



РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

ЦИРКУЛЯРНОЕ ПИСЬМО

№ 314-01-1485ц

от 17.12.2020

Касательно:

изменений к Правилам классификации и постройки морских судов в связи со вступлением в силу унифицированного требования (УТ) МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)

Объект(ы) наблюдения:

суда в постройке

Дата вступления в силу:

01.01.2021

Действует до:

~~Действие продлено до:~~

Отменяет/изменяет/дополняет циркулярное письмо №

от

Количество страниц: 1 + 38

Приложения:

Приложение 1: информация об изменениях, внесенных циркулярным письмом

Приложение 2: текст изменений к частям XIII «Материалы» и XIV «Сварка»

Генеральный директор

К.Г. Пальников

Текст ЦП:

Настоящим информируем, что в Правила классификации и постройки морских судов при их переиздании в 2021 году вносятся изменения, приведенные в приложениях к настоящему циркулярному письму.

Необходимо выполнить следующее:

1. Довести содержание настоящего циркулярного письма до сведения инспекторского состава подразделений РС, заинтересованных организаций и лиц в регионе деятельности подразделений РС.
2. Применять положения настоящего циркулярного письма при рассмотрении и одобрении технической документации на суда, контракт на постройку или переоборудование которых заключен 01.01.2021 или после этой даты, при отсутствии контракта — на суда, кили которых заложены или которые находятся в подобной стадии постройки 01.01.2021 или после этой даты, а также при рассмотрении и одобрении технической документации судов со сроком поставки 01.01.2021 или после этой даты.

Перечень измененных и/или дополненных пунктов/глав/разделов:

часть XIII: пункт 2.2.11, главы 3.19 и 3.20

часть XIV: пункты 2.12.6, 2.12.7, 4.7.1.1 и 4.7.1.3, таблицы: 4.7.2.4, 4.7.3.3 и 4.7.4.2

Исполнитель: Юрков М.Е.

314

+7 (812) 312-85-72

Туманов А.С.

Система «Тезис» № 20-221186

**Информация об изменениях части XIII, внесенных циркулярным письмом
(для включения в Перечень изменений к соответствующему Изданию РС)**

№	Изменяемые пункты/главы/разделы	Информация по изменениям	№ и дата циркулярного письма, которым внесены изменения	Дата вступления в силу
1	Часть XIII, пункт 2.2.11	Введен новый пункт, содержащий требования к методике определения свойств остановки хрупких трещин стального листового проката толщиной от 50 до 100 мм с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
2	Часть XIII, глава 3.19	Текст главы полностью переработан с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
3	Часть XIII, глава 3.20	Глава исключена с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
4	Часть XIV, пункты 2.12.6 и 2.12.7	Введены новые пункты, содержащие требования к сварке сталей YP47 и ВСА с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
5	Часть XIV, пункт 4.7.1.1	Уточнены требования к сталям YP47 и ВСА с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
6	Часть XIV, пункт 4.7.1.3	Уточнены требования к сталям YP47 и ВСА с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
7	Часть XIV, таблица 4.7.2.4	Добавлена новая категория сварочных материалов с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
8	Часть XIV, таблица 4.7.3.3	Добавлена новая категория сварочных материалов с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021
9	Часть XIV, таблица 4.7.4.2	Добавлена новая категория сварочных материалов с учетом УТ МАКО W31 (Rev.2 Dec 2019)	314-01-1485ц от 17.12.2020	01.01.2021

ПРАВИЛА КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ, 2020,

НД № 2-020101-124

ЧАСТЬ XIII. МАТЕРИАЛЫ

1 Вводится новый пункт **2.2.11** следующего содержания:

«2.2.11 Методика определения свойств остановки хрупких трещин стального листового проката толщиной от 50 до 100 мм.

2.2.11.1 Метод испытания для определения вязкости разрушения при торможении хрупкой трещины, K_{ca} .

Для определения K_{ca} проводится разрушающее испытание образцов при котором посредством ударного нагружения инициируется хрупкая трещина от надреза на боковой стороне при заданном градиенте температуры испытываемого образца по ширине и с приложением статического нагружения в поперечном предполагаемому развитию трещины направлению (испытание на торможение трещины при определенном градиенте температуры).

Вязкость разрушения при торможении хрупкой трещины K_{ca} рассчитывается, используя коэффициент интенсивности напряжений, из значения приложенного напряжения и длины, пройденной трещиной до ее остановки. Это значение соответствует вязкости разрушения при остановки хрупкой трещины при температуре в точке остановки трещины (температура остановки). Методика получения и оценки K_{ca} при определенной температуре изложена в 2.2.11.2.

Для инициации хрупкой трещины допускается применять вспомогательный механизм нагружения согласно 2.2.11.3.

2.2.11.1.1 Область применения.

Требования 2.2.11.1 распространяются на методику испытаний для определения вязкости разрушения стали при торможении хрупкой трещины K_{ca} с использованием параметра механики разрушения. Они также распространяются на сталь корпусных конструкций толщиной свыше 50 мм, но не более 100 мм в соответствии с 3.2 и 3.19.

2.2.11.1.2 Определения и пояснения.

Условные обозначения, принятые в 2.2.11.1, и их значения приведены в табл. 2.2.11.1.2.

Таблица 2.2.11.1.2

Условное обозначение	Единицы измерения	Значение
a	мм	Длина остановленной трещины
E	Н/мм ²	Модуль упругости при растяжении
E_i	Дж	Работа удара
E_s	Дж	Энергия деформации, накопленная в испытываемом образце
E_t	Дж	Общая энергия деформации, накопленная в держателях и штифтовых фиксаторах
F	МН	Приложенная нагрузка
K	Н/мм ^{3/2}	Коэффициент интенсивности напряжений
K_{ca}	Н/мм ^{3/2}	Вязкость разрушения при торможении хрупкой трещины. Силовой параметр трещиностойкости — критическое значение коэффициента интенсивности напряжений, соответствующее торможению трещины, распространяющейся по хрупкому механизму в материале конкретной толщины.
L	мм	Длина испытываемого образца
L_p	мм	Расстояние между нагрузочными штифтами
L_{pc}	мм	Длина штифтового фиксатора
L_{tb}	мм	Длина держателя
T	°С	Температура или температура торможения
t	мм	Толщина испытываемого образца
t_{tb}	мм	Толщина держателя
t_{pc}	мм	Толщина штифтового фиксатора
W	мм	Ширина испытываемого образца
W_{tb}	мм	Ширина держателя
W_{pc}	мм	Ширина штифтового фиксатора
x_a	мм	Координата вершины магистральной трещины по ширине
x_{br}	мм	Координата вершины самой длинной ответвляющейся трещины по ширине
y_a	мм	Координата вершины магистральной трещины в направлении приложения напряжения
y_{br}	мм	Координата вершины самой длинной ответвляющейся трещины в направлении приложения напряжения
σ	Н/мм ²	Приложенное напряжение
σ_{y0}	Н/мм ²	Предел текучести при комнатной температуре

2.2.11.1.3 Испытательное оборудование.

Настоящие требования применяются к испытательным машинам, необходимым для проведения испытаний на торможение хрупкой трещины. Испытательная машина применяется для приложения статического усилия растяжения к образцу в сборе, а ударное приспособление используется для иницирования хрупкой трещины в испытываемом образце.

2.2.11.1.3.1 Испытательные машины.

2.2.11.1.3.1.1 Способ нагружения.

Для создания статического нагружения подготовленных образцов применяются испытательные машины с гидравлическим приводом.

Способ нагружения образца в сборе с использованием испытательной машины должен быть штифтового типа. Равномерное распределение статического напряжения по ширине проката достигается путем выравнивания центров нагрузочных штифтов с обеих сторон и средней оси образца в сборе.

2.2.11.1.3.1.2 Направления нагружения.

Нагружение должно быть ориентировано либо вертикально, либо по горизонтально. В случае горизонтального нагружения, плоскость прокатки должна быть ориентирована перпендикулярно горизонтальной плоскости.

2.2.11.1.3.1.3 Расстояние между нагрузочными штифтами.

Расстояние между нагрузочными штифтами должно составлять $3,4W$ или больше. Поскольку расстояние между нагрузочными штифтами оказывает влияние на снижение нагрузки при продвижении трещины, достоверность результатов испытаний определяется по методу оценки, описанному в 2.2.11.1.7.1.

2.2.11.1.3.2 Ударное приспособление и методы нанесения удара.

Ударное нагружение прикладывается к образцу в сборе посредством падающего груза или пневмомолота.

Клин должен обладать достаточной твердостью, предотвращающей пластическую деформацию при ударе. Длина клина должна быть больше или равна толщине испытываемого образца, а угол клина должен быть больше угла надреза, выполненного в испытываемом образце, при этом по своей форме клин должен быть способен раскрыть надрез в испытываемом образце.

2.2.11.1.4 Испытываемые образцы.

2.2.11.1.4.1 Форма испытываемых образцов.

Размеры в мм испытываемого образца показана на рис. 2.2.11.1.4.1. Диапазоны толщины, ширины и отношения толщины к ширине испытываемого образца приведены в табл. 2.2.11.1.4.1.

В общем случае длина испытываемого образца L должна быть больше или равна его ширине W .

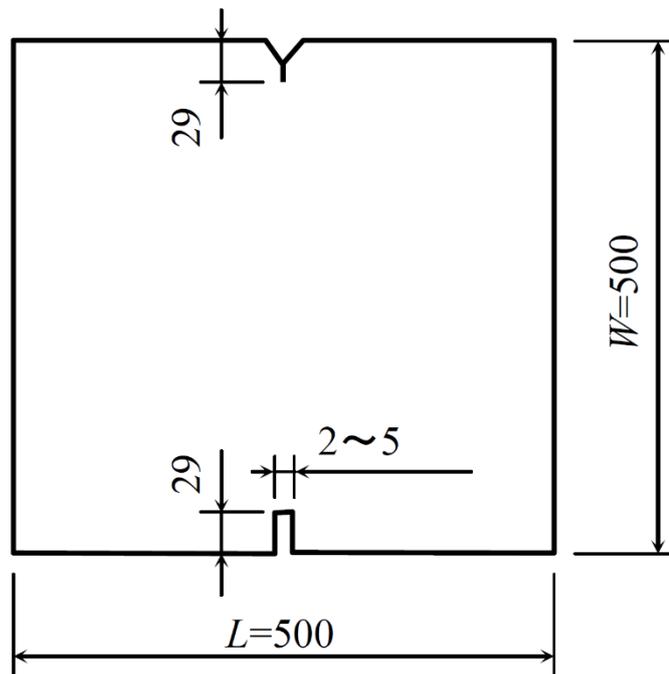


Рис. 2.2.11.1.4.1

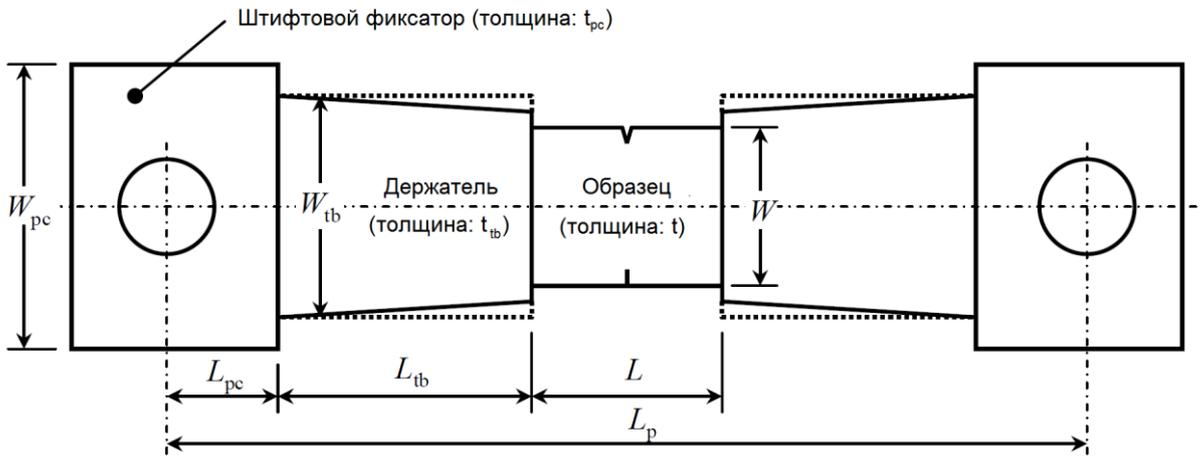
Таблица 2.2.11.1.4.1

Размеры испытываемых образцов

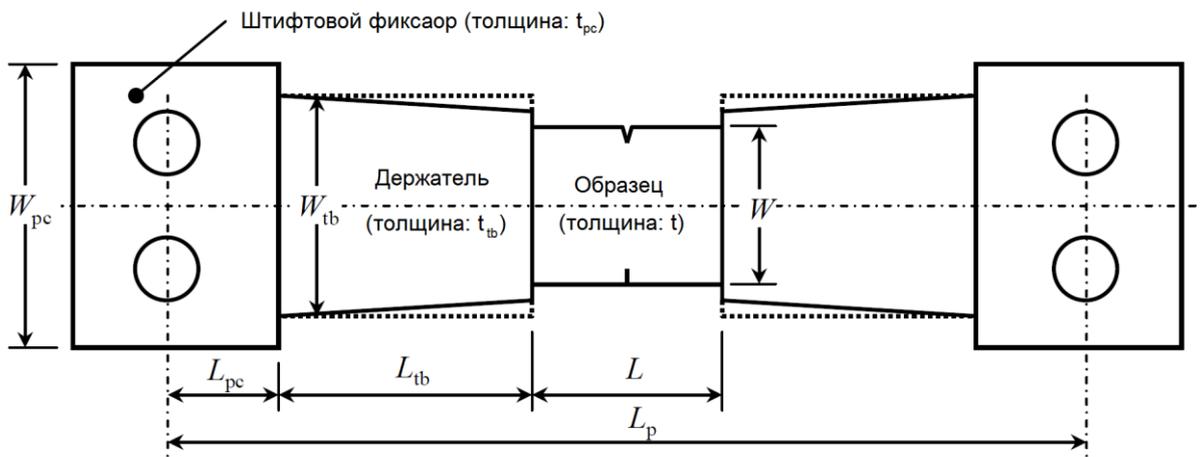
Толщина испытываемого образца, t	$50 \text{ мм} \leq t \leq 100 \text{ мм}$
Ширина испытываемого образца, W	$350 \text{ мм} \leq W \leq 1000 \text{ мм}$ (стандартная ширина: $W = 500 \text{ мм}$)
Отношение ширины и толщины испытываемого образца, W/t	$W/t \geq 5$

2.2.11.1.4.2 Формы держателей и штифтовых фиксаторов

Определения размеров держателей и штифтовых фиксаторов показаны на рис. 2.2.11.1.4.2-1. Примеры различных конструкций образцов в сборе приведены на рис. 2.2.11.1.4.2-2.

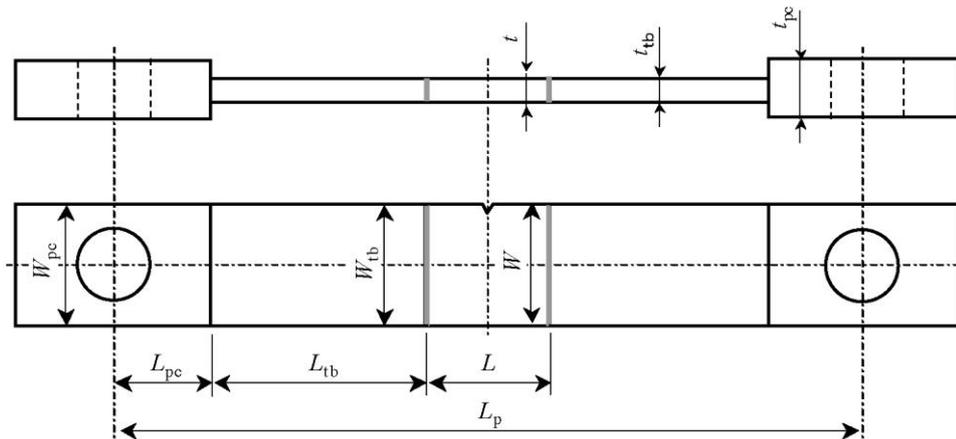


а)

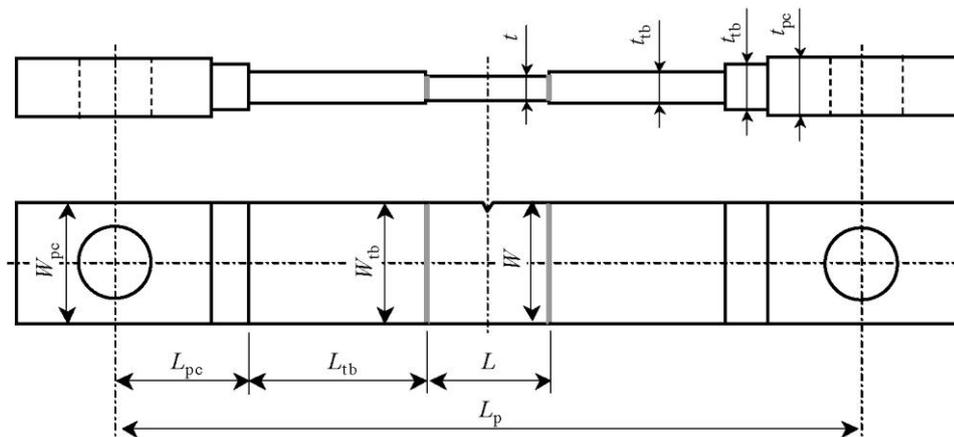


б)

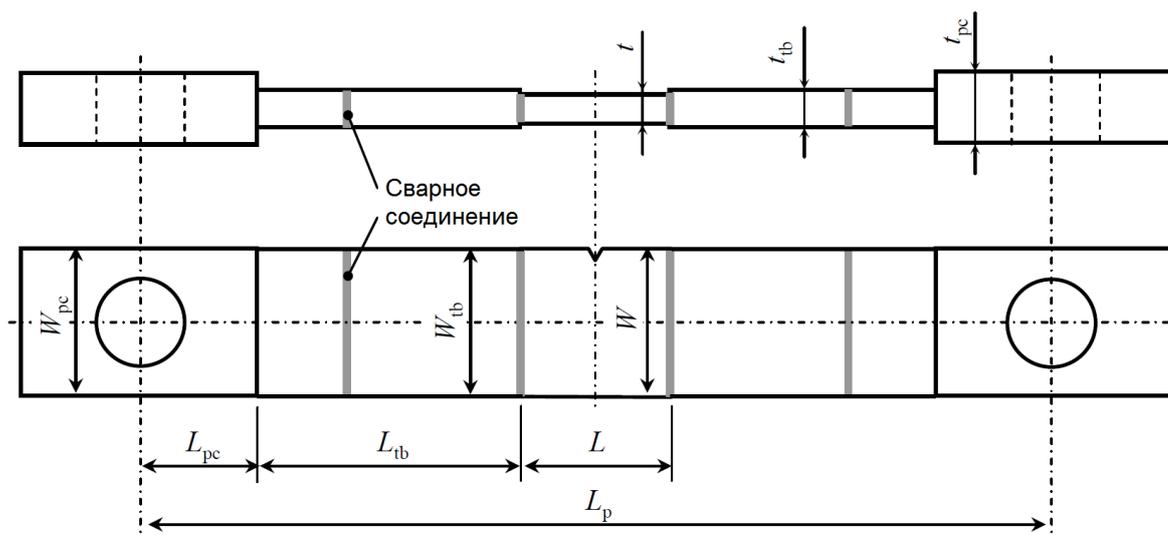
Рисунок 2.2.11.1.4.2-1 Определения размеров держателей и штифтовых фиксаторов:
а) — с одним штифтом; б) — с двумя штифтами



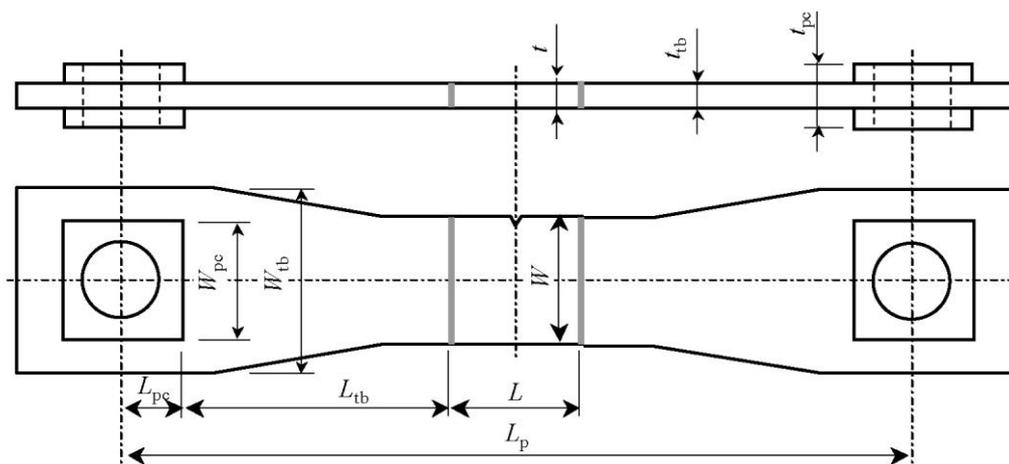
а) пример 1



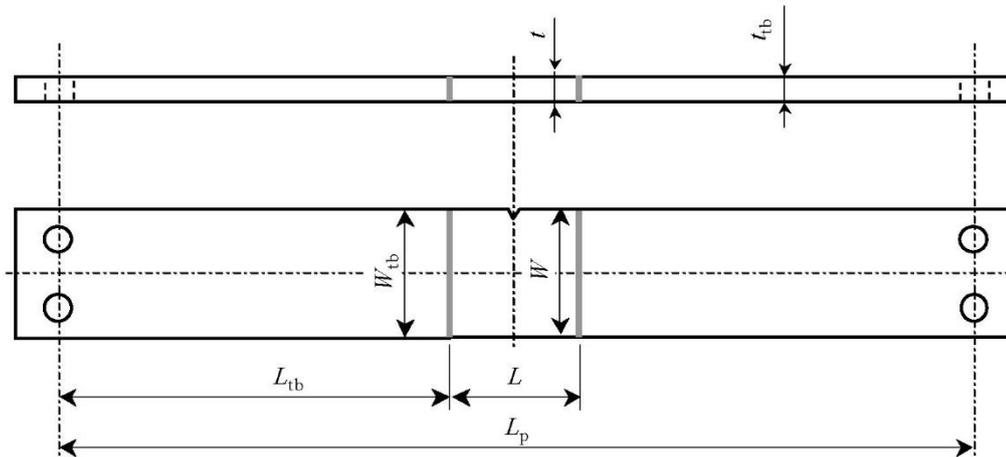
б) пример 2



в) пример 3



г) пример 4



д) пример 5

Рис. 2.2.11.1.4.2-2. Примеры форм держателей и штифтовых фиксаторов

2.2.11.1.4.2.1 Держатели.

Допуски на размеры держателей приведены в табл 2.2.11.1.4.2.1. Если держатели, прикрепленные к испытываемому образцу с обоих концов, различаются по длине, то в качестве длины держателя L_{tb} принимается меньшая.

Таблица 2.2.11.1.4.2.1

Допуски на размеры держателей

Толщина держателя, t_{tb}	$0,8t \leq t_{tb} \leq 1,5t$
Ширина держателя, W_{tb}	$W \leq W_{tb} \leq 2,0W$
Общая длина испытываемого образца и держателей, $L + 2L_{tb}$ (общая длина испытываемого образца и одного держателя $L + L_{tb}$)	$L + 2L_{tb} \geq 3,0W$ $(L + L_{tb} \geq 2,0W)$
Длина держателя/Ширина держателя	$L_{tb}/W \geq 1,0$

2.2.11.1.4.2.2 Штифтовые фиксаторы.

В общем случае ширина штифтового фиксатора W_{pc} должна быть больше или равна ширине держателя W_{tb} .

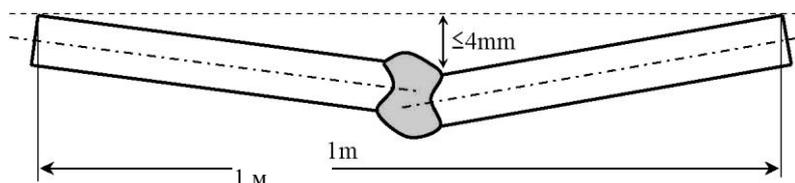
Штифтовые фиксаторы должны обладать достаточной прочностью для выдерживания нагрузки. Если штифтовые фиксаторы, закрепленные с обеих сторон образца в сборе асимметричны, в качестве длины штифтового фиксатора L_{pc} берут длину более короткого фиксатора.

Расстояние между штифтами L_p рассчитывается из уравнения $L_p = L + 2L_{tb} + 2L_{pc}$. В случае, показанном на рис 2.2.11.1.4.2-2, д, значение L_p рассчитывается, исходя из $L_{pc} = 0$.

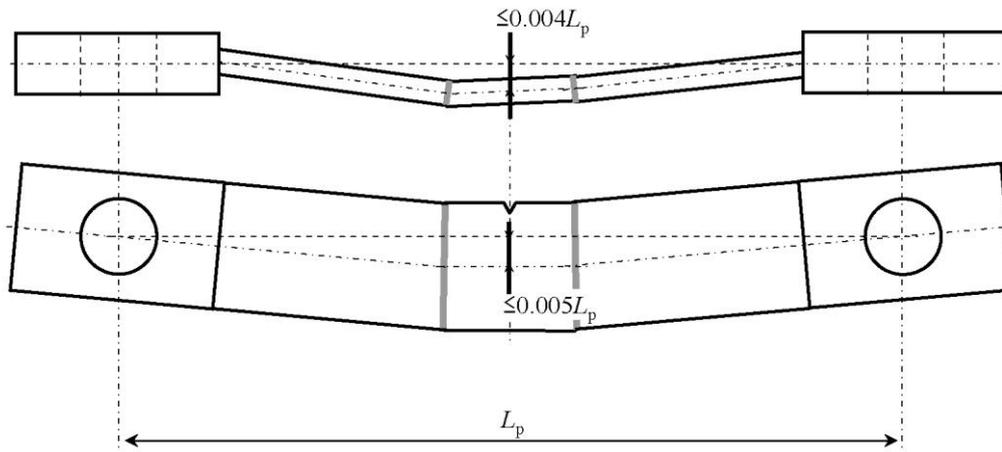
2.2.11.1.4.3 Сварка образца с держателями.

Испытываемый образец, держатели и штифтовые фиксаторы соединяются друг с другом сваркой. Сварные соединения должны обладать достаточной прочностью для предотвращения их разрушения в процессе испытаний.

Отклонения плоскостности, угловая деформация и линейное смещение сварного соединения между испытываемым образцом и держателем до и после предварительного нагружения не должно превышать установленных значений согласно рис. 2.2.11.1.4.3.



а)



б)

Рис. 2.2.11.1.4.3 Допуски отклонения формы сварных соединений образцов:
а — плоскостность сварного соединения между испытываемым образцом и держателем;
б — допуски отклонения осей нагружения

2.2.11.1.5 Методики испытаний для определения K_{ca}

2.2.11.1.5.1 Методы контроля температуры

Для измерения и контроля заданного градиента температуры по ширине образца к нему должно быть приварено не менее девяти термопар.

При определении градиента температуры должны быть учтены следующие условия:

.1 При ширине испытываемого образца в диапазоне от $0,3W$ до $0,7W$ градиент температуры должен находиться в диапазоне от $0,25$ до $0,35$ °C/мм. При измерении температуры в середине толщины испытываемого образца, температура должна быть выдержана в пределах отклонения ± 2 °C в течение 10 мин или более, а при измерении температуры поверхностей прокатки испытываемого образца, температура должны быть выдержана в пределах отклонения ± 2 °C в течение $10 + 0,1t$ минут или более с учетом времени, необходимого для охлаждения середины толщины образца.

.2 В середине ширины и в пределах ± 100 мм по длине испытываемого образца отклонение температуры в середине длины проката необходимо выдерживать в пределах ± 5 °C. В случае, когда измерения температуры середины длины проката не выполняются, в качестве значения температуры следует принимать среднее значение температуры в ближайшем к середине длины месте.

.3 В том же месте по ширине отклонение температуры на передней и задней поверхностях должны быть выдержаны в пределах допуска ± 5 °C.

2.2.11.1.5.2 Способы инициирования трещины.

Для инициирования трещины к испытываемому образцу необходимо приложить ударную нагрузку. При этом значение прикладываемой энергии вычисляется по формуле (2.2.11.1.5.2) и рис. 2.2.11.1.5.2

$$\frac{E_i}{t} \leq \min(1,2\sigma - 40, 200), \quad (2.2.11.1.5.2)$$

где \min означает меньшее из двух значений.

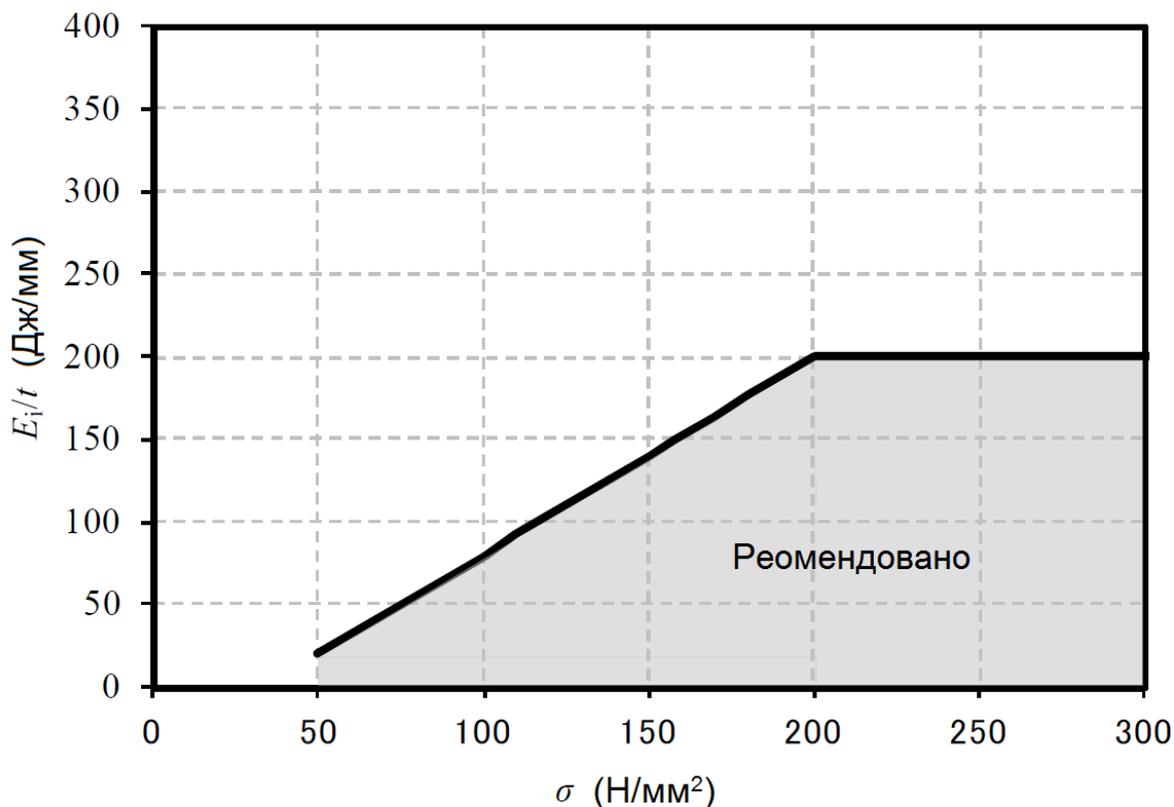


Рисунок 2.2.11.1.5.2

В случае приложения чрезмерной ударной энергии, результаты испытаний считаются недостоверными на основании критериев оценки, указанных в 2.2.11.1.7.2.

2.2.11.1.6 Методики испытаний на вязкость разрушения при торможении хрупкой трещины.

2.2.11.1.6.1 Порядок действий при предварительных испытаниях:

- .1 установить собранный образец в испытательную машину;
- .2 разместить на испытываемом образце устройство охлаждения и устройство нагрева в случае предусмотренного нагревания;
- .3 установить ударную установку, описанную в 2.2.11.1.3.2, на испытательную машину. При необходимости установить наковальню под образцом на оси приложения ударной нагрузки.

Примечание. Порядок действий 1 — 3 определяется испытательной лабораторией;

.4 после калибровки термопар приступить к охлаждению. Распределение температуры и время выдержки должны отвечать требованиям 2.2.11.1.5.1;

.5 настроить ударную установку согласно 2.2.11.1.3.2 так, чтобы она передавала испытываемому образцу заданную энергию;

.6 приложить к испытываемому образцу статическое усилие до тех пор, пока оно не достигнет заданного значения. Это усилие следует прикладывать после контроля температуры, чтобы избежать самопроизвольного образования трещины во время увеличения усилия. Скорость нагружения и приложенное напряжение должны удовлетворять описанным ниже условиям:

.6.1 скорость нагружения должна обеспечить сохранение заданных температур образца. При этом скорость должна быть ограничена во избежание превышения нагружения и преждевременного инициирования трещины.

.6.2 отношение приложенного напряжения к пределу текучести должно удовлетворять условию $\sigma \leq \frac{2}{3} \sigma_{Y0}$. Для получения корректных результатов рекомендуемое значение σ составляет 1/6 от σ_{Y0} или более;

.7 для инициирования трещины, непосредственно перед ударом допускается дополнительное охлаждение надреза при условии соблюдения интервала охлаждения

от 0,3W до 0,7W. Температурой испытаний в этом случае считается предварительно измеренная температура, зафиксированная в документах испытательной лаборатории;

.8 зафиксировать в протоколе испытаний значение статического усилия, отображаемое на контрольных органах испытательной машины.

2.2.11.1.6.2 Порядок действий при нагружении:

.1 выдержав заданное статическое усилие в течение 30 с или более, приложить ударную нагрузку клином, используя ударную установку. Если инициирование трещины случится до приложения ударной нагрузки, а точное значение усилия в момент инициирования определить невозможно, результаты испытания считаются недействительными;

.2 после удара зафиксировать в протоколе испытаний значение статического усилия, отображаемое на контрольных органах испытательной машины;

.3 если статическое усилие после ударного нагружения уменьшилось, инициирование трещины считается достигнутым.

Примечание. Допускается неограниченное увеличение количества ударных нагружений при условии отслеживания и сохранения температуры охлаждения на заданном уровне. Повторные ударные нагружения необходимо выполнять после контроля градиента температуры. Допускается изменение формы надреза в следствии пластической деформации. При этом должны выполняться требования 2.2.11.1.3.2;

.4 если наблюдаются инициирование, распространение и торможение трещины, следует снять статическое усилие.

2.2.11.1.6.3 Порядок действий после испытаний:

.1 переместить ударную установку, обеспечив доступ к образцу;

.2 переместить устройство охлаждения, снять термодатчики и тензодатчики;

.3 восстановить температуру образца до значения комнатной. Для этого испытываемый образец можно нагреть, используя газовую горелку или иное оборудование. Если требуется избежать нагрева поверхности разрушения, нагрев не допускается.

.4 после разрушения газовой резкой сварного соединения, вызвать образование вязкой трещины при необходимости с помощью испытательной машины. Удаление сварного соединения газовой резкой после применения испытательной машины допускается при образовании вязкого разрушения образца на достаточную длину.

2.2.11.1.6.4 Порядок действий при изучении поверхностей разрушения:

.1 сфотографировать поверхности разрушения и траекторию распространения трещины.

.2 измерить наибольшую длину остановленной хрупкой трещины до ее вершины в толщине образца и зафиксировать полученный результат. Длина трещины должна включать в себя длину надреза. Если трещина отклоняется от направления нагружения, следует определить длину остановленной трещины как длину проекции на плоскость, перпендикулярную к оси нагружения. В следующих случаях оценка результатов производится по методикам, применимым в каждом конкретном случае:

.2.1 повторное инициирование трещины.

Если после зафиксированной остановки, хрупкая трещина повторно начала продвижение в материале образца, искомой является длина первоначальной остановленной хрупкой трещины. При этом повторное образование трещин характеризуется как случай, когда трещина и повторно образовавшиеся трещины полностью разделены зоной растяжения, а хрупкие трещины, образующиеся из зоны растяжения, четко видны. В случае, когда трещина непрерывно распространяется частично по толщине образца, положение самой длинной хрупкой трещины определяется положением торможения;

.2.2 ветвление трещины.

В случае ветвления трещины длина проекции самой длинной ответвляющейся трещины на плоскость, перпендикулярную оси статического нагружения, определяется как длина ответвляющейся трещины. А именно: по координатам (x_a, y_a) положения вершины остановленной трещины и координатам (x_{br}, y_{br}) положения вершины ответвляющейся трещины, показанным на рис. 2.2.11.1.6.4.2.2, следует получить угол θ от оси x и найти x_a как длину остановленной магистральной трещины a . x — координата по ширине испытываемого образца, а боковая поверхность стороны приложения ударной нагрузки

имеет координату $x = 0$; y — координата по длине испытываемого образца, ось y принимается в плоскости прокатки и перпендикулярно оси x . Координата $y = 0$ принимается в плоскости ударного нагружения.

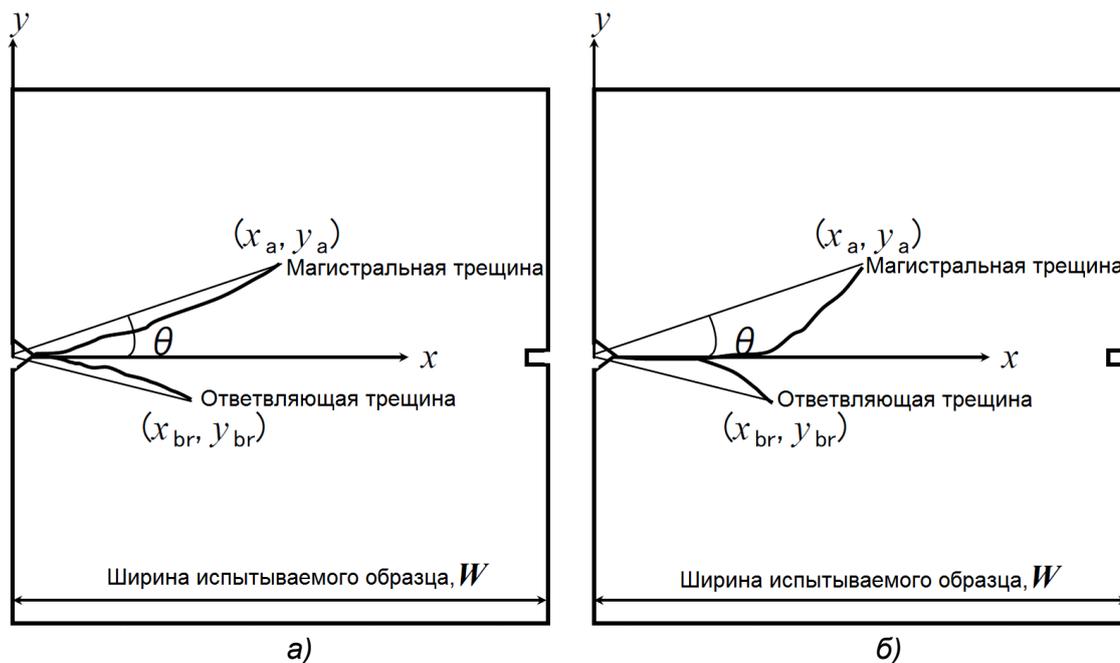


Рис. 2.2.11.1.6.4.2.2 Измерение длин магистральной и ответвляющейся трещин:
 а — случай ветвления от надреза; б — случай ветвления от магистральной трещины

.3 построить кривую распределения температур (линейный график, показывающий отношение температуры и расстояния от верхней поверхности испытываемого образца) на основе показания термопар и найти температуру T , соответствующую точке остановленной трещины в координате x_a .

2.2.11.1.7 Определение вязкости разрушения при торможении.

2.2.11.1.7.1 Оценка остановленной трещины.

Если остановленная трещина удовлетворяет всем описанным ниже условиям, (см. рис. 2.2.11.1.7.1), длина остановленной трещины, определенная по 2.2.11.1.6.4, считается искомой. Если хотя бы одно из условий не выполняется, вязкость разрушения при торможении, вычисленная по 2.2.11.1.7.3, во внимание не принимается.

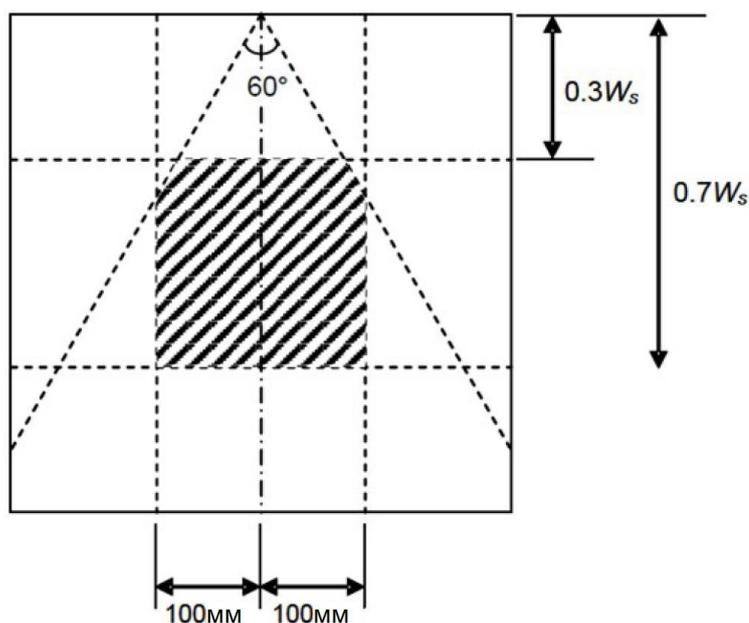


Рис. 2.2.11.1.7.1

2.2.11.1.7.1.1 Требования к траектории распространения трещины.

Вся траектория трещины — от места образования до места торможения — должна находиться в пределах заштрихованной области, показанной на рис. 2.2.11.1.7.1.1. Однако в случае, когда вершина магистральной трещины лежит в этих пределах, а часть магистральной трещины проходит за их границей, значение вязкости разрушения при торможении можно считать искомым, если температура в точке максимального отклонения магистральной трещины в направлении оси y ниже, чем температура в проекции этой точки на ось x , и при этом K магистральной трещины находится в диапазоне 5 % от K прямой трещины с той же a . Значение K_s магистральной трещины и прямой трещины находят по формуле

$$K = K_I \cos^3 \left(\frac{\varphi}{2} \right) + 3K_{II} \cos^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right) \sin \left(\frac{\varphi}{2} \right). \quad (2.2.11.1.7.1.1)$$

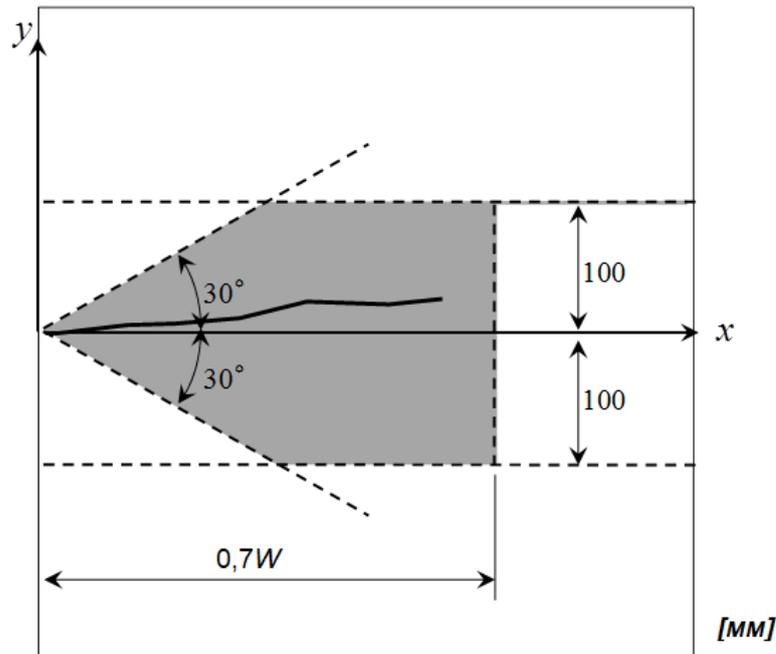


Рис. 2.2.11.1.7.1.1 Допустимые пределы траектории распространения магистральной трещины

2.2.11.1.7.1.2 Требования к длине остановленной трещины.

$$0,3 \leq \left(\frac{a}{W} \right) \leq 0,7; \quad (2.2.11.1.7.1.2-1)$$

$$\left(\frac{a}{t} \right) \geq 1,5; \quad (2.2.11.1.7.1.2-2)$$

$$\left(\frac{a}{L_p} \right) \leq 0,15. \quad (2.2.11.1.7.1.2-3)$$

Примечание. Формула (2.2.11.1.7.1.2.3) учитывает минимальное влияние снижения усилия в центре образца, причиной которого может быть распространение трещины и отражение волны напряжения на двух торцах образца. Применение формулы (2.2.11.1.7.1.2.3) необязательно при условии, если деформация и длина трещины были измерены в динамическом режиме, и значение деформации в момент торможения составляет 90 % и более от деформации образца, измеренной в статических условиях непосредственно перед образованием трещины.

2.2.11.1.7.1.3 Требования к прямизне трещины.

$$|y_a| \leq 50 \text{ мм}. \quad (2.2.11.1.7.1.3)$$

Результат считается искомым, если $50 \text{ мм} < |y_a| \leq 100 \text{ мм}$ и $|\theta| \leq 30^\circ$ и если температура в точке с координатами $x = 0,5W$ и $y = \pm 100 \text{ мм}$ снижается в пределах $\pm 2,5^\circ \text{C}$ относительно температуры в точке с координатами $x = 0,5W$ и $y = 0$.

2.2.11.1.7.1.4 Требования к ветвлению трещины.

$$\left(\frac{x_{br}}{x_a}\right) \leq 0,6. \quad (2.2.11.1.7.1.4)$$

2.2.11.1.7.2 Оценка работы удара при ударном нагружении

Работа удара должна удовлетворять формуле (2.2.11.1.7.2-1). В противном случае значение вязкости разрушения при торможении, полученное по формулам (2.2.11.1.7.3-1) и (2.2.11.1.7.3-2), недействительно.

Условия, касающиеся работы удара:

$$\frac{E_i}{E_s + E_t} \leq \frac{5a - 1050 + 1,4W}{0,7W - 150}, \quad (2.2.11.1.7.2-1)$$

где $0,3 \leq \left(\frac{a}{W}\right) \leq 0,7$;

переменные имеют следующие единицы измерения: a (мм) и W (мм);

E_i – находится из уравнения

$$E_i = mgh; \quad (2.2.11.1.7.2-2)$$

E_s – находится из уравнения

$$E_s = \frac{10^9 F^2 L}{2E W t}; \quad (2.2.11.1.7.2-3)$$

E_t – находится из уравнения

$$E_t = \frac{10^9 F^2}{E} \left(\frac{L_{tb}}{W_{tb} t_{tb}} + \frac{L_{pc}}{W_{pc} t_{pc}} \right). \quad (2.2.11.1.7.2-4)$$

Примечания: 1. Если условия формулы (2.2.11.1.7.2-1) не удовлетворяются, влияние работы удара на коэффициент интенсивности напряжений слишком велико, и значит, значение вязкости разрушения при торможении будет неточным.

2. Если используются держатели ступенчатого типа, как показано на рис. 2.2.11.1.4.2-2, б, следует рассчитать энергию деформации каждого держателя по формуле (2.2.11.1.7.2-3) и затем сложить полученные значения.

3. Если держатели по ширине заужены (см. рис. 2.2.11.1.4.2-2, а), следует рассчитать энергию деформации на основании статической теории упругости.

Приведенные переменные имеют следующие единицы измерения: E_s (Дж), E_t (Дж), F (МН), E (Н/мм²), L (мм), W (мм) и t (мм).

2.2.11.1.7.3 Расчет вязкости разрушения при торможении.

Значение вязкости разрушения при торможении K_{ca} при температуре T вычисляется по формуле (2.2.11.1.7.3-1), используя длины остановленной трещины a и приложенное напряжение σ , определенное в 2.2.11.1.7. Рассчитывается значение σ по формуле (2.2.11.1.7.3-2).

$$K_{ca} = \sigma \sqrt{\pi a} \left[\frac{2W}{\pi a} \tan \left(\frac{\pi a}{2W} \right) \right]^{1/2}; \quad (2.2.11.1.7.3-1)$$

$$\sigma = \frac{10^6 F}{W t}, \quad (2.2.11.1.7.3-2)$$

где переменные имеют следующие единицы измерения: F [МН], W (мм) и t (мм).

Если условия, заданные в 2.2.11.1.7.1 и 2.2.11.1.7.2, не выполняются, значение K_{ca} , полученное по формуле (2.2.11.1.7.3.1), не принимается во внимание.

2.2.11.1.8 Отчетные документы.

Протокол должен оформляться в соответствии с шаблоном (см. табл. 2.2.11.1.8). Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

.1 испытываемый материал: Тип стали и предел текучести при комнатной температуре;

.2 испытательная машина: Производительность испытательной машины;

.3 размеры испытываемого образца: Толщина, ширина, длина, угловая деформация и линейное смещение;

.4 размеры образца в сборе: Толщина держателя, ширина держателя, длина собранного образца вместе с держателями и расстояние между нагрузочными штифтами;

.5 Условия испытаний: Приложенное усилие, приложенное напряжение, градиент температуры, работа удара и отношение работы удара к энергии деформации,

накопленной в образце в сборе (сумма энергии деформации испытываемого образца и энергии деформации держателя);

.6 результаты испытаний:

.6.1 оценка торможения: длина трещины, наличие или отсутствие ветвления трещины, угол отклонения магистральной трещины, наличие или отсутствие повторного инициирования трещин и температура торможения;

.6.2 значение вязкости разрушения при торможении;

.7 распределение температуры в момент удара: Положение термодпар, значение температуры и распределение температуры;

.8 фотографии испытываемого образца: Траектория распространения трещины (с одной стороны) и поверхность хрупкого разрушения (на обеих половинах разрушенного образца)

.9 результаты динамических измерений: Динамика скорости распространения трещины и изменение деформации на штифтовых фиксаторах (по согласованию с Регистром).

Таблица 2.2.11.1.8

Протокол результатов испытаний на торможение хрупкой трещины

Пункт	Описание	Условное обозначение	Условия/ Результаты	Ед. изм.	Зачет/ Незачет	
1. Испытываемый материал	Тип стали	—		—	—	
	Предел текучести при комнатной температуре	σ_{Y0}		Н/мм ²	—	
2. Испытательное оборудование	Производительность испытательной машины	—		МН	—	
3. Размеры испытываемого образца	Толщина	t		мм		
	Ширина	W		мм		
	Длина	L		мм		
	Угловая деформация + линейное смещение	—		мм/м		
4. Размеры собранного образца	Толщина держателя	t_{tb}		мм		
	Ширина держателя	W_{tb}		мм		
	Длина испытываемого образца вместе с держателем	$L + L_{tb}$		мм		
	Расстояние между нагрузочными штифтами	L_p		мм		
5. Условия испытаний	Приложенное усилие	F		МН		
	Приложенное напряжение	σ		Н/мм ²		
	Градиент температуры	—		°С /мм		
	Работа удара	E_i		Дж		
	Отношение работы удара к энергии деформации, накопленной в собранном образце	$E_i/(E_s+E_i)$		—		
6. Результаты испытаний	Оценка распространения трещины/ торможения	Длина трещины	a		мм	
		Наличие/отсутствие ветвления трещины	—		—	—
		Отношение длины ответвляющейся трещины к длине магистральной трещины	X_{br}/X_a		—	
		Угол магистральной трещины	θ		градус (°)	
		Наличие/отсутствие повторного образования трещины	—		—	

Пункт	Описание	Условное обозначение	Условия/ Результаты	Ед. изм.	Зачет/ Незачет
	Температура в месте торможения трещины	T		°С	
	Значение вязкости разрушения при торможении	K_{ca}		Н/мм ^{3/2}	
7. Распределение температуры в момент удара	Место измерения температуры	—	См. приложение	—	—
	Температура в каждом месте измерения температуры	—	См. приложение	°С	—
	Кривая распределения температуры	—	См. приложение	—	
8. Фотографии испытуемого образца	Траектория распространения трещины	—	См. приложение	—	
	Поверхность хрупкого разрушения (с обеих сторон)	—	См. приложение	—	
9. Результаты динамических измерений	Динамика скорости распространения трещины	—	См. приложение	—	
	Изменение деформации на штифтовых фиксаторах	—	См. приложение	—	

2.2.11.2 Метод определения значения K_{ca} при конкретной температуре и оценка результатов.

2.2.11.2.1 Общие положения.

Настоящие требования распространяются на метод проведения серии испытаний, указанных в 2.2.11.1, с целью определения значения K_{ca} при конкретной температуре T_d .

2.2.11.2.2 Метод.

Ряд экспериментальных данных показывают зависимость значения K_{ca} от температуры торможения, которая выражена формулой (2.2.11.2.2), где T_K (К) (T (°С) + 273), c и K_0 — постоянные величины:

$$K_{ca} = K_0 \exp\left(\frac{c}{T_K}\right). \quad (2.2.11.2.2)$$

Значение вязкости разрушения при торможении при необходимой температуре T_D (К) можно найти следующим образом:

- .1 найти как минимум четыре значения K_{ca} , удовлетворяющих требованиям Правил;
- .2 путем аппроксимации $\log K_{ca}$ с помощью линейного выражения $1/T_K$ определить коэффициенты $\log K_0$ и c для данных, упомянутых выше, методом наименьших квадратов

$$\log K_{ca} = \log K_0 + c \frac{1}{T_K}; \quad (2.2.11.2.2.2)$$

.3 найти значение $(K_{ca}/K_0) \cdot \exp(c/T_K)$ для каждого из четырех значений. Если количество значений за пределами диапазона от 0,85 до 1,15 не превышено, метод наименьших квадратов, используемый в 2.2.11.2.2.2 считается удовлетворительным. Это целое число, полученное в результате округления в меньшую сторону (количества всех значений, разделенного на 6). Если это условие не выполняется, следует выполнить дополнительные испытания для получения как минимум еще двух значений и применить к ним формулу (2.2.11.2.2.2).

.4 значение $K_0 \cdot \exp(c/T_D)$ определяется как расчетное значение K_{ca} при T_d . Расчетное значение температуры, соответствующее конкретному значению K_{ca} , можно найти по равенству $T_K = c/\log(K_{ca}/K_0)$. Если условие 2.2.11.2.2.3 не выполняется, эти расчетные значения следует рассматривать как контрольные.

2.2.11.2.3 Оценка результатов.

Аппроксимация прямыми отрезками графика Аррениуса действительных значений K_{ca} методом интерполяции должна отвечать условиям 2.2.11.2.2.1 и 2.2.11.2.2.2.

2.2.11.2.3.1 Оцениваемая температура K_{ca} (т.е. –10 °С) находится между верхним и нижним пределами температуры торможения, при этом значение K_{ca} , соответствующее

оцениваемой температуре, не ниже требуемого значения K_{ca} (например, $6000 \text{ Н/мм}^{3/2}$ или $8000 \text{ Н/мм}^{3/2}$), как показано на рис. 2.2.11.2.3.1.

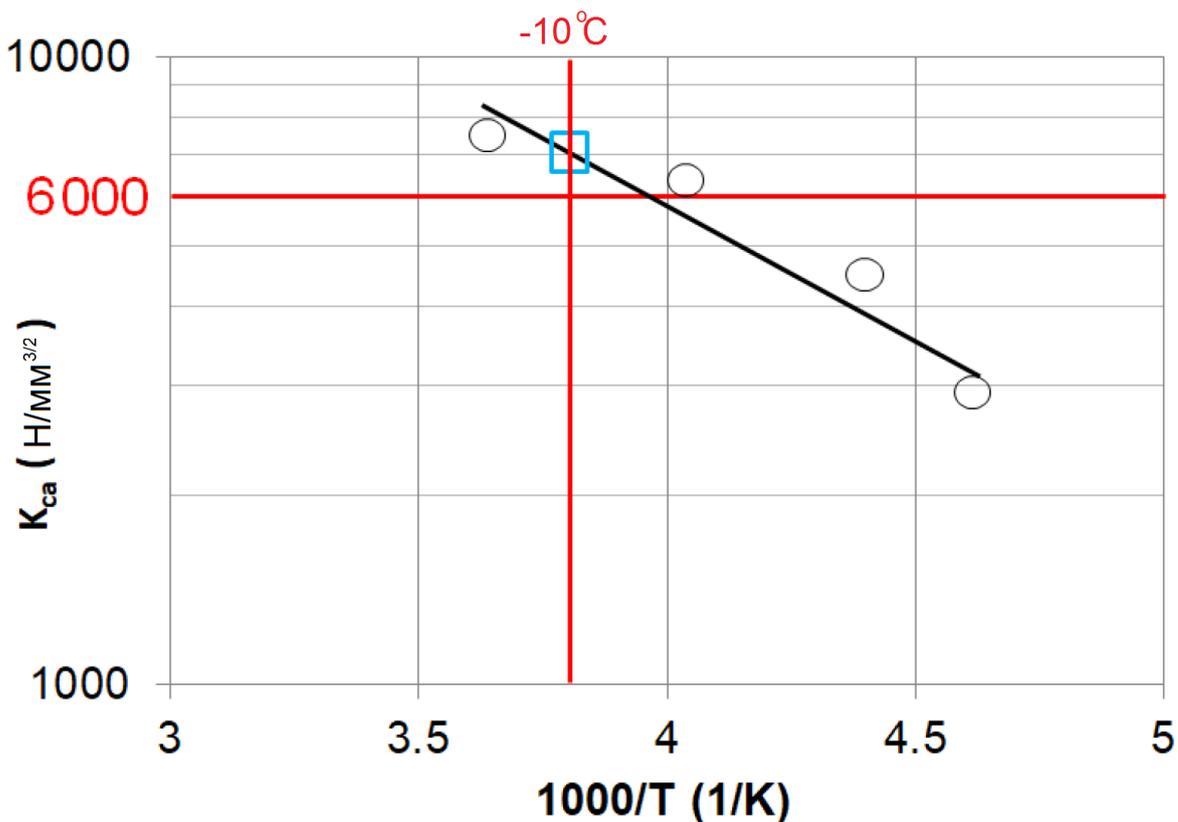
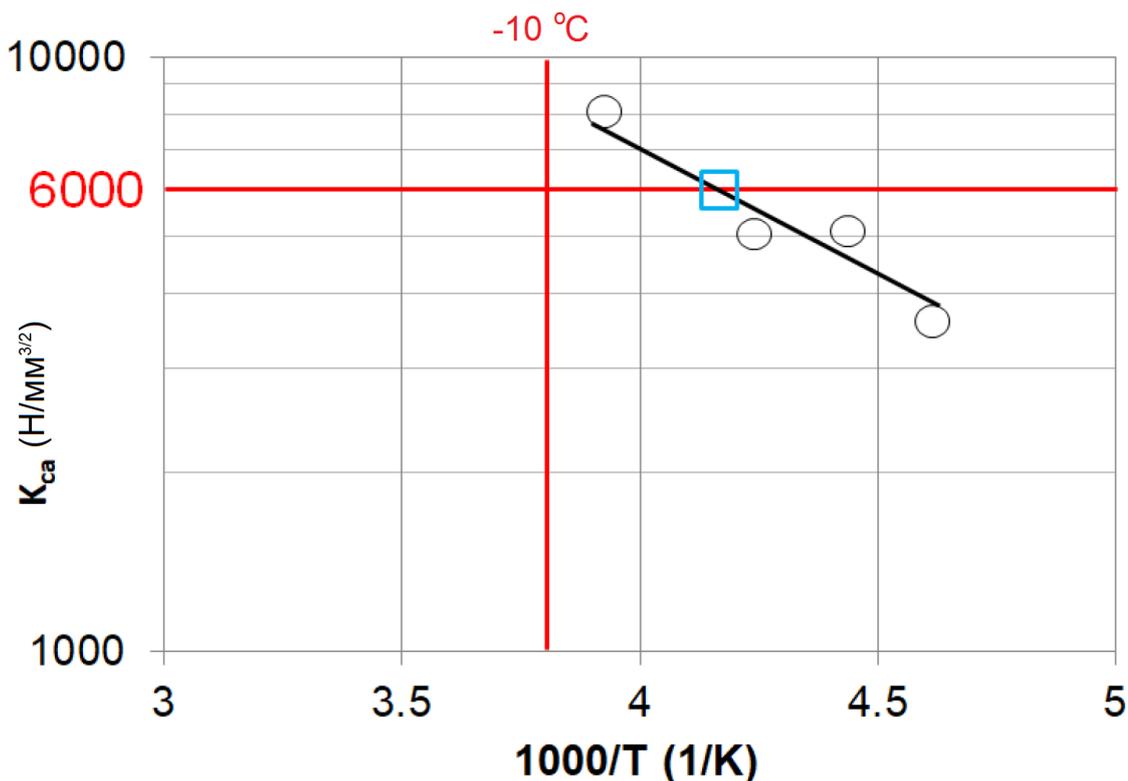


Рис. 2.2.11.2.3.1 Пример оценки K_{ca} при температуре -10°C

2.2.11.2.3.2 Температура, соответствующая требуемому значению K_{ca} (например, $6000 \text{ Н/мм}^{3/2}$ или $8000 \text{ Н/мм}^{3/2}$), находится между верхним и нижним пределами температуры торможения, при этом температура, соответствующая требуемому значению K_{ca} не превышает оцениваемую температуру (т.е. -10°C), как показано на рис. 2.2.11.2.3.2.



Если требования 2.2.11.2.3 не выполняются, предусматривается проведение неограниченное количество повторных испытаний до выполнения предъявляемых требований.

2.2.11.3 Испытания на торможение при двойном приложении растягивающего усилия.

2.2.11.3.1 Общие положения.

Образец для испытаний на торможение хрупкой трещины при двойном приложении растягивающего усилия состоит из части испытываемого листа и вспомогательного нагрузочного держателя. Лист является объектом испытаний для оценки вязкости разрушения при торможении хрупкой трещины. Вспомогательный нагрузочный держатель служит для образования трещины и способствует тому, чтобы хрупкая трещина распространилась внутрь основной пластины. После приложения к испытываемому листу заданного растягивающего усилия и установления градиента температуры, к вспомогательному нагрузочному держателю прикладывают усилие с помощью вспомогательного устройства нагружения чтобы вызвать образование хрупкой трещины и ее распространение в основной лист. Вязкость разрушения при торможении оценивается по температуре торможения и длине трещины.

Узкая соединительная часть между листом и вспомогательным нагрузочным держателем предназначена для уменьшения влияния напряжений растяжения от вспомогательного нагрузочного держателя на испытываемый лист.

Значения вязкости разрушения при торможении, полученные этим методом, можно рассматривать как равнозначные результатам, полученным при испытаниях на вязкость разрушения при торможении хрупкой трещины, описанных в 2.2.11.1.

Требования, установленные в 2.2.11.1, распространяются и на условия, не упомянутые в 2.2.11.3.

2.2.11.3.2 Форма испытываемых образцов.

Формы образца испытаний на торможение при двойном приложении растягивающего усилия в целом и вспомогательного нагрузочного держателя показаны на рис 2.2.11.3.2. Положения 2.2.11.1.4.2 относятся к форме держателей и штифтовых фиксаторов.

Примечание. Из-за того, что соединительная часть довольно узкая, даже небольшое отклонение трещины может помешать трещине пройти в основную пластину. Оптимальная форма вспомогательного нагрузочного держателя зависит от типа стали и условий испытаний.

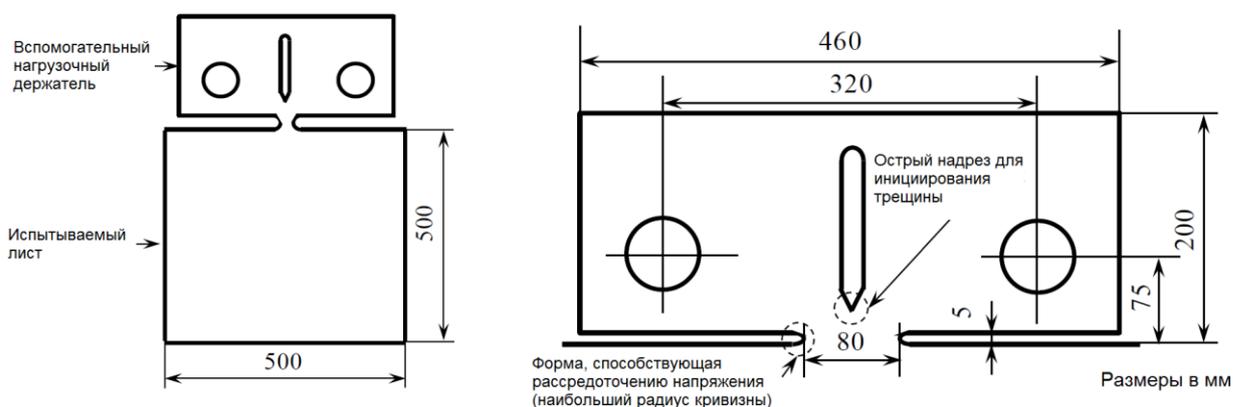


Рис. 2.2.11.3.2 Пример формы вспомогательного нагрузочного держателя

2.2.11.3.3 Температурный режим и методы контроля температуры.

Требования к градиенту температуры и методы их создания описаны в 2.2.11.1.5. Кроме того, в процессе испытаний на торможение при двойном приложении растягивающего усилия вспомогательный нагрузочный держатель также подлежит

охлаждению. Охлаждение вспомогательного нагрузочного держателя выполняется без воздействия на градиент температуры листа. Как и при охлаждении испытываемых образцов по методу, описанному в 2.2.11.1, охлаждение можно выполнить с помощью холодильной установки и охлаждающего вещества. Температуру вспомогательного нагрузочного держателя можно измерить с помощью термодатчиков в соответствии с 2.2.11.1.

2.2.11.3.4 Метод вспомогательного нагружения.

Для приложения усилия к вспомогательному нагрузочному держателю используется вспомогательное устройство нагружения. Вспомогательное устройство нагружения должно соответствовать следующим требованиям.

2.2.11.3.4.1 Способы фиксации вспомогательного устройства нагружения.

В целях исключения приложения дополнительного усилия к образцу, вспомогательное устройство нагружения должно удерживаться на месте соответствующим образом. Предусматривается подвесной монтаж или монтаж на горизонтальном столе, таким образом чтобы обеспечить степени свободы установки, исключая лишние компоненты вектора нагружения. Подвесной метод предполагает подвешивание и удержание на месте вспомогательного устройства нагружения с помощью грузоподъемного устройства или аналогичного оборудования. При монтаже на горизонтальном столе вспомогательное устройство нагружения приподнимают и фиксируют на месте с помощью рамы или аналогичного оборудования.

2.2.11.3.4.2 Система нагружения.

Рекомендуемым способом приложения усилия к вспомогательному нагрузочному держателю является система нагружения гидравлического типа. Положения 2.2.11.1.4.2 относятся к форме держателей и штифтовых фиксаторов.

2.2.11.3.4.3 Способ нагружения.

Способ нагружения вспомогательного нагрузочного держателя должен быть штифтового типа. Применять любой другой способ, кроме штифтового, допускается по согласованию с Регистром. К скорости нагружения требования не устанавливаются.

2.2.11.4 Требования к выполнению изотермических испытаний на температуру торможения трещины (САТ).

2.2.11.4.1 Область применения.

2.2.11.4.1.1 Область применения 2.2.11.4 соответствует определению, данному в 3.19.

2.2.11.4.1.2 Положения 2.2.11.4 устанавливают требования к методикам и условиям проведения изотермических испытаний на торможение трещины, позволяющие получить результаты испытаний в изотермических условиях и установить температуру торможения хрупкой трещины (САТ). Действие 2.2.11.4 распространяется на стали толщиной более 50 мм, но не более 100 мм.

2.2.11.4.1.3 Данный метод предполагает применение равной распределенной температуры в испытываемом образце, подлежащем оценке. Если в 2.2.11.4 не указано иное, все остальные параметры испытаний должны быть в соответствии с 2.2.11.1.

2.2.11.4.1.4 В табл. 3.19.2.2 приводятся требования к характеристике торможения хрупкой трещины, описываемой с помощью температуры торможения трещины (САТ).

2.2.11.4.1.5 Перед проведением испытаний изготовитель должен предоставить Регистру методику испытаний для согласования.

2.2.11.4.2 Условные обозначения и их значения.

2.2.11.4.2.1 Требования табл. 2.2.11.4.2.1 дополняют табл. 2.2.11.1.2, в таблице представлены условные обозначения, относящиеся к изотермическим испытаниям.

Таблица 2.2.11.4.2.1

Дополнительная система обозначений к таблице 2.2.11.1.2

Условное обозначение	Ед. изм.	Значение
t	мм	Толщина испытываемого образца
L	мм	Длина испытываемого образца
W	мм	Ширина испытываемого образца
a_{MN}	мм	Длина надреза на краю образца

Условное обозначение	Ед. изм.	Значение
L_{SG}	мм	Длина канавки на боковой поверхности от края образца. L_{SG} определяется как длина канавки с постоянной глубиной, за исключением изогнутого участка по глубине в конце боковой канавки
d_{SG}	мм	Глубина боковой канавки на участке с постоянной глубиной
L_{EB-min}	мм	Минимальная длина между краем образца и передней частью зоны повторного плавления при электронно-лучевой плавке
$L_{EB-s1, -s2}$	мм	Длина между краем образца и передней частью зоны повторного плавления при электронно-лучевой плавке, которая появляется на обеих боковых поверхностях образца
L_{LTG}	мм	Длина зоны локального градиента температуры по траектории хрупкой трещины
a_{arrest}	мм	Длина остановленной хрупкой трещины
T_{target}	°С	Искомая температура испытаний
T_{test}	°С	Определенная температура испытаний
T_{arrest}	°С	Искомая температура испытаний, при которой наблюдается торможение хрупкой трещины, соответствующей критериям требований
σ	Н/мм ²	Приложенное испытательное напряжение в поперечном сечении $W \times t$
$SMYS$	Н/мм ²	Заданный минимальный предел текучести испытываемой категории стали, подлежащего освидетельствованию
CAT	°С	Температура торможения трещины, минимальная температура, T_{arrest} , при которой останавливается распространение хрупкой трещины

2.2.11.4.3 Испытательное оборудование

2.2.11.4.3.1 Используемое испытательное оборудование должно быть гидравлического типа и иметь достаточную производительность для создания нагрузки на растяжение, эквивалентной 2/3 величины $SMYS$, характерной для утверждаемой категории стального проката.

2.2.11.4.3.2 Система контроля температуры должна быть рассчитана на поддержание температуры в заданной области образца в пределах допуска ± 2 °С относительно номинальной T_{target} .

2.2.11.4.3.3 Для образования хрупкой трещины могут использоваться: метод падающего груза, пневмомолот или держатели для двойного приложения растягивающего усилия.

2.2.11.4.3.4 Подробные требования к испытательному оборудованию описаны в 2.2.11.1.3.

2.2.11.4.4 Испытываемые образцы.

2.2.11.4.4.1 Образование трещины ударной нагрузкой

2.2.11.4.4.1.1 Если не указано иное, испытываемые образцы должны соответствовать требованиям 2.2.11.1.4.

2.2.11.4.4.1.2 Размеры образца показаны на рис 2.2.11.4.4.1.2. Ширина испытываемого образца W должна составлять 500 мм. Длина испытываемого образца L должна быть больше или равна 500 мм.

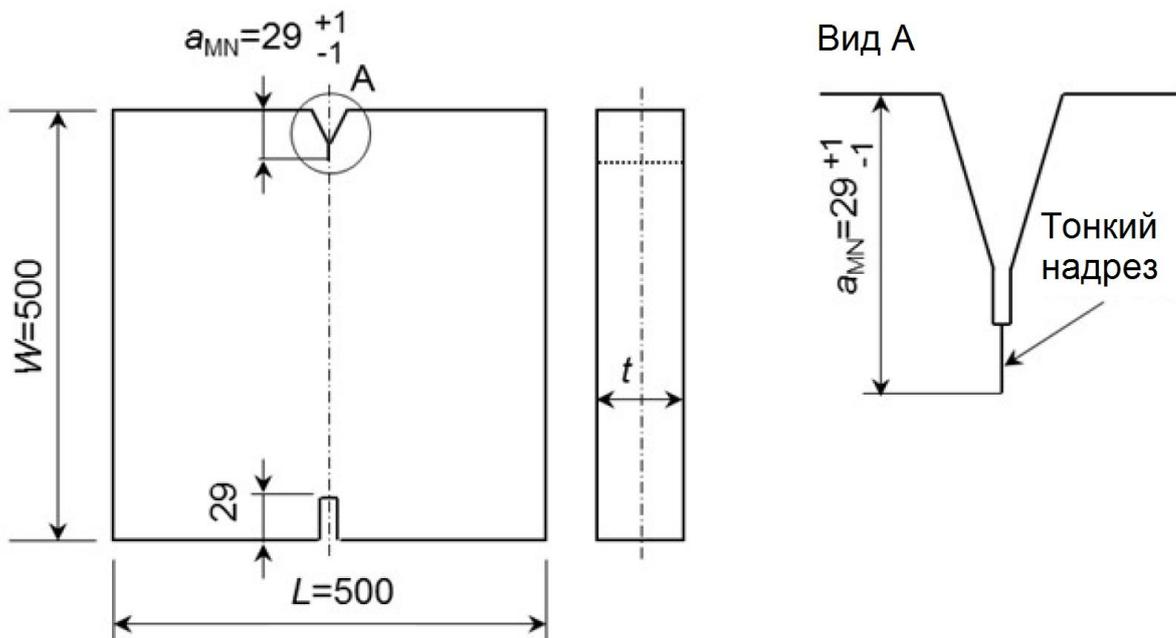


Рис. 2.2.11.4.4.1.2 Размеры испытываемого образца для образования трещины ударной нагрузкой

Примечание. С целью контроля процесса образования хрупкой трещины во время испытаний тонкий надрез, выполненный пилой, должен иметь радиус скругления в диапазоне от 0,1 мм до 1 мм.

2.2.11.4.4.1.3 V-образный надрез для образования хрупкой трещины выполняется механической обработкой на торце образца со стороны приложения ударной нагрузки. Общая длина выполненного надреза должна быть равна 29 мм с допуском ± 1 мм.

2.2.11.4.4.1.4 Требования к боковым канавкам установлены в 2.2.11.4.4.4.

2.2.11.4.4.2 Инициирование трещины двойным приложением растягивающего усилия.

2.2.11.4.4.2.1 Форма и размеры вспомогательного нагрузочного держателя и описание метода вспомогательного нагружения для образования хрупкой трещины приводятся в 2.2.11.3.

2.2.11.4.4.2.2 Во время испытаний с двойным приложением растягивающего усилия вспомогательный нагрузочный держатель допускается охлаждать до более низких температур, чем основной лист для образования хрупкой трещины.

2.2.11.4.4.3 Выполнение области охрупчивания.

2.2.11.4.4.3.1 Чтобы обеспечить образование и распространение хрупкой трещины, необходимо создать область охрупчивания. Для этого можно применить технологию электронно-лучевой сварки (далее — EBW) или создать локальный градиент температуры.

2.2.11.4.4.3.2 При охрупчивании с применением EBW сварка выполняется по предполагаемой траектории распространения исходной трещины, которая проходит по осевой линии образца в передней части V-образного надреза.

2.2.11.4.4.3.3 Необходимо достигнуть полное проплавление образца по всей толщине в области охрупчивания. Рекомендуется выполнять проплавление с помощью EBW с одной стороны образца, при этом двустороннее проплавление также допускается, если мощности EBW недостаточно для достижения полного проплавления путем сварки только с одной стороны.

2.2.11.4.4.3.4 Зону охрупчивания EBW рекомендуется подготовить до окончательной механической обработки образца.

2.2.11.4.4.3.5 Зона охрупчивания, полученная с помощью EBW, должна быть соответствующего качества.

Примечание. В некоторых случаях процесс EBW может быть нестабильным в начале и в конце процесса. Линию EBW рекомендуется начинать со стороны вершины зоны охрупчивания в направлении торца образца, увеличивая мощность сварки или двигаясь возвратно-поступательно в начальной точке сварки, сохраняя стабильность процесса EBW.

2.2.11.4.4.3.6 Согласно методу местного градиента температуры (LTG), между вершиной выполненного механически надреза и области изотермических испытаний поддерживают заданный локальный градиент температуры после изотермического контроля. Контроль температуры LTG проводится непосредственно перед образованием хрупкой трещины, тем не менее необходимо обеспечить постоянный градиент температуры по всей толщине образца.

2.2.11.4.4.4 Боковые надрезы.

2.2.11.4.4.4.1 В целях распространения хрупкой трещины по прямой линии, в области охрупчивания на боковой поверхности можно выполнить боковые надрезы. Боковые надрезы необходимо выполнять в случаях, оговоренных ниже.

2.2.11.4.4.4.2 При охрупчивании образца с помощью EBW производить боковые надрезы не обязательно, т.к. применение EBW исключает образование губ среза. Однако если на образце с изломом отчетливо видны губы среза толщиной более 1 мм с каждой стороны, тогда боковые надрезы следует обработать.

2.2.11.4.4.4.3 При охрупчивании с помощью LTG боковые надрезы выполняются в обязательном порядке. На обеих боковых поверхностях выполняют боковые надрезы одинаковой формы и размеров.

2.2.11.4.4.4.4 Длина бокового надреза L_{SG} должна быть меньше полной длины необходимой области охрупчивания, равной 150 мм.

2.2.11.4.4.4.5 В случае выполнения боковых надрезов длина бокового надреза, радиус вершины и угол раскрытия не контролируются, но при этом должны быть определены, чтобы исключить появление губ среза толщиной более 1 мм с любой стороны. Примеры размеров боковой канавки показаны на рис. 2.2.11.4.4.4.5.

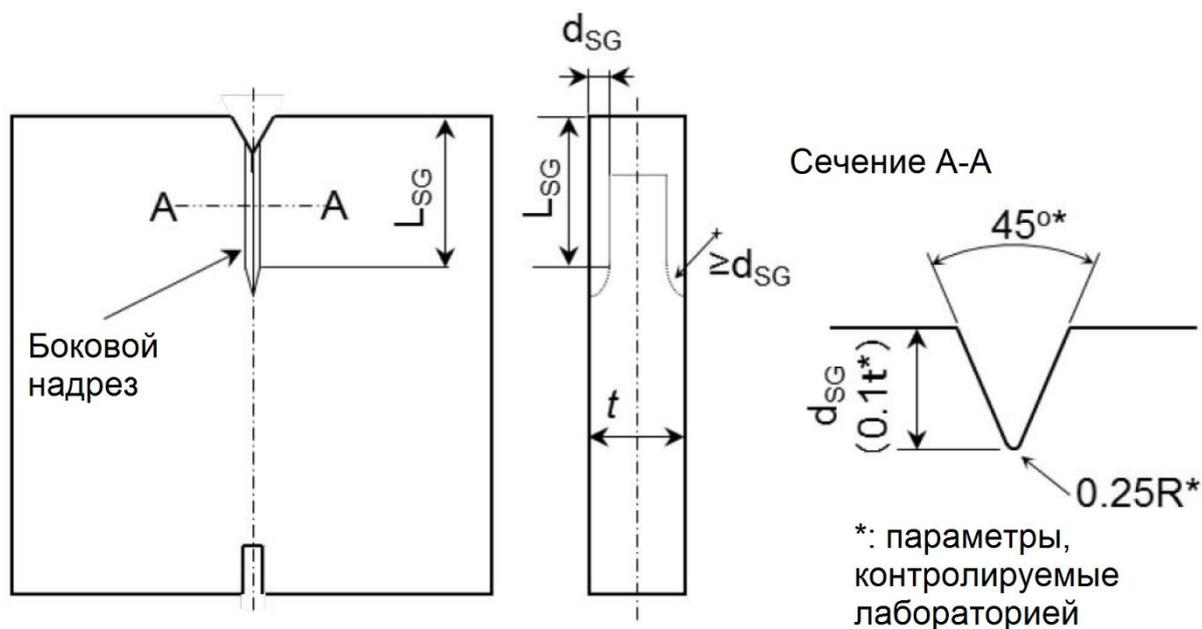


Рис. 2.2.11.4.4.4.5 Форма и размеры бокового надреза

2.2.11.4.4.4.6 Боковой надрез должен быть обработан таким образом, чтобы надрез по глубине постепенно сужался, а кривизна была больше или равна d_{SG} . Длина L_{SG} определяется как длина надреза с постоянной глубиной, за исключением изогнутого участка по глубине в ее конце.

2.2.11.4.4.5 Номинальная длина области охрупчивания

2.2.11.4.4.5.1 Номинальная длина области охрупчивания должна составлять 150 мм для обеих методик: EBW и LTG.

2.2.11.4.4.5.2 Длина области EBW регулируется по трем размерам на поверхности разрушения после проведения испытаний (см. рис. 2.2.11.4.4.5.2): L_{EB-min} - между краем образца и передним краем EBW, L_{EB-s1} и L_{EB-s2} .

(1) Без бокового надреза

(2) С боковым надрезом

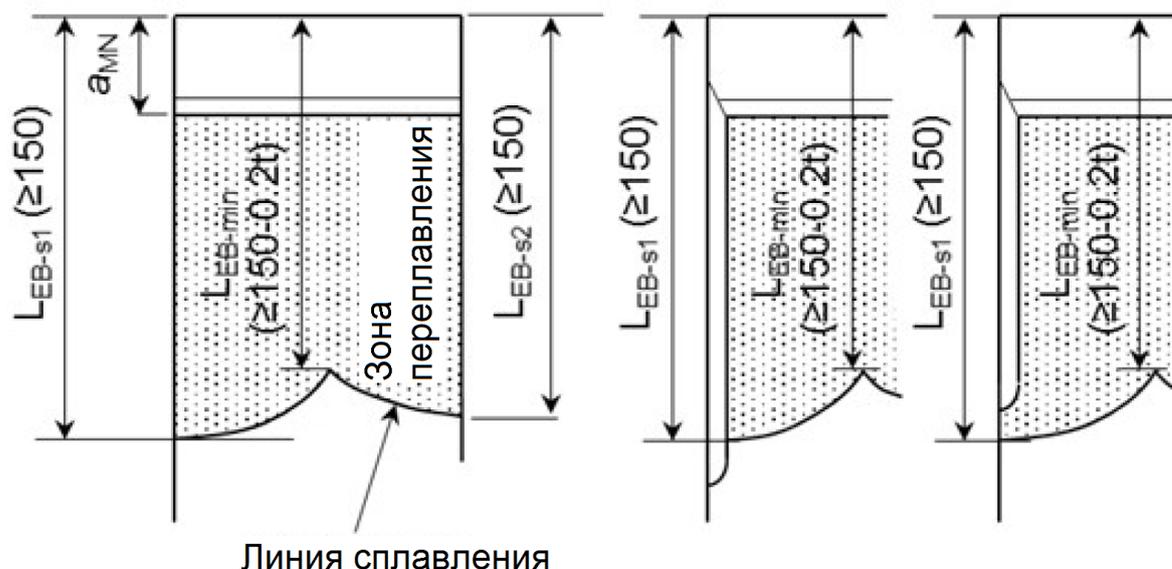


Рис. 2.2.11.4.4.5.2 Определение длины EBW

2.2.11.4.4.5.3 Минимальная длина между краем образца и линией сплавления EBW, L_{EB-min} , должна быть не менее 150 мм. Однако допустимо, если L_{EB-min} не менее $150 - 0,2t$, где t — толщина образца. Если L_{EB-min} меньше 150 мм, при нахождении T_{test} необходимо учесть коэффициент запаса по температуре (см. 2.2.11.4.8.1.2).

2.2.11.4.4.5.4 Длины между краем образца и передним краем EBW на обеих боковых поверхностях, обозначаются как L_{EB-s1} и L_{EB-s2} . Оба размера должны быть не менее 150 мм.

2.2.11.4.4.5.5 При использовании метода LTG значение L_{LTG} должно быть 150 мм и более.

2.2.11.4.4.6 Характеристики держателя/штифтового фиксатора и приварка испытываемого образца к держателям.

2.2.11.4.4.6.1 Формы и размеры держателей и штифтовых фиксаторов должны соответствовать указанным в 2.2.11.1.4.2. Деформация образца после варки должна отвечать требованиям 2.2.11.1.4.3.

2.2.11.4.5 Методика испытаний.

2.2.11.4.5.1 Предварительное нагружение.

2.2.11.4.5.1.1 Во избежание преждевременного инциирования хрупкой трещины во время испытаний можно применить предварительное нагружение при комнатной температуре. Напряжение при приложенной нагрузке не должно превышать по величине расчетного напряжения при испытании. Если предполагается инциирование хрупкой трещины во время предварительного нагружения, то температуру предварительного нагружения можно увеличить до значения выше температуры окружающей температуры. Воздействие на образец температуры выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ не допускается.

2.2.11.4.5.2 Измерение и контроль температуры

2.2.11.4.5.2.1 План контроля температуры с указанием количества и расположения термопар должен соответствовать требованиям 2.2.11.4.5.2.

2.2.11.4.5.2.2 Термопары закрепляются с обеих сторон испытываемого образца с интервалом не более 50 мм по всей ширине и в продольном направлении по центру испытываемого образца (0,5W) в пределах ± 100 мм от продольной осевой линии (см. рис 2.2.11.4.5.2.2).

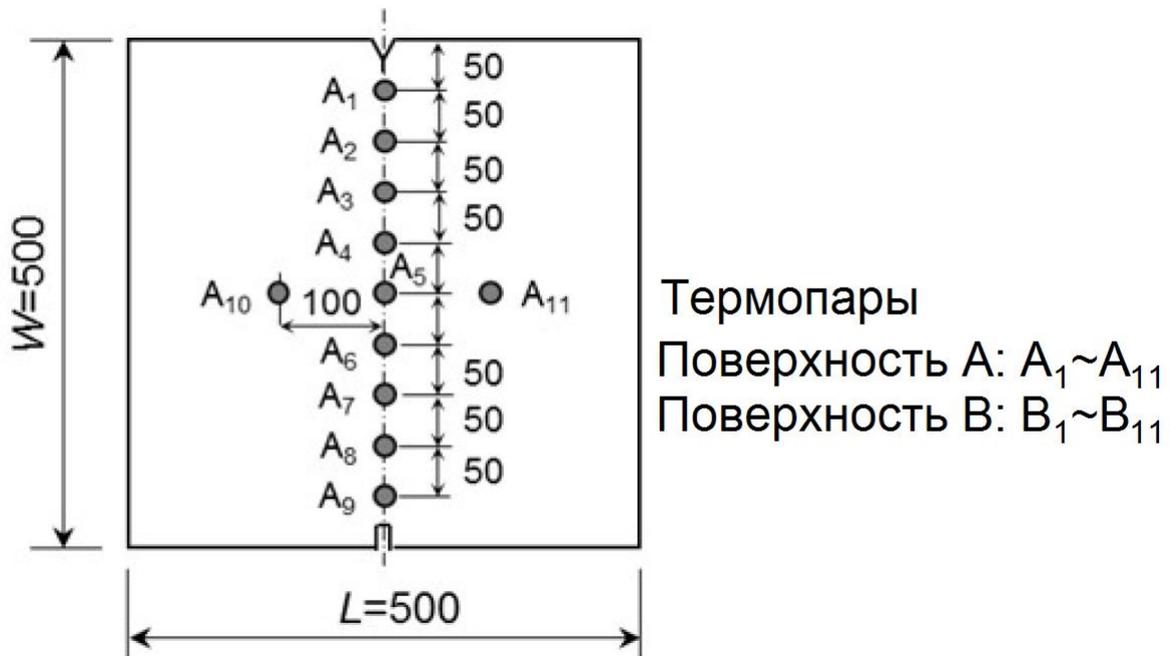


Рис. 2.2.11.4.5.2.2 Расположение термодпар при измерении температуры

2.2.11.4.5.2.3 Метод охрупчивания с помощью EBW.

2.2.11.4.5.2.3.1 Температура термодпар, расположенных в пределах от $0,3W$ до $0,7W$ по ширине и по длине, должна быть в диапазоне допуска ± 2 °С от искомой температуры испытаний T_{target} .

2.2.11.4.5.2.3.2 Если все температуры, измеренные в пределах от $0,3W$ до $0,7W$ составили значения T_{target} , полученный температурный режим необходимо поддерживать в стабильном состоянии в течение как минимум $10 + 0,1t$ минут до начала приложения испытательного нагружения, чтобы обеспечить равномерное распределение температуры до середины толщины.

2.2.11.4.5.2.3.3 Допускается локальное охлаждение вершины выполненного надреза с целью ускорения инициирования хрупкой трещины. При этом локальное охлаждение не должно нарушить стабильность достигнутой температуры образца, контролируемой в пределах от $0,3W$ до $0,7W$.

2.2.11.4.5.2.4 Метод охрупчивания с помощью LTG.

2.2.11.4.5.2.4.1 В соответствии с методом LTG помимо измерений температуры, изображенных на рис. 2.2.11.4.5.2.2, необходимо дополнительно контролировать температуру на вершине выполненного надреза A_0 и B_0 . Положение термодпар в пределах области LTG показано на рис. 2.2.11.4.5.2.4.1.

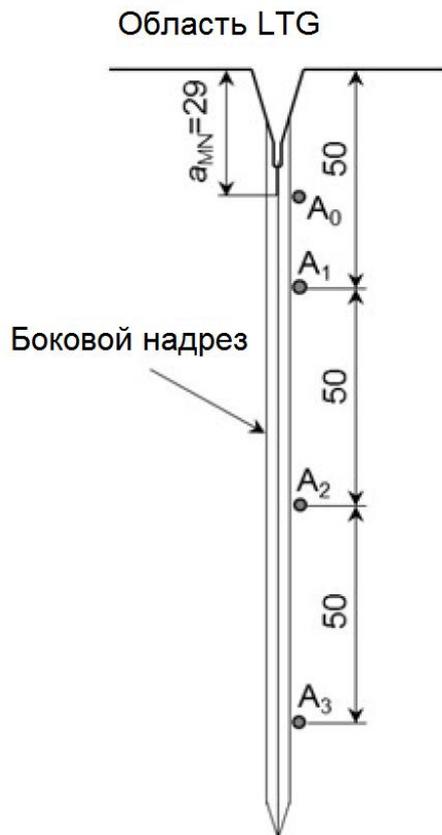


Рис. 2.2.11.4.5.2.4.1 Изображение области LTG и расположение дополнительной термопары A_0

2.2.11.4.5.2.4.2 Температура термопар, расположенных в пределах от $0,3W$ до $0,7W$ по ширине и по длине, должна быть в диапазоне допуска $\pm 2^\circ\text{C}$ от искомой температуры испытаний T_{target} . При этом температура, измеренная в точке $0,3W$ (место установки термопар A_3 и B_3), должна быть ниже в соответствии с 2.2.11.4.5.2.4.6.

2.2.11.4.5.2.4.3 Если все температуры, измеренные в пределах от $0,3W$ до $0,7W$ достигли значения T_{target} , полученный температурный режим необходимо поддерживать в стабильном состоянии в течение как минимум $10 + 0,1t$ мин до начала приложения испытательного нагружения, чтобы обеспечить равномерное распределение температуры до середины толщины.

2.2.11.4.5.2.4.4 При применении LTG температуру регулируют за счет местного охлаждения в области вершины надреза. Кривая температур LTG должна включать температуры, измеренные в точках с A_0 по A_3 , как показано на рис. 2.2.11.4.5.2.4.4.

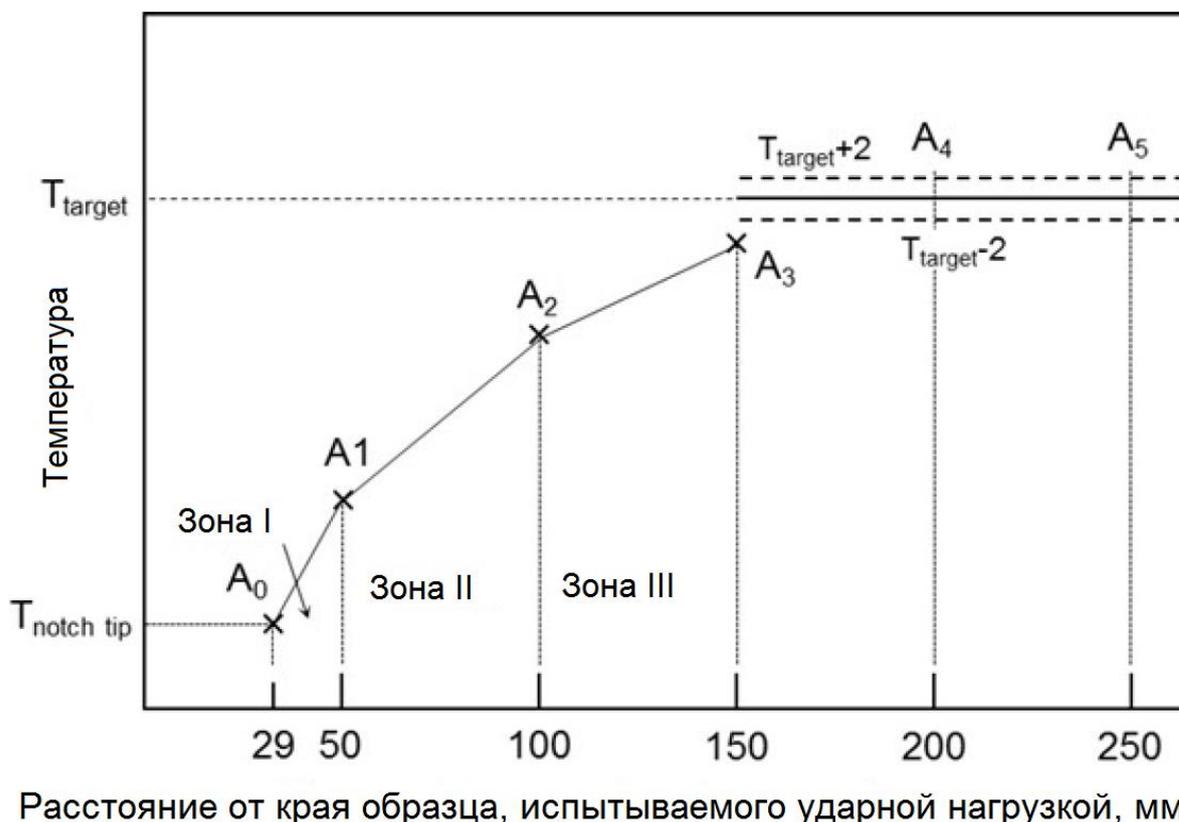


Рис. 2.2.11.4.5.2.4.4 Кривая градиента температуры в области LTG

2.2.11.4.5.2.4.5 Область LTG определяется градиентом температуры в трех областях: зона I, зона II и зона III. Допустимый диапазон значений каждого градиента температуры указан в табл. 2.2.11.4.5.2.4.5.

Таблица 2.2.11.4.5.2.4.5

Допустимый диапазон LTG

Область	Расстояние от края	Допустимый диапазон значения градиента температуры
Зона I	29 мм — 50 мм	2,00 °C/мм — 2,30 °C/мм
Зона II	50 мм — 100 мм	0,25 °C/мм — 0,60 °C/мм
Зона III ¹	100 мм — 150 мм	0,10 °C/мм — 0,20 °C/мм

¹ Зона III обязательна.

2.2.11.4.5.2.4.6 Температура, измеренная в двух областях: A₂;B₂ и A₃;B₃, должна удовлетворять следующим условиям:

- T при A₃, T при B₃ < T_{target} - 2 °C;
- T при A₂ < T при A₃ - 5 °C;
- T при B₂ < T при B₃ - 5 °C.

2.2.11.4.5.2.4.7 Требования к температурам T при A₀ и T при A₁ не устанавливаются при условии, что T при A₃ и T при A₂ отвечают требованиям выше. То же верно и для поверхности B.

2.2.11.4.5.2.4.8 Расчетные температуры в точках A₀;B₀ по A₃;B₃ должны быть определены до начала испытаний. В табл. 2.2.11.4.5.2.4.5 приводятся требуемые значения градиентов температуры в трех областях: зоне I, зоне II и зоне III в области LTG.

2.2.11.4.5.2.4.9 После выдержки в течение как минимум 10 + 0,1t минут должна быть получена кривая температур в вышеупомянутой области LTG, чтобы добиться равномерного распределения температуры до середины толщины, прежде чем приступить к иницированию хрупкой трещины.

2.2.11.4.5.2.4.10 Критерии LTG в испытаниях определяются по табл. 2.2.11.4.5.2.4.5 на основании измеренных температур в точках с A₀ по A₃.

2.2.11.4.5.2.5 Метод охрупчивания образцов с иницированием трещины двойным приложением растягивающего усилия.

2.2.11.4.5.2.5.1 Порядок контроля температуры и ее выдерживания в установившемся режиме соответствует 2.2.11.4.5.2.3 или 2.2.11.4.5.2.4 в зависимости от выбранного метода.

2.2.11.4.5.3 Нагружение и иницирование хрупкой трещины.

2.2.11.4.5.3.1 Перед проведением испытаний искомая температура испытаний T_{target} должна быть выбрана.

2.2.11.4.5.3.2 Порядок испытаний должен соответствовать описанному в 2.2.11.1.6 за исключением того, что приложенное напряжение должно составлять 2/3 от SMYS испытываемого сорта стали.

2.2.11.4.5.3.3 Перед образованием трещины испытываемый образец необходимо выдержать под испытательной или более высокой нагрузкой в течение как минимум 30 с.

2.2.11.4.5.3.4 Иницирование хрупкой трещины допускается вызвать приложением ударной нагрузки или растягивающего усилия от вспомогательного держателя после того, как будут зафиксированы все измеренные температуры и приложенное усилие.

2.2.11.4.6 Измерения, выполняемые после проведения испытаний, и их оценка.

2.2.11.4.6.1 Иницирование хрупкой трещины и оценка результата.

2.2.11.4.6.1.1 В случае, если хрупкая трещина иницировалась самопроизвольно до того, как было приложено испытательное усилие или до того, как истечет заданное время выдержки под испытательным усилием, результаты испытания считаются недействительными.

2.2.11.4.6.1.2 В случае, если хрупкая трещина образуется самопроизвольно без воздействия ударной нагрузки или растягивающего усилия от вспомогательного держателя, но после выдержки под испытательным усилием в течение заданного времени, характеристики иницирования трещины в таких испытаниях считаются достоверными. Результаты проверки траектории трещины и внешнего вида разрушения следует рассматривать на достоверность отдельно.

2.2.11.4.6.2 Проверка траектории распространения трещины и оценка результатов.

2.2.11.4.6.2.1 Если траектория трещины в области охрупчивания отклоняется от линии EBW или бокового надреза при использовании метода LTG из-за смещения и/или ветвления трещины, то результаты такого испытания считаются недействительными.

2.2.11.4.6.2.2 Вся траектория трещины, начиная от границы области охрупчивания, должна находиться в пределах, показанных на рис 2.2.11.4.6.2.2. В противном случае результаты испытаний считаются недействительными.

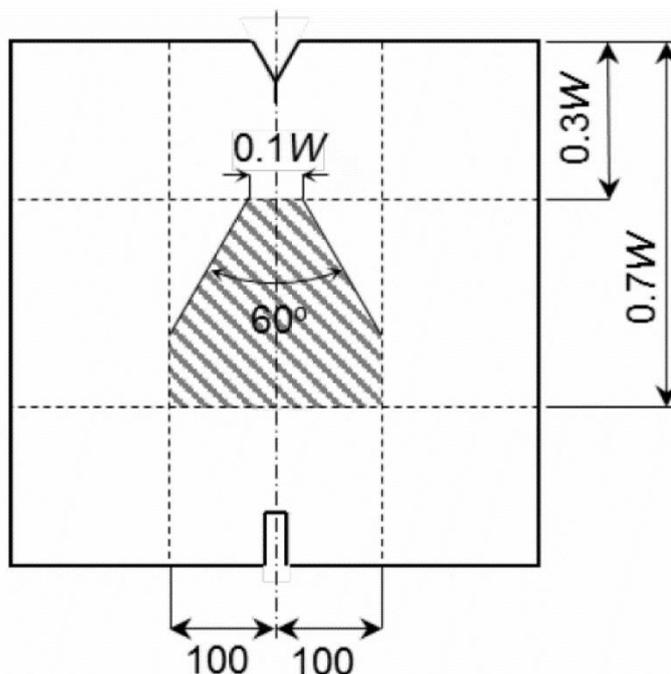


Рис. 2.2.11.4.6.2.2 Область допустимой траектории распространения магистральной трещины

2.2.11.4.6.3 Осмотр поверхности разрушения, измерение длины трещины и контроль результатов.

2.2.11.4.6.3.1 Поверхность разрушения должна быть осмотрена и оценена. Характеристики «образования» и «распространения» трещины подлежат проверке. Точки «торможения» трещины должны быть измерены. Результаты оценки и измерений должны быть зафиксированы соответствующем протоколе.

2.2.11.4.6.3.2 Если точка начала трещины расположена у основания бокового выреза, а не у вершины V-образного надреза, результаты таких испытаний считаются недействительными.

2.2.11.4.6.3.3 При охрупчивании по методу EBW длина области EBW определяется по трем измерениям: L_{EB-s1} , L_{EB-s2} и L_{EB-min} , которые определены в 2.2.11.4.4.5. Если значение какого-либо или обоих параметров L_{EB-s1} и L_{EB-s2} меньше 150 мм, результаты таких испытаний считаются недействительными. Если L_{EB-min} меньше $150-0,2t$ (мм), результаты испытания также считаются недействительными.

2.2.11.4.6.3.4 Если у боковых поверхностей области охрупчивания с любой стороны образца наблюдаются губы среза толщиной более 1 мм, независимо от того, выполнялся ли в образце надрез или нет, результаты таких испытаний считаются недействительными.

2.2.11.4.6.3.5 При охрупчивании с помощью EBW необходимо изучить распространение хрупкой трещины за передний край области EBW. При отсутствии области появления хрупкой трещины за передним краем области EBW результаты испытаний считаются недействительными.

2.2.11.4.6.3.6 Необходимо оценить внешним осмотром дефекты сварки в области охрупчивания с применением EBW. Обнаруженные дефекты следует описать количественно. Следует измерить длину проекции дефекта на линию, проходящую сквозь образец по толщине через область EBW по траектории хрупкой трещины, а отношение общей области, занимаемой участком спроецированного дефекта, к общей толщине образца определяется как относительный размер дефектов (см. рис. 2.2.11.4.6.3.6). Если относительный размер дефектов превышает 10 %, результаты испытаний считаются недействительными.

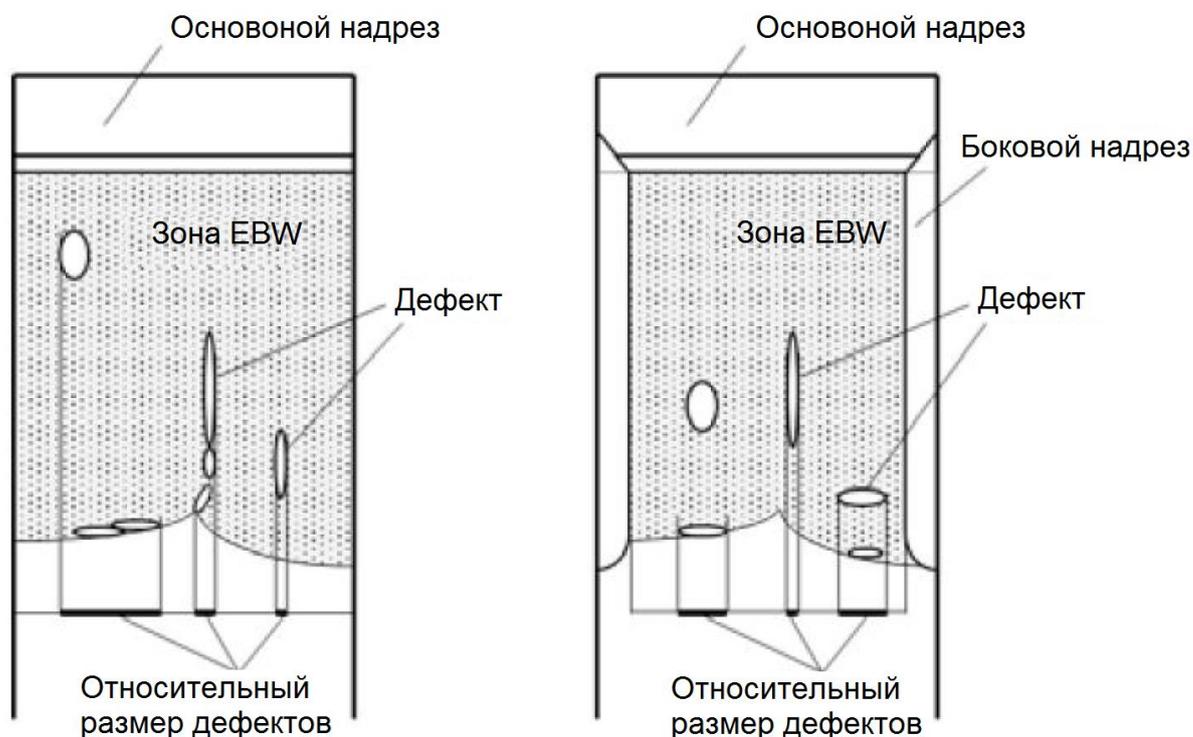


Рис. 2.2.11.4.6.3.6 Порядок расчета относительного размера дефектов

2.2.11.4.6.3.7 Если при охрупчивании по методу EBW с проплавлением с двух сторон между наложенными друг на друга линиями проплавления наблюдается разрыв на поверхности разрушения в области охрупчивания, образовавшийся в результате расхождения двух линий проплавления, результаты испытаний считаются недействительными.

2.2.11.4.7 Оценка характеристик торможения и распространения трещин.

2.2.11.4.7.1 В последнюю очередь выполняется оценка характеристик торможения, распространения и их достоверности в соответствии с требованиями 2.2.11.4.7.

2.2.11.4.7.2 Если инициированная хрупкая трещина остановилась и при этом испытываемый образец не разломился на две части, поверхности разрушения необходимо подвергнуть процедурам, описанным в 2.2.11.1.6.3 и 2.2.11.1.6.4.

2.2.11.4.7.3 Если образец не разломился на две части во время испытаний, следует измерить длину остановленной трещины a_{arrest} на поверхностях разрушения. a_{arrest} определяется как расстояние от торца образца со стороны приложения ударной нагрузки до вершины остановленной трещины.

2.2.11.4.7.4 При использовании методов EBW и LTG значение a_{arrest} должно превышать L_{LTG} и L_{EB-s1} , L_{EB-s2} или L_{EB-min} . В противном случае результаты испытаний считаются недействительными.

2.2.11.4.7.5 Если образец развалился на две части во время испытаний, такой случай можно рассматривать как торможение трещины, если был зафиксирован факт повторного инициирования трещины. Если на поверхности разрушения, полностью охваченной хрупким разрушением, часть поверхности хрупкой трещины, идущей из области охрупчивания, окружена непрерывной зоной пластического разрыва, результат испытаний можно рассматривать как повторное инициирование трещины. При этом максимальную длину трещины на участке, окруженном областью пластического разрыва, можно считать как a_{arrest} . Если повторное инициирование трещины неочевидно, результат испытаний оценивается как полностью хрупкое разрушение.

2.2.11.4.7.6 Испытания считаются пройденными, если значение a_{arrest} не превышает $0,7W$. В противном случае испытания считаются не пройденными.

2.2.11.4.8 Определение значений температур T_{test} , T_{arrest} и CAT .

2.2.11.4.8.1 Определение температуры T_{test} .

2.2.11.4.8.1.1 Следует удостовериться, что все температуры, зарегистрированные термометрами в пределах от $0,3W$ до $0,7W$ по ширине и длине, находятся в диапазоне $T_{target} \pm 2$ °C в момент инициирования хрупкой трещины. В противном случае результаты испытаний считаются недействительными. На температуру, измеренную в точке $0,3W$ (термопары A_3 и B_3) при использовании метода LTG, это требование не распространяется.

2.2.11.4.8.1.2 Если значение L_{EB-min} в случае охрупчивания методом EBW составило не менее 150 мм, можно считать, что T_{test} равно T_{target} . В противном случае T_{test} равно $T_{target} + 5$ °C.

2.2.11.4.8.1.3 При охрупчивании методом LTG значение T_{test} можно приравнять к T_{target} .

2.2.11.4.8.1.4 Окончательная оценка торможения трещины при T_{test} выполняется по результатам не менее двух испытаний в одних и тех же условиях, и оцениваемых как пройденные.

2.2.11.4.8.2 Определение T_{arrest} .

2.2.11.4.8.2.1 Если как минимум два испытания подряд, оцененные как пройденные, проходят при одном и том же значении T_{target} , считается, что торможение хрупкой трещины происходит при T_{target} ($T_{arrest} = T_{target}$). Если в результате нескольких испытаний выявлено полностью хрупкое разрушение, T_{target} не может быть принято равным T_{arrest} .

2.2.11.4.8.3 Определение CAT .

2.2.11.4.8.3.1 При определении CAT помимо двух пройденных испытаний требуется одно испытание с результатом полностью хрупкого разрушения. Искомую температуру испытаний T_{target} с положительным результатом рекомендуется задавать на уровне на 5 °C меньше T_{arrest} . Минимальная температура T_{arrest} определяется как CAT .

2.2.11.4.8.3.2 Если результаты всех испытаний положительные при отсутствии хотя бы одного полностью хрупкого разрушения, CAT принимается ниже T_{test} в двух испытаниях с положительным результатом, т. е. не является выявленной CAT .

2.2.11.4.9 Составление протоколов испытаний.

Протоколы испытаний должны включать в себя следующую информацию:

.1 испытываемый материал: сорт и толщина;

- .2 производительность испытательной машины;
- .3 размеры испытываемого образца: толщина t , ширина W и длина L ; характеристики и длина надреза a_{MN} , характеристики бокового надреза при его наличии;
- .4 тип области охрупчивания: охрупчивание методом EBW или LTG;
- .5 размеры образца в сборе: Толщина держателя, ширина держателя, длина образца в сборе вместе с держателями и расстояние между нагрузочными штифтами, угловая деформация и линейное смещение;
- .6 информация о способе образования хрупкой трещины: приложение ударной нагрузки или двойное приложение растягивающего усилия. В случае приложения ударной нагрузки — падающий груз или пневмомолот, а также работа удара;
- .7 условия испытаний, приложенная нагрузка, напряжение предварительной нагрузки, напряжение при испытаниях;
оценка предельно допустимого напряжения предварительной нагрузки, требуемого времени выдержки при установившемся напряжении;
- .8 температура испытаний: полная ведомость температур с указанием мест расположения термодатчиков для измеренных температур (рисунок и/или таблица) и искомая температура испытаний;
оценка диапазона разброса температур в изотермической области;
оценка выполнения требований к местному градиенту температуры и времени выдержки при установившемся градиенте температуры и до образования хрупкой трещины в случае применения метода LTG4
- .9 траектория трещины и поверхность разрушения: фотографии испытываемого образца с изображением поверхностей разрушения с обеих сторон и вид со стороны траектории трещины; отметка «вершины области охрупчивания» и «торможения»;
оценка выполнения требований к траектории трещины;
оценка места образования трещины (со стороны боковой канавки или V-образного надреза);
- .10 информация об области охрупчивания.
При использовании метода EBW: L_{EB-s1} , L_{EB-s2} и L_{EB-min} :
оценка выполнения требований к толщине губ среза;
оценка продолжения области появления хрупкой трещины за передним краем области EBW;
оценка выполнения требований к дефектам EBW;
оценка выполнения требований к длине области EBW, L_{EB-s1} , L_{EB-s2} и L_{EB-min} .
При использовании метода LTG: L_{LTG} .
Оценка выполнения требований к толщине губ среза;
результаты испытаний:
если образец не разломился на две части после инициирования хрупкой трещины, длина остановленной трещины a_{arrest} ;
если образец разломился на две части после инициирования хрупкой трещины:
если имеет место повторное инициирование хрупкой трещины, то длина остановленной трещины a_{arrest} .
оценить, находится ли a_{arrest} в диапазоне требуемых значений ($0,3W < a_{arrest} \leq 0,7W$);
окончательная оценка: положительное прохождение испытаний, полностью хрупкое разрушение или результат «недействителен»;
- .11 результаты динамических измерений: при необходимости динамика скорости распространения трещины и изменение деформации на штифтовых фиксаторах.
- 2.2.11.4.10** Применение методики испытаний для оценочных испытаний материала.
В случае необходимости данную методику можно также использовать с целью определения минимальной температуры, при которой в стали происходит торможение распространяющейся хрупкой трещины (определенная CAT) в качестве характеристики свойства материала в соответствии с 2.2.11.4.8.3.».

3 СТАЛЬ И ЧУГУН

2 Глава 3.19 заменяется следующим текстом:

«3.19 СТАЛЬ КАТЕГОРИИ ПРОЧНОСТИ YP47 И ТРЕЩИНОСТОЙКАЯ СТАЛЬ

3.19.1 Область распространения.

3.19.1.1 Общие положения.

3.19.1.1.1 Требования настоящей главы распространяются на сталь категории прочности YP47 и сталь со свойствами остановки хрупкой трещины ВСА (Brittle Crack Arrest), применяемую в конструкциях контейнеровозов в соответствии с 3.1 части II «Корпус».

3.19.1.1.2 Если в настоящей главе не оговорено иное, сталь должна отвечать требованиям 3.2.

3.19.1.2 Сталь категории прочности YP47.

3.19.1.2.1 Под сталью YP47 понимается сталь с минимальным пределом текучести 460 МПа.

3.19.1.2.2 Сталь YP47 может применяться в продольных элементах в области верхней палубы конструкций контейнеровозов, таких как продольные комингсы люков, ребра жесткости и прилегающие продольные связи. Применение листовой стали категории YP47 для изготовления других корпусных конструкций должно быть согласовано с Регистром.

3.19.1.2.3 Требования настоящей главы распространяются на сталь YP47 толщиной от 50 мм до 100 мм, предназначенную для применения в области верхней палубы контейнеровозов. Требования к стали YP47, выходящей за указанные рамки по толщине, подлежат согласованию с Регистром.

3.19.1.3 ВСА сталь.

3.19.1.3.1 Под сталью ВСА понимается сталь с уровнями прочности 36 и 40 в соответствии с 3.2, а также YP47, отвечающие требованиям настоящей главы к свойству ВСА.

3.19.1.3.2 Требования к применению стали ВСА изложены в 3.1 части II «Корпус» и распространяются на продольные элементы корпусных конструкций в районе верхней палубы контейнеровозов, таких как продольные комингсы люков, ребра жесткости и прилегающие продольные связи.

3.19.1.3.3 Требования настоящей главы распространяются на сталь ВСА толщиной от 50 мм до 100 мм в соответствии с табл. 3.19.2.2.4.

3.19.2 Требования к стали.

3.19.2.1.1 Химический состав стали YP47 должен отвечать требованиям табл. 3.19.2.1.1.

3.19.2.1.2 Механические свойства стали YP47 должны отвечать требованиям табл. 3.19.2.1.2.

3.19.2.2 Сталь ВСА.

3.19.2.2.1 Под сталью ВСА подразумевается стальной листовой прокат со подтвержденными свойствами ВСА, определяемыми характеристикой торможения хрупкой трещины K_{ca} , либо температурой остановки хрупкой трещины CA_T .

3.19.2.2.2 Дополнительно к требуемым в 3.2 механическим свойствам стали уровня прочности 36 и 40, и в табл. 3.19.2.1.2 к механическим свойствам стали YP47, ВСА сталь должна отвечать требованиям табл. 3.19.2.2.2.

3.19.2.2.3 Свойства ВСА в соответствии с требованиями табл. 3.19.2.2.2 определяются при признании изготовителя. При освидетельствовании продукции в процессе производства образцы для испытаний отбираются от каждого проката по согласованию с Регистром.

3.19.2.2.4 Химический состав стали ВСА должен отвечать требованиям табл. 3.19.2.2.4.

Химический состав и раскисление стали УР47 без требований к свойствам ВСА

Категория	РСЕН47
Раскисление	Спокойная мелкозернистая
Содержание элементов % (ковшовая проба) ^{1, 2}	
C _{max}	0,18
Mn	0,90-2,00
Si _{max}	0,55
P _{max}	0,020
S _{max}	0,020
Al _{(растворимый в кислоте) min}	0,015 ^{3, 4}
Nb	0,02 — 0,05 ^{4, 5}
V	0,05 — 0,10 ^{4, 5}
Ti _{max}	0,02 ⁵
Cu _{max}	0,35
Cr _{max}	0,25
Ni _{max}	1,0
Mo _{max}	0,08
C _{экв max} ⁶	0,49
P _{см max} ⁶	0,22
<p>¹ Если в стали присутствуют дополнительные элементы, присутствие которых обусловлено практикой производства стали на данном предприятии - их содержание должно быть указано и согласовано с Регистром и указываться в Свидетельстве Регистра.</p> <p>² Отклонение химического состава может быть допущено после одобрения Регистром.</p> <p>³ См. примечание 3 к табл. 3.2.2-2.</p> <p>⁴ См. примечание 4 к табл. 3.2.2-2.</p> <p>⁵ Суммарное содержание ниобия, ванадия и титана не должно превышать 0,12 %.</p> <p>⁶ Углеродный эквивалент C_{экв} высчитывается по формуле</p> $C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} (\%).$ <p>⁷ Коэффициент, оценивающий склонность стали к образованию холодных трещин P_{см} высчитывается по формуле</p> $P_{\text{см}} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B (\%).$	

Таблица 3.19.2.1.2

Состояние поставки, категория и механические свойства стали УР47 без требований к свойствам ВСА

Состояние поставки	Категория	Механические свойства при растяжении			Механические свойства при ударном изгибе			
		Предел текучести R_{eH} min, МПа	Временное сопротивление, R_m , МПа	Относительное удлинение A_5 , min, %	Температура, С°	Среднее значение работы удара KV_L для толщины t , мм, min, Дж		
						$50 < t \leq 70$	$70 < t \leq 85$	$85 < t \leq 100$
Термомеханическая контролируемая прокатка	РСЕН47	460	570-720	17	-40	53	64	75
<p>Примечания: 1. Требования к стали УР47 с требованиями к трещиностойкости приведены в 3.19.2.4. 2. Иное состояние поставки должно быть согласовано с Регистром.</p>								

Таблица 3.19.2.2.2

Требования к свойствам стали ВСА

Индекс стали ¹	Диапазон толщин, мм	Свойство трещиностойкости ^{2,3}	
		Характеристика торможения хрупкой трещины K_{ca} при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, min , $\text{H}/\text{мм}^{3/2}$ ⁴	Температура остановки хрупкой трещины CA_T , $^{\circ}\text{C}$ ⁵
ВСА1	$50 < t \leq 100$	6000	-10 или ниже
ВСА2	$80 < t \leq 100$ ⁶	8000	⁷

¹ Индексы ВСА1 или ВСА2 должны быть добавлены к обозначению и маркировке стали (например, РСЕН40ВСА1, РСЕН47ВСА1, РСЕ47ВСА2).

² Свойства ВСА определяются характеристикой торможения хрупкой трещины K_{ca} , либо температурой остановки хрупкой трещины CA_T .

³ Альтернативные методы испытаний с применением малогабаритных образцов в процессе производства (при сдаточных испытаниях) подлежат одобрению Регистром.

⁴ Значение K_{ca} определяется после проведения испытаний в соответствии с 2.2.11.1.

⁵ Значение CA_T определяется после проведения испытаний в соответствии с 2.2.11.3.

⁶ Сталь с толщиной 80 мм и менее может быть одобрена Регистром.

⁷ Требуемое значение CA_T для стали со значением $K_{ca} = 8000 \text{ H}/\text{мм}^{3/2}$ и выше должно быть одобрено Регистром.

Таблица 3.19.2.2.4

Химический состав и раскисление стали ВСА

Категория	РСЕ36ВСА	РСЕ40ВСА	РСЕ47ВСА
Раскисление	Спокойная мелкозернистая		
Содержание элементов % (ковшовая проба) ^{1,2,3}			
C_{max}	0,18		0,18
Mn	0,90 — 2,00		0,90 — 2,00
Si_{max}	0,50		0,55
P_{max}	0,020		0,020
S_{max}	0,020		0,020
$Al_{(\text{растворимый в кислоте}) \text{ min}}$	0,015 ^{4,5}		0,015 ^{4,5}
Nb	0,02 — 0,05 ^{5,6}		0,02 — 0,05 ^{5,6}
V	0,05 — 0,10 ^{5,6}		0,05 — 0,10 ^{5,6}
Ti_{max}	0,02 ⁶		0,02 ⁶
Cu_{max}	0,50		0,50
Cr_{max}	0,25		0,50
Ni_{max}	2,0		2,0
Mo_{max}	0,08		0,08
$C_{\text{экв max}}^7$			0,55
$P_{\text{cm max}}^8$			0,24
	0,47	0,49	
	—		

¹ Требования настоящей таблицы заменяют соответствующие требования табл. 3.2.2-2 и 3.19.2.1.1

² Если в стали присутствуют дополнительные элементы, присутствие которых обусловлено практикой производства стали на данном предприятии — их содержание должно быть согласовано с Регистром и указываться в Свидетельстве Регистра.

³ Отклонение химического состава может быть допущено после одобрения Регистром.

⁴ См. примечание 3 к табл. 3.2.2-2.

⁵ См. примечание 4 к табл. 3.2.2-2.

⁶ Суммарное содержание ниобия, ванадия и титана не должно превышать 0,12 %.

⁷ Углеродный эквивалент $C_{\text{экв}}$ высчитывается по формуле:

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

⁸ Коэффициент, оценивающий склонность стали к образованию холодных трещин P_{cm} высчитывается по формуле:

$$P_{\text{cm}} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B (\%)$$

3.19.3 Схема признания изготовителей.

3.19.3.1 Схема признания изготовителей стали YP47.

3.19.3.1.1 Область применения

3.19.3.1.1.1 Настоящие требования распространяются на признание изготовителей стали YP47 категории PCEN47.

3.19.3.1.1.2 Если в 3.19.3.1 не указано иное, необходимо руководствоваться положениями 2.2.2 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов.

3.19.3.1.2 Испытания при первоначальном освидетельствовании.

3.19.3.1.2.1 Объем испытаний.

3.19.3.1.3.1 Если не оговорено иное, в отношении стали YP47 требования к объему первоначальных испытаний применимы в той же степени, что и в отношении судостроительной стали других категорий.

3.19.3.1.2.2 Тип испытаний.

3.19.3.1.2.2.1 Испытания на образование хрупкой трещины

Сталь подвергается испытаниям образцов с глубоким надрезом или испытаниям на CTOD. Методика испытаний должна соответствовать требованиям 2.2.10.

3.19.3.1.2.2.2 Испытания на свариваемость.

.1 испытания на образование трещин в сварных швах на образцах с Y-образным надрезом (испытание на водородное растрескивание).

Порядок испытаний должен соответствовать согласованным национальным стандартам, таким как JIS Z 3158-2016 или CB/T 4364-2013. Критерии испытаний должны быть согласованы с Регистром заранее;

.2 испытания на образование хрупкой трещины.

Сталь подвергается испытаниям образцов с глубоким надрезом или испытаниям на CTOD. Методика испытаний должна соответствовать требованиям 2.2.10. Критерии испытаний должны соответствовать 3.5.

3.19.3.1.2.2.3 Прочие испытания.

Помимо требований, указанных в 3.19.3.1.2.2.1 и 3.19.3.1.2.2.2 выше, сталь должна подвергаться испытаниям, предусмотренным 3.13.

3.19.3.2 Схема признания изготовителей стали ВСА.

3.19.3.2.1 Область применения.

3.19.3.2.1.1 Требования 3.19.3.2 распространяются на изготовителей стали, стойкой против хрупкого разрушения (ВСА) в соответствии с 3.19.1.3.

3.19.3.2.1.2 Если в 3.19.3.2 не указано иное, необходимо руководствоваться положениями 2.2.2 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов.

3.19.3.2.2 Заявка на получение признания.

3.19.3.2.2.1 Подаваемые документы.

Производитель должен направить для рассмотрения следующие документы наряду с документами, требуемыми 2.2.2.2.1 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов:

.1 протоколы испытаний характеристик торможения хрупкой трещины в сталях, представленных для освидетельствования;

.2 программу первоначальных испытаний по определению характеристик торможения хрупкой трещины для согласования с Регистром;

.3 методики испытаний на определение характеристик торможения хрупкой трещины для согласования с Регистром.

3.19.3.2.3 Первоначальные испытания.

3.19.3.2.3.1 Объем испытаний.

3.19.3.2.3.1.1 Объем испытаний определяется 3.19.3.2.3.

Если технологический процесс производства и механизм обеспечения характеристик торможения хрупкой трещины для стали ВСА такие же, как и для не-ВСА стали, необходимо руководствоваться 2.2.2 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов.

3.19.3.2.3.1.2 Регистр оставляет за собой право потребовать увеличения количества образцов для испытаний на основании представленных протоколов и результатов испытаний на определение характеристик торможения хрупкой трещины, проведенных под техническим наблюдением ИКО.

3.19.3.2.3.2 Типы испытаний.

3.19.3.2.3.2.1 Помимо испытаний, указанных в 2.2.2.3.6 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов и/или 3.19.3.2.3.3, необходимо провести испытания на торможение хрупкой трещины в соответствии с 2.2.11.

3.19.3.2.3.2.2 В случае подачи заявки на добавление индекса ВСА для сталей РСЕН36, РСЕН40 и РСЕН47, технологический процесс производства которых был одобрен Регистром, необходимо выполнить испытания на торможение хрупкой трещины, анализ химического состава, испытания на растяжение и ударный изгиб согласно положениям настоящей главы и 2.2.2 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов.

3.19.3.2.3.3 Образцы и методики испытаний на торможение хрупкой трещины.

3.19.3.2.3.3.1 Образцы для испытаний на торможение хрупкой трещины отбирают таким образом, чтобы их продольная ось проходила параллельно направлению окончательной прокатки листа.

3.19.3.2.3.3.2 Направление приложения нагрузки при испытаниях на хрупкое разрушение должно быть параллельно направлению окончательной прокатки.

3.19.3.2.3.3.3 Толщина образцов для испытаний на торможение хрупкой трещины должна соответствовать полной толщине испытываемого проката.

3.19.3.2.3.3.4 Образцы для испытаний и повторных испытаний отбираются от одного.

3.19.3.2.3.3.5 Толщина образца должна соответствовать наибольшей толщине проката в соответствии с заявкой.

3.19.3.2.3.3.6 В случае, когда характеристики торможения хрупкой трещины оцениваются с использованием значения K_{ca} , методика испытаний на торможение хрупкой трещины должна соответствовать 2.2.11.1. В случае, когда характеристики торможения хрупкой трещины оцениваются с использованием величины температуры торможения хрупкой трещины (САТ), методика испытаний должна соответствовать 2.2.11.4.

3.19.3.2.3.4 Прочие испытания.

Кроме испытаний, перечисленных выше, Регистр имеет право потребовать дополнительные испытания по иным методикам. Объем, методики и критерии подлежат согласованию с Регистром.

3.19.3.2.4 Результаты.

Оценка результатов производится в соответствии с положениями 2.2.11. Кроме того, результаты испытаний образцов и методики испытаний должны соответствовать программе испытаний, согласованной с Регистром. В случае если оценка характеристик торможения хрупкой трещины выполняется с использованием значения K_{ca} или САТ, изготовитель должен также Регистру протоколы испытаний на торможение хрупкой трещины согласно 2.2.11.1 для K_{ca} и 2.2.11.4 для САТ соответственно.

3.19.3.2.5 Одобрение и сертификация.

На основании успешного выполнения освидетельствования и испытаний Регистр выдает Свидетельство о признании изготовителя (СПИ) с указанием категории стали, имеющей дополнительный "BCA1" или "BCA2" (например, РСЕН40BCA1, РСЕН47BCA1, РСЕН47BCA2).

3.19.3.2.6 Подтверждение СПИ.

Помимо указанного в 2.1.4 части III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов» Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов изготовитель должен предоставить Регистру протоколы испытаний на одобренные стали ВСА при каждом подтверждении СПИ.

Примечание. Описание химического состава, механических свойств, характеристик торможения хрупкой трещины (например, результаты испытаний на торможение хрупкой трещины или результаты маломасштабных альтернативных испытаний, заранее согласованных с Регистром) и номинальной толщины должно быть представлено в форме гистограммы или статистики.».

ЧАСТЬ XIV. СВАРКА

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СВАРКЕ

4 Вводится **новые пункты 2.12.6 и 2.12.7** следующего содержания:

«2.12.6 Сварка стали категории УН47.

2.12.6.1 Короткие валики, применяемые для выполнения прихваток и ремонтных работ при сварке стали категории УН47, должны иметь длину не менее 50 мм. Если значение $P_{cm} \leq 0,19$ (см. табл. 3.19.2.1.1 части XIII «Материалы»), длина короткого валика может быть принята равной 25 мм.

2.12.6.2 Предварительный подогрев при температуре воздуха не выше 5 °С выполняется до достижения температуры не ниже 50 °С при сварке сталей категории УН47. Если значение $P_{cm} \leq 0,19$, и температура воздуха ниже 5 °С, но выше 0 °С, альтернативные требования к предварительному подогреву могут быть представлены к одобрению Регистром.

2.12.6.3 Последний сварной шов соединения необходимо выполнять особенно тщательно во избежание дефектов. Технологическая оснастка должна быть бездефектно удалена, при невозможности выполнения такой операции технология ремонта подлежит одобрению Регистром.

2.12.7 Технологические требования к сварке, аттестация сварщиков, одобрение сварочных материалов и др. трещиностойкой стали ВСА, должны удовлетворять соответствующим требованиям для каждой категории стали без индекса "ВСА1" или "ВСА2" (см. 3.19.2.2 части XIII «Материалы»).».

4 СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5 **Пункт 4.7.1.1** заменяется текстом следующего содержания:

«4.7.1.1 Требования настоящей главы дополняют требования 4.3 — 4.5 и регламентируют условия для одобрения и испытаний сварочных материалов, предназначенных для сварки сталей высокой прочности, соответствующих требованиям 3.13 и 3.19 части XIII «Материалы».

При отсутствии специальных требований должны применяться аналогичные требования по одобрению сварочных материалов для сварки судостроительных сталей нормальной и повышенной прочности.».

6 **Пункт 4.7.1.3** заменяется текстом следующего содержания:

«4.7.1.3 Сварочные материалы для сварки сталей высокой прочности, соответствующих требованиям 3.13 и 3.19 части XIII «Материалы», классифицируются по категориям в зависимости от минимального предела текучести основного и наплавленного металлов, а также температуры испытаний на ударный изгиб металла шва и наплавленного металла согласно табл. 4.1.2.3.

Обозначение категории сварочных материалов включает 2 группы индексов обязательной классификации:

3, 4 и 5, обозначающих температуру испытаний образцов на ударный изгиб для наплавленного металла и металла шва;

У42, У46, У47, У50, У55, У62, У69, У89 и У96 обозначающих требования к минимальному пределу текучести наплавленного металла.

Применительно к сварочным материалам, предназначенным для сварки сталей высокой прочности, также используются следующие индексы дополнительной классификации, соответствующие 4.1.2.6:

Н10 и Н5 — для указания содержания диффузионного водорода в наплавленном металле согласно 4.2.3.4;

S — для указания на одобрение сварочных материалов применительно к полуавтоматической сварке;

M — для указания на одобрение сварочных материалов применительно к многопроходной технологии сварки;

SM — для указания на одобрение сварочных материалов применительно к полуавтоматической сварке и автоматической многопроходной технологии сварки.».

7 **Таблица 4.7.2.4** заменяется следующим текстом:

«Таблица 4.7.2.4

Категория	Предел текучести R_e , МПа, мин.	Временное сопротивление R_m , МПа	Относительное удлинение $\min A_5$ ($L_0 = 5d$), %, мин.	Испытание на ударный изгиб		
				Температура испытаний, °С	Работа удара KV, Дж, мин	
3	Y42	420	520 — 680	20	-20	47
4					-40	
5					-60	
3	Y46	460	540 — 720	20	-20	47
4					-40	
5					-60	
3	Y47	460	570 — 720	19	-20	64
3	Y50	500	590 — 770	18	-20	50
4					-40	
5					-60	
3	Y55	550	640 — 820	18	-20	55
4					-40	
5					-60	
3	Y62	620	700 — 890	18	-20	62
4					-40	
5					-60	
3	Y69	690	770 — 940	17	-20	69
4					-40	
5					-60	
3	Y89	890	940 — 1100	14	-20	69
4					-40	
3	Y96	960	980 — 1150	13	-20	69
4					-40	

».

8 **Таблица 4.7.3.3** заменяется следующим текстом:

«Таблица 4.7.3.3

Категория	Временное сопротивление R_m , МПа, мин.	Испытание на ударный изгиб		Испытания на статический изгиб		
		Температура испытаний, °С	Работа удара KV, Дж, мин	Угол загиба, град ¹⁾	Соотношение D/t ²⁾	
3	Y42	520	-20	47	120	4
4			-40			
5			-60			
3	Y46	540	-20	47		4
4			-40			
5			-60			
3	Y47	570	-20	64		4
3	Y50	590	-20	50		4
4			-40			
5			-60			
3	Y55	640	-20	55		5
4			-40			
5			-60			
3	Y62	700	-20	62		5
4			-40			
5			-60			
3	Y69	770	-20	69	5	
4			-40			
5			-60			
3	Y89	940	-20	69	6	
4			-40			
3	Y96	980	-20	69	7	
4			-40			

¹⁾ Угол загиба, достигаемый до возникновения первой трещины. Допускаются раскрывшиеся на поверхности образца незначительные дефекты шва длиной менее 3 мм.
²⁾ D — диаметр оправки, t — толщина образца.

».

9 **Таблица 4.7.4.2** заменяется следующим текстом:

«Таблица 4.7.4.2

Индексы категории по значению предела текучести	Индексы классификации по содержанию диффузионного водорода	Максимальное содержание водорода, см ³ /100 г наплавленного металла
Y42 Y46 Y47 Y50	H10	10
Y55 Y62 Y69 Y89 Y96	H5	5

».