

Министерство образования и науки, молодёжи и спорта
Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для самостоятельного изучения специальных
статей для морских сооружений для студентов
направления 6.051201 "Судостроение и океано-
техника" всех форм обучения

Заказ № ____ от _____ 2011. Тираж ____ экз. Изд-во СевНТУ.

Севастополь
2011 г

УДК 629

Методические указания для самостоятельного изучения специальных статей для морских сооружений для студентов направления 6.051201 "Судостроение и океанотехника" всех форм обучения / Сост. В.С. Игнатович, В.В. Жибоедов - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. – 28 с.

Целью настоящих методических указаний является оказание помощи студентам направления 6.051201 "Судостроение и океанотехника" для самостоятельного изучения специальных статей применяемых при строительстве технических средств освоения шельфа.

Методические указания и утверждены на заседании кафедры "Океанотехника и кораблестроения" протокол № 12 "31" января 2011 г.

Допущено учебно-методическим центром и научно-методическим советом СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Лекарев Г.В.

5) Слоистое разрушение в сварных соединениях. Основные признаки.

6) Факторы, способствующие слоистому разрушению.

7) Меры предупреждения слоистого разрушения.

8) Требования Правил классификации и постройки ПБУ к сталям.

9) Стали с гарантированными механическими свойствами в поперечном направлении (**Z**-стали).

10) Основные виды проката толстолистовой свариваемой стали, предназначенной для строительства плавучих буровых установок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила классификации и постройки морских судов Российского морского Регистра судоходства М. – СПб.: Транспорт, 2010. – 350 с.

2. Правила классификации и постройки плавучих буровых установок Российского морского Регистра судоходства, - М. – СПб.: Транспорт, 2010. - 380 с.

3. Слоистое разрушение. Симпозиум по толстолистовым сталям для судостроения и конструкции морских сооружений. Технический доклад.- Nippon Steel Corporation – Л: 1978. – 24 с

Содержание

Введение	4
1. Теоретический раздел	4
1.1 .Стали, применяемые для морских сооружений	4
1.1.1. Общие требования к сталям, применяемым при строительстве плавучих буровых установок.....	4
1.1.2. Особенности материала реек опорных колонн	10
1.1.3. Повышение усталостной прочности стали	10
1.2. Слоистое разрушение в конструкциях морских сооружений.....	11
1.2.1. Общие положения	11
1.2.2. Факторы, способствующие слоистому разрушению	12
1.3. Требования Правил классификации и постройки плавучих буровых установок к сталям	15
1.3.1. Требования к Z -сталям	15
1.3.2. Требования к основным сталям ПБУ	18
1.4. Сварные конструкции и соединения плавучих буровых установок.....	18
1.5. Основные виды специальных сталей для плавучих буровых установок	20
2. Области применения информации о сталях в учебном процессе.....	25
3. Контрольные вопросы.....	25
Библиографический список.....	26

ВВЕДЕНИЕ

Основные факторы, вызывающие необходимость изучения специальных сталей для ПБУ:

а) широкое развитие, особенно за рубежом, плавучих буровых установок для разведки и добычи газа и нефти в морских условиях. С середины 50-х годов построено и эксплуатируется около 600 установок самоподъемного и полу-погружного типа $\Delta = 15000-20000$ т;

б) более суровые условия эксплуатации установок по сравнению с транспортными судами за счёт постоянного их нахождения при различных условиях погоды в районе эксплуатации;

в) высокая стоимость сооружений и повышенная аварийность в эксплуатационных условиях;

г) необходимость освоения шельфа плавучими буровыми установками в районах Арктики и Дальнего востока;

д) повышение требований, в том числе Правил классификации постройки ПБУ Регистра к конструкции и особенно материалам этих сооружений.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Стали, применяемые для морских сооружений.

1.1.1. Общие требования к сталям, применяемым при строительстве плавучих буровых установок.

В связи с расширением районов эксплуатации морских сооружений и продвижением их в северный бассейн, увеличиваются размеры плавучих буровых установок, а условия работы становятся более суровыми. Стали, используемые в конструкциях таких сооружений - СПБУ и ППБУ, - в принципе не отличаются от сталей используемых в конструкциях судов и наземных сооружений, но с точки зрения технологии и условий эксплуатации конструкций морских сооружений они должны обладать более высокими характеристиками.

Плавучие буровые установки представляют собой крупногабаритные конструкции. Для корпусов полупогружных и само

2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О СТАЛЯХ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Приведённые теоретические материалы по сталям для морских сооружений могут быть использованы в соответствии с учебным планом по специальности 7.100201 «Корабли и океанотехника» при изучении следующих дисциплин.

1) «Технические средства для освоения океана».

Изучение основных конструкций сооружений в соответствующих условиях эксплуатации.

2) «Конструкция корпуса плавучих и стационарных сооружений». Разработка конструкций наиболее ответственных частей корпуса ПБУ, применение сталей с гарантированными свойствами в поперечном направлении.

3) «Технология строительства плавучих и стационарных сооружений». Изучение технологических процессов изготовления сварных толстолистовых конструкций из сталей с гарантированными свойствами в поперечном направлении.

4) Дипломное проектирование.

Разработка и технология изготовления конструкции плавучих буровых установок.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Для понимания и усвоения теоретического материала по сталям для морских сооружений студент должен отвечать на следующие вопросы.

1) Особенности конструкции различных видов морских сооружений.

2) Особенности эксплуатации плавучих и стационарных морских сооружений.

3) Основные требования к сталям, вытекающие из особенности технологии изготовления, прочности и условий эксплуатации.

4) Особенности сварки толстолистовых конструкций. Влияние углерода и легирующих элементов.

4) Прокат толстолистовой крупногабаритной свариваемой корпусной стали марки 15ГБ для крупнотоннажного судостроения (ТУ14-1-2592-79).

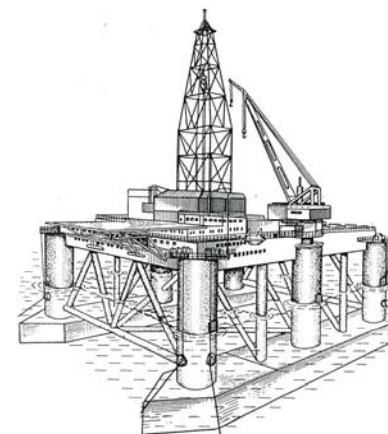
Размеры: толщина 10-20 мм через 0.5 мм., 21-32 мм через 1 мм.,
ширина 2-3 м через 0.1 м.,
длина 6-16 м через 0.5 м.

Волокно при изломе должно быть на площади более 60%.
Ударный изгиб проверяется на продольных образцах типа Шарпи по ГОСТ 9454-78.

Таблица 9 - Механические свойства стали 15ГБ

Механические свойства	Категория		
	A36	D36	E36
Механические свойства при растяжении			
Предел прочности, Мпа	500 - 630	500 - 630	500 - 630
Предел текучести, Мпа	360	360	360
Относительное удлинение, %	21	21	21
Ударный изгиб			
Температура испытания, °С	0	-20	-40
Работа удара, Дж	44	44	44

а) полупогружная буровая платформа



б) самоподъёмная буровая установка в) стационарная буровая платформа

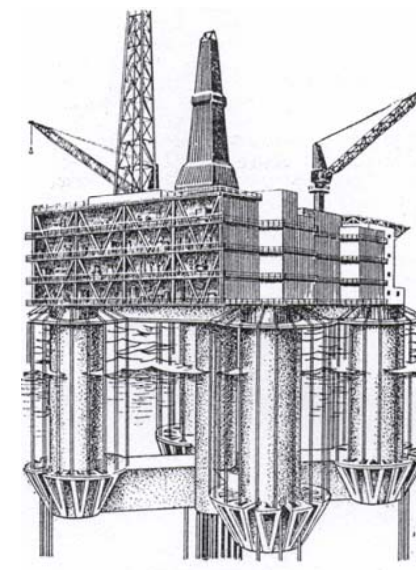
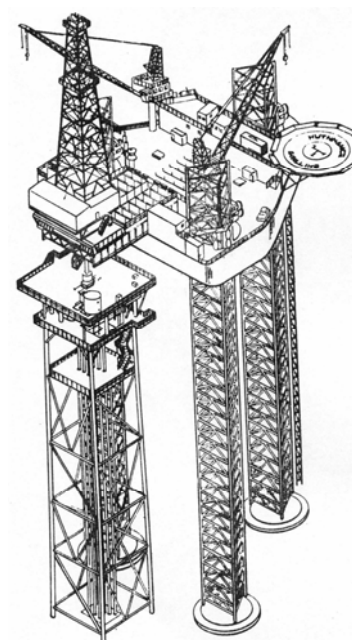


Рисунок 1 – Различные типы технических средств освоения океана

подъёмных установок применяется в основном листовая сталь, которая используется и для судовых конструкций. Вместе с тем следует отметить, что конструкции буровых платформ включает многие узлы, отличные от традиционных конструкций судов.

Наиболее специфическими конструкциями являются опоры СПБУ, изготавливаемые из толстостенных труб, высокопрочных толстых листов или отливок.

Рассмотрим особенности морских сооружений и требования к стали на основе зарубежного и отечественного опыта.

а) Сварка конструкций часто производится в неблагоприятных условиях — под открытым небом или в море, в связи с чем контроль качества сварки связан со значительными трудностями. Это усугубляется тем, что сварные соединения выполняются в условиях значительного закрепления. Поэтому используемая сталь должна обладать повышенной свариваемостью, по сравнению с материалами для других конструкций.

б) При сварке элементов из труб остаточные сварочные напряжения и напряжения, вызванные жёстким закреплением свариваемых элементов, взаимодействуют в зоне сварки. Это взаимодействие приводит к возникновению в зоне, растягивающих напряжений в направлении толщины листа, которые вызывают так называемое слоистое растрескивание. Для предотвращения этого явления помимо совершенствования конструкций и технологии сварки необходимы материалы, обладающие высокими характеристиками в направлении толщины листа (Z-свойства). Аналогичные узлы встречаются и в конструкциях полупогружных установок, например, соединение раскосов между собой и с подпалубными балками.

в) В связи с увеличением глубин установки сооружений и ужесточением условий эксплуатации, а так же с ростом их габаритов для изготовления корпусов и опор применяются стали с повышенным значением предела текучести и предела сопротивления. В Японии, США и других странах применяются стали с пределом текучести до 800 МПа.

г) Для конструкций плавучих установок, и особенно опор СПБУ характерны значительная концентрация напряжений и

Размеры листов: толщина от 30 до 70 мм,
ширина от 1.6 до 2.8 м,
длина от 8.0 до 9.0 м.

Листы изготавливаются из стали электрошлакового переплава, должны быть подвергнуты термической обработке (закалке и высокому отпуску), сплошной двусторонней абразивной или дробеструйной зачистке, а также ультразвуковому контролю.

Химический состав: углерод-0.10-0.14%, сера-0.012%, фосфор-0.015%.

Для оценки сопротивляемости стали слоистому разрыву отбирают по 3 образца в направлении толщины от головных концов листов толщиной 35 мм и выше. При испытании определяется только относительное сужение.

Таблица 8-Механические свойства стали

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное Удлинение, δ_5 %	Относительное сужение, Ψ , %	Относительное сужение в направлении толщины, Ψ_Z , %	Работа удара, Дж (при 50 %)	Количество волокна в изломе проб, %
Не менее						
58-72	50	21	60	35	8,0	80

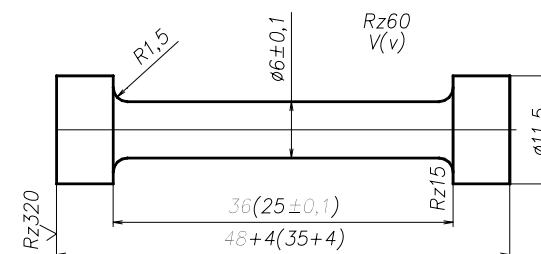


Рисунок 6 - Образец на растяжении для определения относительного сужения в направлении толщины листов 51 -70 (35-50) мм

2) Прокат толстолистовой свариваемый из стали марки (АБ-1) 12ХН2МДФ - ТУ14-1-3115-81. Предназначен для строительства плавучих буровых установок и строительных конструкций.

Таблица 6 - Размеры листов

Размеры листов	Толщина, мм.	
	30 - 70	71 - 100
Ширина, м	1,6 – 2,8	1,6 – 2,0
Длина, м	6,0 – 9,5	3,7 – 6,0м

Химический состав: углерод 0,10-0,14%, -сера 0.013 %, -фосфор 0.030 %.

Таблица 7-Механические свойства листов

Толщина листов, мм	Предел прочности, σ_B , МПа	Предел текучести, σ_T , МПа	Относительное удлинение, δ_5 %	Относительное сужение, Ψ , %	Работа удара, Дж (при температуре)	Количество волокна в изломе, %
		Не менее				
30-70	580-720	500	20	55	47 при -40 °С	80
71-100	530-660	450	19	55	47 при -30 °С	65

Листы должны быть подвергнуты термической обработке - закалке и высокому отпуску. Листы толщиной до 70мм подвергаются ультразвуковому контролю.

Прокат поставляется под надзором Регистра.

3) Прокат толстолистовой свариваемый с повышенным сопротивлением слоистому разрыву из стали марки 12ХН2МДФ (АБ1-Ш) ТУ14-1-3116-81

Прокат предназначен для строительства плавучих буровых установок и судостроительных конструкций.

жёсткие условия закрепления при сварке. Поэтому даже незначительные дефекты сварных швов и наличие усталостных трещин могут привести к хрупкому разрушению. Эти обстоятельства особенно усугубляются при эксплуатации конструкции при низких температурах.

В этих случаях сталь должна обладать высокой ударной вязкостью и при низких температурах.

д) В процессе эксплуатации плавучие буровые установки подвергаются длительному действию ветра и волн, вызывающих появлении знакопеременных напряжений в конструкциях. Эти напряжения носят усталостный характер. Хотя для конструкций применяются стали с высокими механическими характеристиками, а в общем случае считается, что предел усталости пропорционален пределу прочности стали, однако наличие концентраторов в сварном шве (всевозможные дефекты и неудовлетворительная форма наплавленного металла) снижает усталостную прочность сварных соединений. Следовательно, необходимы правильный выбор материала и учёт коррозионно-механических и усталостных характеристик металла.

е) Поскольку корпуса полупогружных установок и опор СПБУ постоянно в течение всего периода эксплуатации омываются морской водой, необходимо учитывать влияние этого фактора на срок службы конструкции. Для защиты от коррозии применяются специальные краски и катодная защита. Применение стали, обладающей антикоррозионными свойствами повышает эффективность других мер.

Исходя из вышесказанного, при выборе стали для морских сооружений необходимо учитывать следующие характеристики:

а) прочность (предел текучести и предел прочности) и толщину, достаточную для обеспечения конструктивной прочности;

б) ударную вязкость, достаточную для предотвращения хрупкого разрушения при низких температурах;

в) свариваемость, необходимую для получения сварных соединений высокого качества;

г) размеры, форму, обрабатываемость, отсутствие внутренних дефектов;

д) достаточно высокую стойкость против коррозии в воздухе и морской воде;

е) обеспечение Z-свойств.

Наиболее важными критериями для выбора стали являются прочность и ударная вязкость. Ударную вязкость выбирают исходя из необходимой прочности и толщины стали, а так же рабочей температуры. При изготовлении достаточно сложных сварных конструкций ПБУ возможно возникновение сварочных трещин на границе шва, в корне шва, в наплавленном металле, а так же слоистого растрескивания. Особенно эти явления могут иметь место при применении высокопрочных сталей. Для предотвращения этих дефектов необходимо исследовать свариваемость сталей и правильно выбирать сварочные материалы и режимы сварки. В качестве меры по борьбе с трещинообразованием используется подогрев материала при сварки. Температура, при которой прекращается растрескивание (трещинообразование), может быть принята за минимальную температуру подогрева. Разница в величинах подогрева для различных марок сталей может служить показателем уровня свариваемости стали.

Склонность стали к трещинообразованию в большой степени зависит от её химического состава. Для оценки свариваемости введён углеродный эквивалент сталей.

Формула Регистра Ллойда

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu + Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5}$$

Формула Регистра РФ

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

при $C_{экв} > 0,41$ требуется предварительный подогрев (по Регистру).

Взамен углеродистого эквивалента может определяться коэффициент, оценивающий склонность стали к образованию холодных трещин, определяемый по формуле

установок и судов, транспортирующих сжиженные газы с температурой до минус 60° С.

Размеры листов:

толщина от 10 до 20 мм с интервалом 0,5 мм,
от 20 до 40 мм с интервалом 1,0 мм,
ширина от 2,0 до 2,6 м с интервалом 0,1 м,
длина от 6,0 до 11,5 м.

Листы изготавливаются из стали электрошлакового переплава (ЭШП) и проверяются на сплошность ультразвуком.

Содержание элементов: углерод - (0.08-0.11)%, сера - 0.012%, фосфор - 0.015%.

Листы должны быть подвергнуты термической обработке - закалке с отпуском.

На листах толщиной 36 мм и более дополнительно определяется относительное сужение на образцах, выполненных в направлении толщины. Величина относительного сужения должна быть не менее 35 %.

Таблица 5-Механические свойства стали

Марка стали	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа.	Относительное удлинение δ_5 %	Работа удара Дж, при температуре	
				-40°С	-60°а
10ХН ДМФ-Ш	360	480-630	22	10	-
10ГИБ-Ш	360	480-630	22	-	10

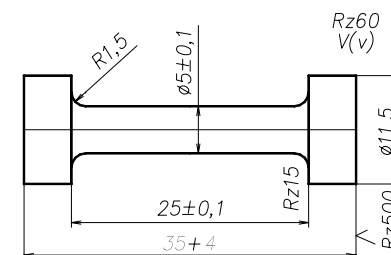


Рисунок 5 - Образец на растяжении для определения относительного сужения в направлении толщины листов толщиной 51-70 (35-50) мм

Термическая обработка производится в термических печах. Из-за размеров конструкция может быть допущена термическая обработка с помощью местного нагрева, послойная проковка сварных швов.

3) Сварные соединения элементов специальных конструкций, в которых могут возникнуть чрезмерные напряжения в направлении толщины, должны выполняться так, чтобы исключить возможность слоистого разрыва. При этом могут быть использованы:

- сварочные материалы с более низкой прочностью, чем основной металл;
- подогрев перед сваркой и после нее;
- последовательное наложение валиков, обеспечивающее снижение сварочных напряжений;
- наплавка перед сваркой материала с высокой пластичностью;
- контроль сварных соединений производится визуальным осмотром и неразрушаемыми методами:
- рентгенно- и гаммаграфированием,
- ультразвуковым, в объеме в зависимости от класса конструкции.

Все сварные швы элементов основных и специальных конструкций, которые становятся недоступными или труднодоступными в эксплуатации, подлежат неразрушающему контролю по всей длине.

Остальные швы контролируются в объеме, предусмотренном Правилами Регистра.

Сварные соединения, в которых могут возникнуть напряжения в направлении толщины, должны подвергаться ультразвуковому контролю.

1.5. Основные виды специальных сталей для плавучих буровых установок.

1) Прокат толстолистовой свариваемый корпусной из стали марок 10ХНДМФ-Ш и 10ГНБ-Ш для судостроения ТУ 14-1-2732-79 с повышенным сопротивлением слоистому разрыву. Предназначен, соответственно, для строительства плавучих буровых

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

Максимальное значение углеродистого эквивалента или P_{CM} подлежат согласованию с Регистром и должны быть включены в одобряемую техническую документацию на сталь.

К числу других факторов, влияющих на склонность стали к растрескиванию, относятся такие, как степень закрепления свариваемых элементов и содержание водорода.

Сварные соединения должны оставаться работоспособными практически неограниченное время, т.е. обладать необходимой прочностью, пластичностью и ударной вязкостью. Однако в обычных условиях на свойства сварных соединений отрицательное влияние оказывает тепло, передаваемое при сварке, снижая их механические свойства. Для уменьшения влияния этого фактора применяется подогрев металла перед сваркой и контроль количества подводимого тепла при сварке.

При сварке закалённых и отпущенных сталей не следует подводить тепла более, чем требуется для данной толщины листа, поскольку в противном случае зона сварного соединения с уменьшенной твёрдостью будет увеличиваться и вследствие этого прочность сварного соединения упадёт. Например, сталь 10ХСНД при гибке и правке допускается подогревать один раз до $T \leq 980^{\circ}C$.

Влияние интенсивности подвода тепла больше сказывается при сварке высокопрочных сталей.

При чрезмерном подводе тепла в процессе сварки ускоряется рост зерна и изменяется структура стали, что приводит к уменьшению ударной вязкости сварного соединения. Наиболее чувствительны к подводу тепла стали, содержащие большое количество легирующих элементов и обладающие более высокой прочностью. Наибольшее ухудшение свойств стали происходит по линии стыка.

Следовательно, необходимо ограничение подвода тепла при сварке листов в соответствии с характеристиками сварного

1.3.2. Требования к основным сталям для ПБУ

Для выбора материалов в зависимости от уровня и характера действующих напряжений, влияние возможного повреждения конструктивного элемента на прочность ПБУ в целом, конструкции ПБУ подразделяются на категории:

- основные - элементы конструкции, повреждение которых не вызовет полного разрушения конструкции, но приведет к выводу ее из эксплуатации до восстановления: обшивка наружная и несущие рамные связи верхнего корпуса, стабилизирующих колонн, раскосов и т.д.;

- специальные - элементы конструкции, повреждение которых способно вызвать полное разрушение конструкций всей ПБУ: узлы соединения раскосов и распоров стабилизирующих колон с верхним и нижними корпусами;

- второстепенные - прочие элементы конструкции, повреждения которых могут быть устранены на месте: внутренние элементы корпуса и понтонов.

Для каждого элемента корпуса назначение категории материала производится в зависимости от толщины рассматриваемого элемента конструкции и минимальной температуры материала, принятой в расчете (см. таблицу 4).

За минимальную температуру окружающей среды принимается самая низкая среднесуточная температура для района эксплуатации ПБУ за 10-летний период. Для конструкций, находящихся под водой, минимальная температура принимается - 2° С.

1.4. Сварные конструкции и соединения

1) Сварка конструкций ПБУ толщиной 20 мм и более из стали с эквивалентом углерода 0.41 и более должна выполняться с предварительным подогревом свариваемых кромок. Температура подогрева устанавливается в зависимости от химического состава, толщины и конкретных условий сварочных работ.

2) Сварные швы специальных и основных конструкций, сварных узлов сложной формы или с толщиной свариваемого металла 50 мм и более подлежат термической обработке после сварки.

Результаты исследований японской фирмы «Ниппон Стил» сталей для морских сооружений с пределом прочности от 300 до 1400 МПа показывают, что предел усталости возрастает пропорционально пределу прочности. Для сталей с пределом прочности $\sigma_B = 1000$ МПа и предел усталости составляет $\sigma_{уст} = 0,5 \cdot \sigma_B$.

Усталостная прочность сварных соединений в конструкции оказывается значительно ниже основного металла из-за концентраций напряжений, вызванных наличием усиления сварных швов.

Усталостную прочность сварных соединений можно повысить путём отрезки кромки (лицевой) поверхности усиления шва с помощью электрической дуги, полученной с применением вольфрамового электрода в среде защитного газа.

1.2. Слоистое разрушение в морских плавучих установках.

1.2.1. Общие положения.

Слоистое разрушение в сварных соединениях впервые в больших количествах было обнаружено при строительстве плавучих буровых установок в 60-е годы. В связи с этим был произведён ряд исследований, в т.ч. японской фирмой «Ниппон Стил» с 1968г. Результатом этих исследований явилась разработка ряда новых сталей, устойчивых к слоистому разрушению, как в Японии, так и в других странах (Швеция).

Морские сооружения, особенно стационарные, представляют собой трубчатые конструкции, включающие колонны, соединённые раскосами. Такие конструкции обеспечивают наименьшее волновое сопротивление и требуют при сварке наплавки большого количества металла в условиях высокой степени сжатия по толщине металла, что может привести к слоистому разрушению.

Слоистое разрушение характеризуется следующими признаками.

а) оно может проходить в стальных конструкциях, которые после ультразвукового контроля оцениваются как доброкачественные;

б) трещины распространяются вдоль включений, удлиняемых при прокатке;

в) трещины образуются под действием усадочных напряжений в направлении толщины листа (**Z**-направлении) в процессе сварки, обычно в основном металле в пределах зоны термического влияния;

г) трещины состоят из террас, параллельных поверхности листа и из стенок, соединяющих террасы. Эти террасы, содержащие включения в несколько раз, а то и сотен раз больше длин включений, т.е. трещины это не просто ниши для включений;

д) трещины обычно обнаруживаются на поздних стадиях сварки. Методов для полного устранения трещин в настоящее время не существует. Повышение температуры предварительного нагрева может предотвратить появление низкотемпературных трещин, связанных с присутствием водорода.

Устранить слоистое разрушение очень трудно, а результатом его часто является разрушение или повреждение конструкции.

1.2.2. Факторы, способствующие слоистому разрушению.

1) Наличие включений типа MnS , иногда SiO_2 или Al_2O_3 . Включения MnS легче проницаемы для ультразвука, чем SiO_2 , поэтому даже крупные включения трудно проверить ультразвуковым контролем. SiO_2 легко обнаруживается ультразвуковым методом, но слоистое разрушение происходит даже от мелких включений.

2) Содержание S в обычных пределах до 0,025% даже простое уменьшение содержания серы приводит к значительному улучшению.

Примеры слоистого разрушения в сварных швах и зависимость относительного сужения от содержания серы приведены на рисунках 3, 4.

- в зависимости от минимальной рабочей температуры конструкции и температуры испытаний на ударный изгиб **Z**-сталь делится на категории.

Таблица 2-Категории стали по Правилам Регистра

Категория	Температура испытаний на ударный изгиб, °C	Минимальная рабочая температура конструкции, °C
1	-20	-10
2	-40	-20
3	-60	-40

Таблица 3-Требуемое среднее значение работы удара.

Re МПа	235 24	315 32	355 36	390 40
KVL , Дж	27	31	34	39
KVT , Дж	18	21	24	26

5) Работа удара определяется на трех образцах, вырезанных вдоль (KVL) либо поперек (KVT) направления прокатки.

6) Термическая обработка.

Z-сталь поставляется после нормализации или после закалки и отпуска.

7) Испытания.

Для испытания **Z**-стали вырезается от каждого конца раската проба для изготовления образцов на растяжение в направлении толщины. Из каждой пробы изготавливаются и испытываются:

-один образец на растяжении;

-один комплект из 3-х образцов на ударный изгиб;

-один комплект из 3-х образцов на растяжение в направлении толщины;

- полуфабрикаты из **Z**-стали должны быть подвергнуты ультразвуковому контролю.

В 1979 г, разработаны и в 1983 г утверждены Правила классификации и постройки плавучих буров установок Регистра СССР, устанавливающие требования, вытекающие из специфики ПБУ и дополняющие Правила классификации и постройки морских судов. В этой связи на ПБУ распространяются все применимые требования указанных Правил морских судов, если они отсутствуют в Правилах ПБУ.

Это в полной мере относится и к разделу "Материалы".

В Правилах ПБУ особое внимание уделяется слоистому разрыву и **Z**-стали.

Под слоистым разрывом понимается разрушение элементов сварных конструкций, изготовленных из листового проката или труб, вследствие значительных сварочных или внешних нагрузок в направлении перпендикулярном к поверхности проката.

Z-сталь - сталь с гарантируемым уровнем пластических свойств в направлении толщины проката, которая предназначена для изготовления сварных конструкций и может воспринимать значительные напряжения, перпендикулярные к поверхности проката.

Требования к **Z**-стали.

1) Сталь должна изготавливаться под надзором Регистра.

Химический состав: $C = 0,18\%$, $P = 0,030\%$, $S = 0,010\%$.

2) Должен определяться эквивалент углерода и указываться в сертификате.

3) **Z**-сталь должна быть полностью раскислена измельчающими зерно элементами.

4) Механические требования:

- **Z**-сталь делится в зависимости от минимального требуемого предела текучести на сталь нормальной прочности ($Re < 300$ МПа) и сталь повышенной прочности ($Re > 300$ МПа), гарантированный предел текучести стали повышенной прочности не должен превышать 400 МПа;

- относительное сужение площади поперечного сечения **Z**-стали при испытании образцов, ось которых перпендикулярна к поверхности проката, не должно быть менее 30 %;

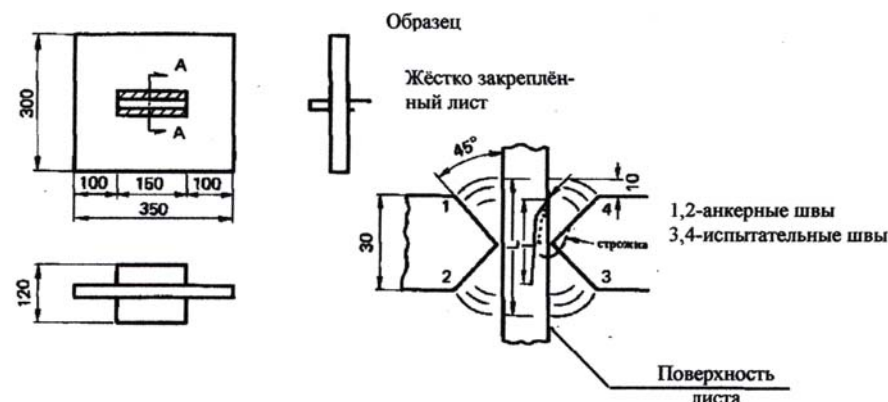


Рисунок 3 – Слоистые разрушения от трещин в корне шва

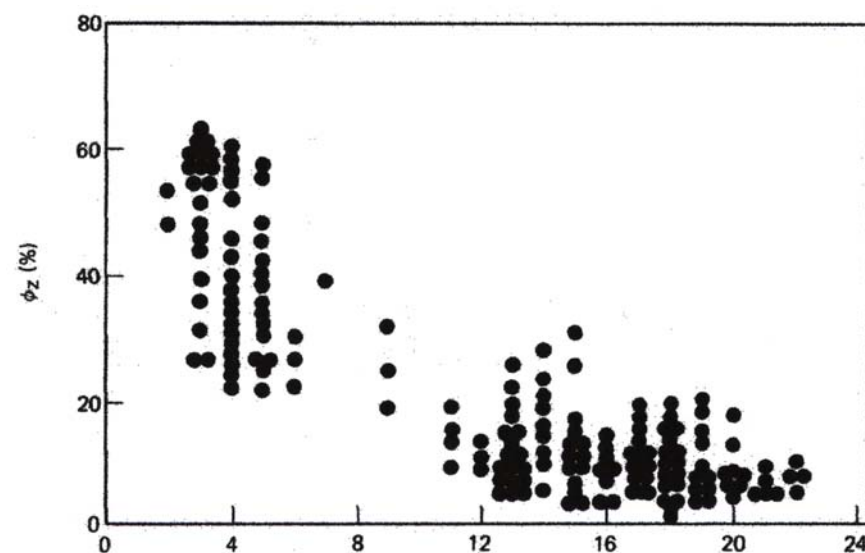


Рисунок 4-Содержание серы $\cdot 10^{-3} (\%)$

Для снижения склонности к слоистому трещинообразованию лучшие результаты даёт дегазация, поскольку большую роль играют окиси SiO_2 и Al_2O_3 .

Хорошие результаты даёт добавление редкоземельных элементов - они помогают изменить форму и распределение включений.

Примеры конструктивных узлов, в которых вероятно возникновение слоистого разрушения.

а) в перекрестном соединении, в листе, зажатом с двух сторон, наиболее вероятно слоистое разрушение;

б) в Т - образном соединении труб появлении трещин более вероятно чем, в плоских листах.

Это объясняется тем, что труба сохраняет жесткость в отношении изгибающих деформаций и, следовательно, ограничивает деформацию в направлении толщины листа, в связи с чем в трубных соединениях чаще возникает реактивное усилие, чем в плоских листах.

Опасность растрескивания возрастает, если в трубе установлена диафрагма, создающая местную жесткость.

В Т - образном соединении плоских листов вероятность растрескивания возрастает в случае ограничения деформации - увеличения толщины листа или установки на обратной стороне листа ребер жесткости.

Методы предотвращения слоистого разрушения можно разбить на три области: проектирование, изготовление, свойство металла. При строительстве морских плавучих сооружений для предотвращения растрескивания используются методы, связанные с технологией постройки и изменением свойств металла.

Если в области проектирования и изготовления возможности ограничены, то проблему необходимо решать за счет выбора материала. На зарубежных плавучих буровых установках количество стойкой против слоистого разрушения стали составляет от 200 до 700 т. На ППБУ "Шельф" отечественной постройки количество Z-стали около 110 т.

Таблица 1 - Меры предупреждения растрескивания материала

Причины слоистого разрушения	Меры предупреждения
Включения	Десульфуризация Вакуумная дегазация Добавка редкоземельных металлов
Напряжения в направлении Z	Изменение в конструкции сварного соединения, Прорезание канавок Метод наклепки промежуточного слоя Применение жертвенных валиков Применение низкопрочных присадочных прутков
Факторы охрупчивания, водородное охрупчивание, механическое старение	Применение безводородных присадочных прутков Сокращение содержания S, P, Предварительный нагрев, последующий нагрев

Плавучие буровые установки часто эксплуатируют в местах, удалённых от судоходных путей, по которым нет достаточных метеорологических и океанографических данных. Поэтому для таких установок трудно точно оценить ветро-волновые воздействия. Всё это способствует необходимости создания высококачественных материалов и повышению требований к обеспечению устойчивости к сложному разрушению. Однако, свойства стали всегда будут несколько хуже в направлении толщины, чем в других направлениях.

Это объясняется тем, что как бы не совершенствовалось качество материалов, сделать их нельзя свободными от включений. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при проектировании и изготовлении конструкций ПБУ.

1.3. Требования Правил классификации и постройки плавучих буровых установок к сталям

1.3.1. Требования к Z-сталям.