долговечность шва за счет технологически правильного выполнения основных операций с соблюдением теории сварочного процесса и технического указания на ремонт. Данная методика имеет практическую значимость и была применена по предложению автора на многих судах КМП (т/х "General Abbasov", т/х "Lənkəran", т/х "Gəncə", т/х "General Şixlinski", т/х "Səməd Vurğun" и т.д.), которые проходили капитальный ремонт, где были получены положительные результаты. В процессе ремонта были исследованы и проанализированы участки, где сконцентрированы максимальные напряжения, возникающие от сжимающих и растягивающих сил, исследована природа возникновения усадок и деформаций, предложены методы по их снижению для получения качественного и износостойкого сварочного шва, как в наружной обшивке корпуса судна, так и в соединениях основных элементов днищевого и бортового наборов.



*Рис. 4. Поперечные усадочные напряжения появляющиеся в сварном шве.*

### Литература

1. Рзаева А.Г., Рзаева Г.Г. Проектирование и постройка современных судов. М: Перо, 2017, 569 с.
2. Рзаева А.Г. Технология постройки двойного дна и второго борта нефтеналивным судам. Монография. Издатель LAP LAMBERT Academic Publishing. Германия. ISBN978-3-659-70523-6. 2015г. 101с.
3. Рзаева А.Г. "Технология защиты разделанных кромок листов от коррозионного разрушения на микроскопической основе". Тех. указ. № 112 от 12.11. 2002г. Баку. СРЗ им. Вано Стуруа. АГ КМП. 12с.
4. Правила Регистра. Классификация и постройка морских судов. С. –Петербург, 2017, в двух томах, 1151с.
5. Баширов Р.Д., Рзаева А.Г. Технология сварки новых листов наружной обшивки к построеным // Сборник научных трудов. АГМА 2013, №1., 3 с.
6. Рзаева А.Г. Технологический расчет возникающих напряжений при установке равнополочного угольника на настил двойного дна и на переборку второго борта. Тех. указание № 23 от 04. 09.2010г. Баку. СРСЗ им. Закавказской Федерации. АГ КМП.14с.
7. Рзаева А.Г. ТУ № 43 "Установка продольных и поперечных элементов корпуса судна в грузовых и балластных танках" от 27.01.2011, 12с., СРСЗ им. Закавказской Федерации КМП.

*Tövsiyə edib: t.e.d., prof. A.T.Məmmədov*